



**UNIVERSIDAD AMERICANA DE ACAPULCO**  
"EXCELENCIA PARA EL DESARROLLO"

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN  
INCORPORADA A LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
CLAVE DE INCORPORACIÓN 8852-58

**"PROCESO DE INSTALACIÓN DE UNA SEÑAL  
DE FM MEDIANTE UN CASO DE ESTUDIO"**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

PRESENTAN

**RAFFRA EMIR LÓPEZ VERA  
MIGUEL ÁNGEL GALLARDO BASURTO  
JOSIMAR CATALÁN SORIANO**

DIRECTOR DE TESIS

**ING. FRANCISCO NARCÉS DÁVILA ZURITA**



**ACAPULCO, GUERRERO; MAYO DEL 2015.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

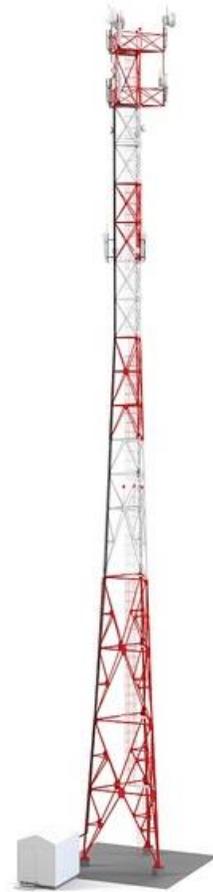
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## Resumen

La *Tesis* trata acerca de la puesta en marcha de una *Señal de Radio*, usando como *Caso de Estudio* la *Frecuencia* XHACA-FM 106.3 MHz, concesionada a la empresa *Grupo Fórmula* en Acapulco, Guerrero, México; el *análisis* se basa en la *Ingeniería de Procesos*, describiendo como *Procesos* principales —dentro del *Macroproceso* de la *Instalación*— a la *Obra Civil*, así como los *Sistemas Eléctrico y de Transmisión*; fundamentado en un *Enfoque Tecno-Metafísico* general, y *Óptico-Tecnológico* particular para las *Radiocomunicaciones*; dando como resultado la propuesta de la *Metodología DP-LGCD®*, inspirada en el *Espacio Dodecaédrico de Poincaré*, como una posible solución para la instalación de este tipo de señales y que fue exitosa en el caso estudiado; abriendo la posibilidad de adaptar esta misma metodología para los nuevos *Sistemas de Transmisión Digital*.



**Palabras clave:** *Radiocomunicaciones, Señal de Radio, Frecuencia, FM, Instalación, Procesos, Análisis de Procesos, Ingeniería de Procesos, Macroproceso, Obra Civil, Sistema Eléctrico, Sistema de Transmisión, Metodología DP-LGCD®, Espacio Dodecaédrico de Poincaré, Sistemas de Transmisión Digital, Enfoque Tecno-Metafísico, Enfoque Óptico-Tecnológico, Tesis, Caso de Estudio y Grupo Fórmula.*

## Abstract

The thesis discusses the launch of a Radio Signal using as an example the Case Study XHACA-FM Frequency 106.3 MHz, concessioned to "Grupo Formula" **Company** in Acapulco, Guerrero, Mexico; The analysis is based on Process Engineering, describing mainly -within the Installation Process - Macroprocess of the Civil work and the Electrical and Transmission Systems; based on a Techno-Metaphysical Approach general and ontic-particularly for Radio Technology; resulting in the proposal of the DP-LGCD® methodology, inspired by the Poincaré dodecahedral hypothesis, as a possible solution for the installation of such signals and was successful in the case analyzed; opening the possibility to adapt this same methodology for new Digital Transmission Systems.



**Keywords:** Radiocomunicaciones, Signal Radio Frequency, FM, Installation, Process, Process Analysis, Process Engineering, Macroprocess, Civil Engineering, Electrical System, Transmission System, DP-LGCD® Methodology, Poincaré dodecahedral space, Digital Transmission Systems, Techno-Metaphysical focus, Focus ontic-Technology, Thesis, Case Study and Radio Formula.



---

*Dedicatorias*  
*y*  
*Agradecimientos.*

---

*Doy gracias a Dios Padre por bendecir mi camino y permitir que concluya esta meta prioritaria en mi vida, por la bendición de tener una familia unida y funcional. A mis padres Ecol. Mar. Jorge López García y Enf. Prudencia Vera Cabañas. Quienes a pesar de las adversidades que han enfrentado, siempre estuvieron apoyándome con sus consejos, críticas y reflexiones por parte de mi padre y su amor incondicional de mi madre, porque cuando tropecé me motivaron para que me levantara y siguiera adelante enfrentándome a las adversidades.*

*A mis hermanos, Dra. Louvir Libertad y Erich Jordau, por la forma peculiar que tenemos de interactuar, quienes me han sabido dar ánimos para seguir adelante, y aun cuando soy el primogénito, no dejo de aprender ideas muy interesantes de parte de ellos. Y por último, pero muy importante para mi presente y futuro, a mi esposa Lic. Laura Madeleine Muñiz Cortés, gracias por integrarte con tu amor y comprensión durante la realización de este trabajo de tesis y haber aceptado formar una vida juntos, ya que para mí eres la mujer que me complementa.*

*Los amo, siempre están en mi corazón.*

*Raffra Emir López Vera.*

*A Dios*

*Le estoy infinitamente agradecido*

*"Y todo lo que hacéis, sea de palabra o de hecho, hacedlo todo  
en el nombre del Señor Jesús, dando gracias a Dios Padre  
por medio de Él".  
-Colosenses 3:17.*

*A toda mi Familia*

*Por su aliento y oración.*

*A la Facultad de Ingeniería*

*Por su apoyo.*

*Al Departamento de Comunicaciones de la LZG de la CFE y a  
la UA. No. 16 de la UAGro.*

*Por su soporte.*

*Al Asesor*

*Por su guía brindada.*

*Con amor...*

*M. A. Gallardo Basurto.*

*A Dios*

*Por su infinita bondad y bendiciones*

*A mis familiares*

*Por su gran sacrificio*

*A mi asesor*

*Por su apoyo ofrecido en este trabajo*

*Con amor y gratitud,*

*Jesimar Catalán Soriano.*

# Capítulos.



**1. Introducción.**



**2. Fundamentos.**



**3. Proceso de Instalación.**



**4. Caso de Estudio.**



**5. Conclusiones y Recomendaciones.**



**6. Líneas, Alcance y Trabajos.**



**7. Anexos.**



**8. Referencias.**



**9. Fichas Bibliográficas.**



**10. Índices.**



**11. Ficha Técnica.**



**12. Acerca de.**



# **C**ontenido.



## **1. Introducción.**

### **1.1 Problemática.**

### **1.2 Objeto y Competencia.**

### **1.3 Objetivo y Caso de Estudio.**

### **1.4 Preguntas y Tareas.**

### **1.5 Métodos e Hipótesis.**

### **1.6 Aportación y Novedad.**

### **1.7 Capitulado.**



## **2. Fundamentos.**

### **2.1 Filosóficos.**

### **2.2 Teóricos.**

#### 2.2.1 Teoría Electromagnética.

2.2.1.1 Operadores Vectoriales.

2.2.1.2 Teoremas Vectoriales.

2.2.1.3 Ecuaciones de Maxwell.

#### 2.2.2 Sistemas de Comunicación.

2.2.2.1 Medios Tx Alámbricos.

2.2.2.2 Medios Tx Inalámbricos.

2.2.2.2.1 Parámetros de Antenas Tx.

2.2.2.2.2 Parámetros de Antenas Rx.

#### 2.2.3 Radiocomunicación.

2.2.3.1 Modulación y Demodulación.

2.2.3.2 Modulación Angular.

2.2.3.3 FM de Banda Ancha.

2.2.3.4 Comparativa AM y FM.

### **2.3 Marco Legal.**

### **2.4 Estado Actual.**



## 3. Proceso.

### 3.1 Generalidades.

### 3.2 Macroproceso.

### 3.3 Obra Civil y Subprocesos.

- 3.3.1 Elección del Terreno.
- 3.3.2 Estudio de Radio.
- 3.3.3 Sitio de Transmisores.
- 3.3.4 Torre de Comunicación.

### 3.4 Sistema Eléctrico y Subprocesos.

- 3.4.1 Acometida.
- 3.4.2 Protección.
- 3.4.3 Conmutación.
- 3.4.4 Generación.
- 3.4.5 Distribución.

### 3.5 Radiodifusión y Subprocesos.

- 3.5.1 Ensamble.
  - 3.5.1.1 Grabación.
  - 3.5.1.2 Locutores.
  - 3.5.1.3 Operadores.
- 3.5.2 Transmisión FM.
  - 3.5.2.1 Procesador.
  - 3.5.2.2 Excitador.
  - 3.5.2.3 Transmisor.
  - 3.5.2.4 Líneas.
  - 3.5.2.5 Antena.

### 3.6 Metodología DP-LGCD®.



## 4. Caso de Estudio.

### 4.1 Selección.

### 4.2 Macroproceso.

### 4.3 Obra Civil.

- 4.3.1 Predio: Cumbres.
- 4.3.2 Estudio de Radio.
- 4.3.3 Sitio de Transmisores.
- 4.3.4 Torre Arriostrada.

### 4.4 Sistema Eléctrico.

- 4.4.1 Acometida.
- 4.4.2 Protección.
- 4.4.3 Conmutación.
- 4.4.4 Generación.
- 4.4.5 Distribución.

### 4.5 Radiodifusión.

- 4.5.1 Ensamble.
  - 4.5.1.1 Grabación.
  - 4.5.1.2 Locutores.
  - 4.5.1.3 Operadores.
- 4.5.2 Transmisión FM.
  - 4.5.2.1 Procesador.
  - 4.5.2.2 Excitador.
  - 4.5.2.3 Transmisor.
  - 4.5.2.4 Líneas.
  - 4.5.2.5 Antena.

### 4.6 Síntesis.



**5.1 Conclusiones.**

**5.2 Recomendaciones.**



**6.1 Alcance Tecnológico.**

**6.2 Líneas de investigación.**

**6.3 Trabajos Futuros.**



**7.1 Autorización Señal FM.**

**7.2 Elementos de Antena.**

**7.3 Conjetura de Poincaré.**



**10.1 Figuras.**

**10.2 Ecuaciones.**

**10.3 Tablas.**

**10.4 General.**



**12.1 Autores.**

Catalán Soriano Josimar.

Gallardo Basurto Miguel Ángel.

López Vera Raffra Emir.

**12.2 Asesor.**

Dávila Zurita Francisco Narcés.



# 1. Introducción.

# 1. Introducción.

---



- 1.1 Problemática.
- 1.2 Objeto y Competencia.
- 1.3 Objetivo y Caso de estudio.
- 1.4 Preguntas y Tareas.
- 1.5 Métodos e Hipótesis.
- 1.6 Novedad y Aportación.
- 1.7 Capitulado.

# 1. Introducción.



**Figura 1.** Universidad Americana de Acapulco.

Durante el estudio de la Licenciatura de *Ingeniería en Telecomunicaciones*<sup>1</sup>, en la *Universidad Americana de Acapulco* (UAA, incorporada al Plan de Estudios de 1993, de la *Facultad de Ingeniería de la UNAM*), la asignatura que motivó la escritura de este trabajo de investigación fue *Sistemas de Radiocomunicación*, ubicada en el noveno semestre, el penúltimo de la carrera. El objetivo que tenía esta asignatura en su programa de estudios era:

---

<sup>1</sup> **Ingeniería** (del latín *ingenium*, que tiene dos sentidos: "disposición natural de espíritu genial" e "invención") es el conjunto de conocimientos y técnicas científicas aplicadas a la creación, perfeccionamiento e implementación de estructuras (tanto físicas como teóricas) para la resolución de problemas que afectan la actividad cotidiana de la sociedad. **Telecomunicaciones** (del griego *tele*, que significa "lejos", "distancia"; y *communicatio*, -*ōnis*, que proviene de *communis*, que significa "común") es el estudio y aplicación de la técnica que diseña sistemas que permitan la comunicación a larga distancia, a través de la transmisión y recepción de señales. También se define como toda emisión, transmisión y recepción de signos, señales, escritos e imágenes, sonidos e informaciones de cualquier naturaleza, por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos, según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, del inglés *International Telecommunication Union*)(UIT, 2013).



**Figura 2.** Dirección General de Incorporación y Revalidación de Estudios.

*“El alumno comprenderá el funcionamiento, los parámetros y las características de los sistemas de radio; a su vez, utilizará equipos de medición y aplicará las técnicas adecuadas para la instalación de los equipos necesarios en una estación de radio; desde la instalación del transmisor, torre y su antena” (DGIRE, 2013).*

Siguiendo esta línea de estudio, seleccionamos nuestras *Prácticas Profesionales* en las *radiocomunicaciones*.

Para realizar las prácticas profesionales (primer semestre del año 2008), nos asignaron como *Auxiliares Técnicos del Área de Ingeniería*, dentro del organismo público descentralizado, del Gobierno del Estado de Guerrero en México, Radio y Televisión de Guerrero<sup>2</sup>. Donde las actividades desarrolladas fueron mantenimientos preventivos y correctivos a los diferentes equipos que intervienen en la transmisión:

---

<sup>2</sup> Operando por decreto publicado en el periódico oficial del gobierno de Guerrero desde el viernes 26 de junio de 1987), el cual mantiene cobertura en cinco ciudades del estado de Guerrero: Coyuca en la frecuencia 820 AM, Taxco en la frecuencia 1310 AM, Ometepec en la frecuencia 1100 AM, Chilpancingo en la frecuencia 870 AM y Acapulco en la frecuencia 97.7 FM; ejerciendo desde esta última ciudad las actividades de transmisión y de mantenimiento a todo el estado (RTG, 2013).



**Figura 3.** Radio y Televisión de Guerrero.

- *Consola* de *audio* (modelo Yamaha® GA24) y micrófonos (tipo Shure® SM7B).
- Reproductores de CD (marca Gemini® DCX 601).
- Equipos de cómputo ensamblados (con características generales: Microsoft® Windows® XP SP2, como sistema operativo; 4 GB de memoria RAM y 500 GB en disco duro).
- Cableado de los estudios.

Los cuáles son los elementos básicos que componen una cabina de radio; también se realizaron las transmisiones de controles remotos para cubrir eventos **(RTG, 2013)**.

En la misma dependencia, durante el *Servicio Social* (segundo semestre del año 2008), la colaboración fue como *Auxiliares de Ingeniería*, y las áreas que se cubrieron fueron el *estudio de televisión* y el *estudio de radio*, que llevan un proceso similar para su transmisión; en éstas áreas se realizaron las siguientes actividades:



**Figura 4.** Instalaciones de Radio Formula Acapulco.

- Operación y mantenimiento de los transmisores (modelos Harris HT30 y Thomson VHF 1000S), tanto de radio como de televisión; de los cuales se censaba la potencia de salida.
- Proporcionar mantenimiento preventivo y correctivo de las torres y las antenas.

También se cubrieron las transmisiones en vivo por televisión y radio, en los cuales se trasladaba una unidad terrena satelital, la cual se orientaba con el satélite SatMex 5, para así poder subir y bajar la señal correspondiente al canal de RTG **(RTG, 2013)**.

Afortunadamente se contó con la confianza de los miembros del Departamento de Ingeniería, y de manera paralela a nuestros estudios, fuimos contratados por la empresa por más de un año. Fue por invitación y recomendación de este mismo *staff*, que ingresamos a partir del año 2010, para el *Área de Ingeniería en Grupo Fórmula Guerrero*.

Fue para el mes de octubre del año 2011, cuando el ex director de ingeniería de Grupo Fórmula, el Ing. Eusebio Mejía Maldonado, nos hace la invitación de participar en un nuevo proyecto de radiocomunicación, que consistiría en la *instalación de una nueva frecuencia en el ancho de banda de Frecuencia Modulada (FM)* que daría cobertura en el Puerto de Acapulco, Gro., debido a la aprobación del cambio de frecuencias de Amplitud Modulada (AM) a FM, de parte del gobierno de la República Mexicana en septiembre del 2008.

Esta fue la *motivación* de la realización de esta investigación acerca del **proceso de instalación de una señal de FM.**

## 1.1 Problemática.

---



**Figura 5.** COFETEL pasa a ser IFT en el año 2013.

Como *antecedentes del problema*, el 15 de septiembre del 2008, la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL), encargada de la regulación del espectro radioeléctrico de las telecomunicaciones en México, aprobó el *cambio de frecuencias a concesionarios de estaciones de radiodifusión sonora*<sup>3</sup> (**COM-COFETEL, 2011**).

---

<sup>3</sup> En total fueron 163 concesionarios y permisionarios de estaciones de radio, a quienes se les autorizó el cambio de frecuencia de AM a FM. Este cambio les estaría ofreciendo, la oportunidad de obtener una mejor calidad de sus transmisiones y un posible incremento de competitividad en el mercado radiofónico. Para el proceso de cambio de frecuencias, la COFETEL seccionó a los estados del país en las siguientes regiones: Región 1 (Campeche, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán), Región 2 (Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz), Región 3 (Aguascalientes, Baja California Sur, Durango, Nayarit, San Luis Potosí, Sinaloa y Zacatecas), Región 4 (Jalisco, Colima, Michoacán y Guanajuato), Región 5 (Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Estado de México, Distrito Federal y Morelos), y por último la Región 6 (Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas). Por tanto, el estado de Guerrero, contexto geográfico del caso de estudio de este trabajo de investigación, quedó ubicado en la Región 2 (**COM-COFETEL, 2011; AM, 2014**).

Un cambio de frecuencia de AM en este contexto, conlleva la instalación de una señal en FM. La realización de este cometido, es una tarea bastante amplia, y es conveniente organizarla, sistematizarla y presentarla como un *proceso*.

Por esta razón, el **problema de investigación** se plantea como:

***¿Cuál es el proceso de instalación de una señal de frecuencia modulada?***

Además, se propone una *solución del problema*, mediante un **caso de estudio**, que a continuación se describe.

Uno de los mayores concesionarios mexicanos de estaciones de radiodifusión sonora, el **Grupo Fórmula**, licitó el cambio de frecuencia de su señal de 950 KHz de AM<sup>4</sup> a FM, mediante un comunicado dirigido a la COFETEL, el 03 de diciembre del 2009 y fue autorizado mediante el oficio CFT/D01/STP/6438/10 del 05 de noviembre del 2010 (**CFT, 2010**). Este oficio se puede visualizar en el **ANEXO 7.1**

A partir de esta fecha, se programa la instalación de la señal en FM, lo que *justifica* el estudio de este proceso.

---

<sup>4</sup> Identificada con las siglas XEACA.

## 1.2 Objeto y Competencia.

---

El **objeto de estudio** es el *proceso de instalación de una señal de frecuencia modulada*, mientras que el **campo de estudio** es la *Ingeniería en Radiocomunicaciones*.

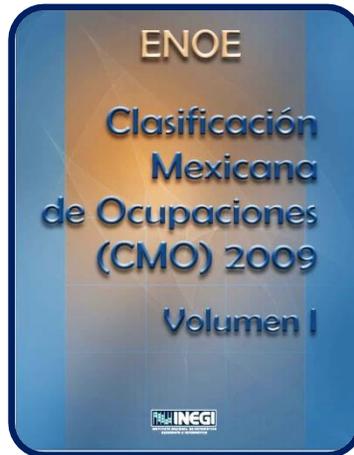
En lo que respecta al campo de estudio, la **Ingeniería (área de investigación) en Telecomunicaciones (línea de investigación)**, está considerada dentro del *Grupo Principal 11, Grupo Unitario 1105*, de las Profesiones legales en México, según el catálogo de la Clasificación Mexicana de Ocupaciones (CMO), donde se describe que:

*“los **profesionistas egresados** proyectan y dirigen la fabricación, funcionamiento, conservación y reparación de equipos electrónicos y de telecomunicaciones. Así mismo encomienda las **tareas** de investigación y asesoría sobre aspectos tecnológicos de materiales, equipos y sistemas eléctricos o electrónicos, instalación y asesoría sobre el funcionamiento de equipos de telecomunicaciones y su enlace con sistemas informáticos”, entre otras (ENOE, 2009).*

Las carreras profesionales en la actualidad, se preocupan por establecer las **competencias**<sup>5</sup> que deben ser desarrolladas por quienes las cursan **(GÓMEZ, 2006)**.

---

<sup>5</sup> Las **Competencias** son las capacidades de poner en operación los diferentes **conocimientos, habilidades, actitudes**, pensamiento, carácter y **valores** de manera integral en las diferentes interacciones que tienen los seres humanos para la vida en el ámbito personal, social y laboral. Actualmente, las competencias se entienden como actuaciones integrales para identificar,



**Figura 6.** ENOE. Clasificación Mexicana de Ocupaciones (CMO) 2009.

La *Ingeniería en Telecomunicaciones* no es la excepción, pues cultiva en quien la estudia, algunos de los siguientes *saberes*, correspondientes al *aprender y saber: conocer, hacer, ser, y convivir*, respectivamente (**TAVERA, 2000**):

- a) **Conocimientos**, en ciencias básicas, matemáticas, electrónica, acústica, control, computación, comunicaciones, entre otras especialidades, que permiten proponer soluciones a los problemas concernientes de la carrera.
  
- b) **Habilidades**, de ser capaz de aplicar los conocimientos adquiridos, para la solución de problemas concretos, además de ser capaz de crear, innovar, asimilar y adaptar la tecnología en el ámbito de la Ingeniería en Telecomunicaciones.

---

interpretar, argumentar y resolver problemas del contexto con idoneidad y ética, integrando *el saber ser, el saber hacer y el saber conocer* (**Tobón, 2006**).

- c) **Actitudes**, de atender los problemas de la ingeniería con una visión inclusiva de los fenómenos sociales; tener espíritu de servicio para la sociedad; asumir prácticamente la necesidad de una actualización constante mediante cursos de actualización.
- d) **Valores**, como respetar los derechos que implica la dignidad de la condición humana, y cultivar la responsabilidad, honestidad, honradez y el cuidado al medio ambiente.

Integrando estos saberes, se desarrollan las diferentes competencias para la Ingeniería en Telecomunicaciones. Estas competencias pueden ser **Educativas** o **de Acción (MARÍN, 2007)**. A continuación se presentan cada una de ellas.

#### **Competencias Educativas:**

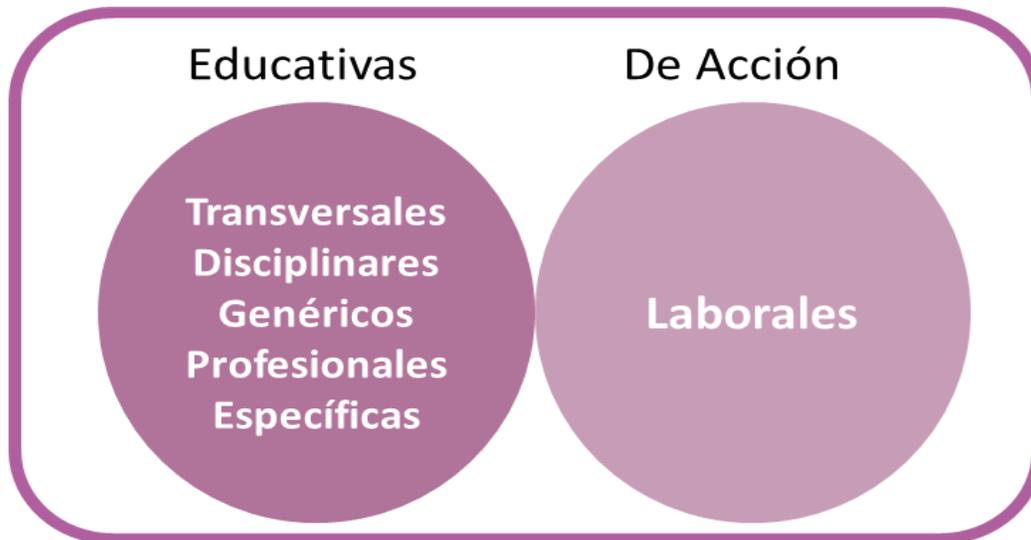
- **Competencias Transversales.** Se refiere a la organización curricular de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, con asignaturas de ciencias básicas, formación profesional, especialidad, cultura general, entre otras.
- **Competencias Disciplinarias.** Se refiere a las competencias como la aplicación de normas de seguridad en el manejo de sustancias, instrumentos y equipo en la realización de actividades de la vida cotidiana, entre otras.
- **Competencias Genéricas.** Se refieren a la comprensión del mundo y cómo influir en él, la continuación del aprendizaje autónomo y a lo largo de la vida, la participación social, profesional y política.

- **Competencias Profesionales.** Son las propias de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, como la instalación de los equipos, materiales de recepción, distribución de señales del centro de recepción y control de acuerdo con el programa establecido; la operación de sistemas de comunicación de circuitos públicos y a su vez, el monitoreo del comportamiento de los sistemas de conmutación en circuitos, el mantenimiento de equipos, redes y sistemas de telecomunicaciones, entre otros.
- **Competencias específicas.** Se refiere a las desarrolladas en el curso de la especialización de la carrera. Generalmente se ubican en los últimos semestres de la carrera. En la Ingeniería en Telecomunicaciones pueden ser vastas, como las **Radiocomunicaciones**, las microondas, la telefonía, la televisión, las comunicaciones satelitales, entre otras.

### **Competencias de Acción:**

- **Competencias Laborales.** Se refiere a las exigidas en el ejercicio profesional, como la operación de redes digitales para datos, voz y comunicación por fibra óptica, estaciones de radiocomunicaciones, centros de producción para radio y televisión, estaciones de enlace vía satélite para el manejo de cobertura de comunicación, así como colaborar como auxiliar en la instalación y mantenimiento de sistemas de telecomunicaciones.

Las competencias antes mencionadas, se engloban dentro de **Figura 7**.



**Figura 7.** Diagrama de competencias en Telecomunicaciones.

La **competencia específica** de los **sistemas de radiocomunicación**, según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT o ITU, de sus siglas en inglés y UIT-R para las Radiocomunicaciones), es que *se describen e interpretan diversas cuestiones relacionadas con los sistemas de radiocomunicaciones, como son:*

- **La normalización y reglamentación de ellos, la instalación de la radiodifusora y equipo de transmisión, la selección del tipo de transmisión.**
- *La clasificación de los servicios de radiocomunicaciones y de las estaciones radioeléctricas.*
- *La gestión de espectro radioeléctrico y las características técnicas de las emisiones.*
- *La propagación de las ondas radioeléctricas e identificación de los factores que intervienen en el cálculo de enlaces.*



**Figura 8.** Unión Internacional de Telecomunicaciones.

*Así como el funcionamiento básico de algunos sistemas y servicios, que ilustran la diversidad de aplicaciones que tienen las ondas radioeléctricas (UIT, 2013).*

En el párrafo anterior, se resalta lo que compete de la *competencia específica*, en este trabajo de investigación.

Para ser más precisos, la **competencia**<sup>6</sup> consiste en que:

- *Se describen y aplican las técnicas de transmisión y recepción convenientes para la radiodifusión en AM y FM, para el diseño e instalación de la estación de radio.*
- *Se instala el equipo de las estaciones radioeléctricas, se interpretan y distinguen los diversos procesos básicos que se emplean para la gestión del espectro radioeléctrico.*
- *Se busca cumplir las disposiciones legales necesarias para una correcta gestión de las estaciones difusoras de audio y video por ondas de radio".*

---

<sup>6</sup> La **Competencia** se establece usando las directrices del investigador de la Facultad de Psicología y Ciencias de la Educación Universidad de Ginebra, Philippe Perrenoud, Ph. D. (Perrenoud, 1997).

### 1.3 Objetivo y Caso de Estudio.

---

Los objetivos poseen una gran importancia para la investigación, ya que constituyen la guía por donde va a transitar la investigación. Según **HERNANDEZ (2010)**, es necesario establecer que pretende la investigación, es decir cuáles son sus objetivos.

Un caso de estudio, consiste en un ejemplo real en el que se presenta una validación positiva sobre la implementación de una metodología.

A continuación, se establece el objetivo y caso de estudio de este trabajo de investigación.



**Figura 9.** Grupo Fórmula Guerrero.

El **objetivo**<sup>7</sup> es *describir el proceso de instalación de una señal de FM*; teniendo como **caso de estudio**, *el proceso de instalación de la señal de radio 106.3 MHz (XHACA-FM), concesionada a Grupo Fórmula Guerrero.*

---

<sup>7</sup> El **Objetivo** se establece usando la taxonomía de Benjamín Bloom (1913-1999) (**Eco, 1997**).

## 1.4 Preguntas y Tareas.

---



Como una guía para el cumplimiento del **objetivo** y una posible **solución del problema**, se formulan las siguientes **preguntas científicas**, que darán pie al capitulado:

1. ¿**Por qué** realizar la instalación de una señal de radio en FM?
2. ¿**Cuáles** son las estrategias tecnológicas que hacen posible la instalación de la señal modulada en frecuencia?
3. ¿**Cómo** analizar la instalación de una señal de radio FM?
4. ¿**Dónde** validar el proceso de instalación de una señal FM?
5. ¿**Cuáles** son las recomendaciones y sugerencias para la instalación de una señal en frecuencia modulada y **cuándo** hacerlo?
6. ¿**Qué** líneas de investigación y trabajos futuros surgen del proceso de instalación de una señal de radio FM?

Para cada una de las *Preguntas Científicas* anteriormente planteadas, se proponen las siguientes **tareas de investigación** para su cumplimiento:

1. Se buscarán las razones del *porqué* se pretende instalar una señal de radio en frecuencia modulada.
2. Se investigarán *cuáles* son los criterios tecnológicos que hagan posible la instalación de una señal modulada en frecuencia.
3. Se analizará la instalación de una señal de radio FM *como* un proceso.
4. Se validará el proceso de instalación de una señal FM *en* un *caso de estudio* práctico.
5. Se elaborará una *metodología* para sistematizar *cuáles* son las recomendaciones y sugerencias para la instalación de una señal de FM, que establezca *cuándo* se debe comenzar con el proceso.
6. Proponer las líneas de investigación y los posibles trabajos futuros, *que* surjan del proceso de instalación de una señal de radio FM.

## 1.5 Métodos e Hipótesis.

---

En cuanto a los **métodos de investigación** que serán empleados en este trabajo, serán clasificados como: **Métodos Teóricos** y **Empíricos**.

### a) Métodos Teóricos.

- **Análisis-síntesis, hipotético-deductivo e inductivo-deductivo.** Se utilizan en el procesamiento de la información, tanto teórica como empírica, para caracterizar el objeto de investigación, determinar el campo, los objetivos e hipótesis, las preguntas científicas y tareas de investigación, así como los fundamentos teóricos y metodológicos y elaborar las conclusiones<sup>8</sup>.
- **Análisis de fuentes e histórico-lógico,** para la constitución del marco teórico de la investigación<sup>9</sup>.
- **Tecno-metafísico general y ontológico-tecnológico en particular,** para la construcción de los fundamentos filosóficos de la investigación<sup>10</sup>.

---

<sup>8</sup> **Análisis:** descomponer al todo en sus partes; **síntesis:** integrar las partes en un todo; **hipótesis:** suposición inicial asumida como cierta; **inducción:** ir de lo particular a lo general; **deducción:** ir de la general a lo particular (**Bischoff, 1992**).

<sup>9</sup> **Historia:** ciencia que se encarga del estudio del pasado; **lógica:** rama de la filosofía que se encarga del estudio de la estructura del pensamiento usando razonamientos en pos de la verdad (**Gómez, 2010**).

<sup>10</sup> **Técnica:** procedimiento o conjunto de reglas, normas o protocolos, que tienen como objetivo obtener un resultado determinado; **tecnología:** conjunto de conocimientos técnicos, ordenados científicamente, que permiten diseñar y crear bienes y servicios que facilitan la adaptación al medio ambiente y satisfacer tanto las necesidades esenciales como los deseos de la humanidad (**Gómez, 2010**).

- El *método basado en proyectos*, se utilizó parcialmente para la validación de la metodología del proceso de instalación de una señal de frecuencia, mediante un caso de estudio real<sup>11</sup> (**MOUST, 2007**).
- La *modelación* y el *método sistémico-estructural*, se utilizan en la elaboración y detección de las etapas del proceso de instalación<sup>12</sup>.

## b) Métodos Empíricos.

- *Observación* simple en la instalación de la torre arriestrada<sup>13</sup>.
- *Experimentación* y heurística para las orientaciones al instalar las antenas de transmisión de radiofrecuencia<sup>14</sup>.

Una vez definidos los métodos de investigación, se asume como válida, la siguiente **hipótesis de trabajo**<sup>15</sup>:

**"La instalación de una señal de radio FM, es posible llevarla a cabo mediante una metodología ad hoc, basada en un diseño de procesos y validarla mediante la implementación de un caso de estudio".**

<sup>11</sup> **Proyecto**: planificación de actividades u operaciones relacionadas entre sí; *metodología*: procedimientos para alcanzar objetivos (**Krajewsky, 2000**).

<sup>12</sup> El **Modelo** es la representación de algún ente; *método*: camino para llegar a la verdad; *sistemas*: conjunto de entradas y salidas, y una relación entre ellas; *estructura*: organización ordenada de las partes de un sistema (**Jones, 1996**).

<sup>13</sup> **Observación**: parte del método científico que se encarga de recoger los datos, hechos y fenómenos que se quieran estudiar (**Ocampo, 2006**).

<sup>14</sup> **Experimentación**: parte del método científico que se encarga de la repetición controlada del fenómeno a estudiar (**Ocampo, 2006**).

<sup>15</sup> También llamada **hipótesis de investigación**.

## 1.6 Aportación y Novedad.

---



La **aportación teórica** consiste en la propuesta de una metodología apropiada para la descripción del proceso de instalación de una señal de radiofrecuencia, y la **aportación práctica** es su viabilidad mediante un caso de estudio de una instalación de una señal real de radio FM.

La **novedad tecnológica**, es la puesta en marcha de una señal de radiofrecuencia usando una metodología propia.

## 1.7 Capitulado.

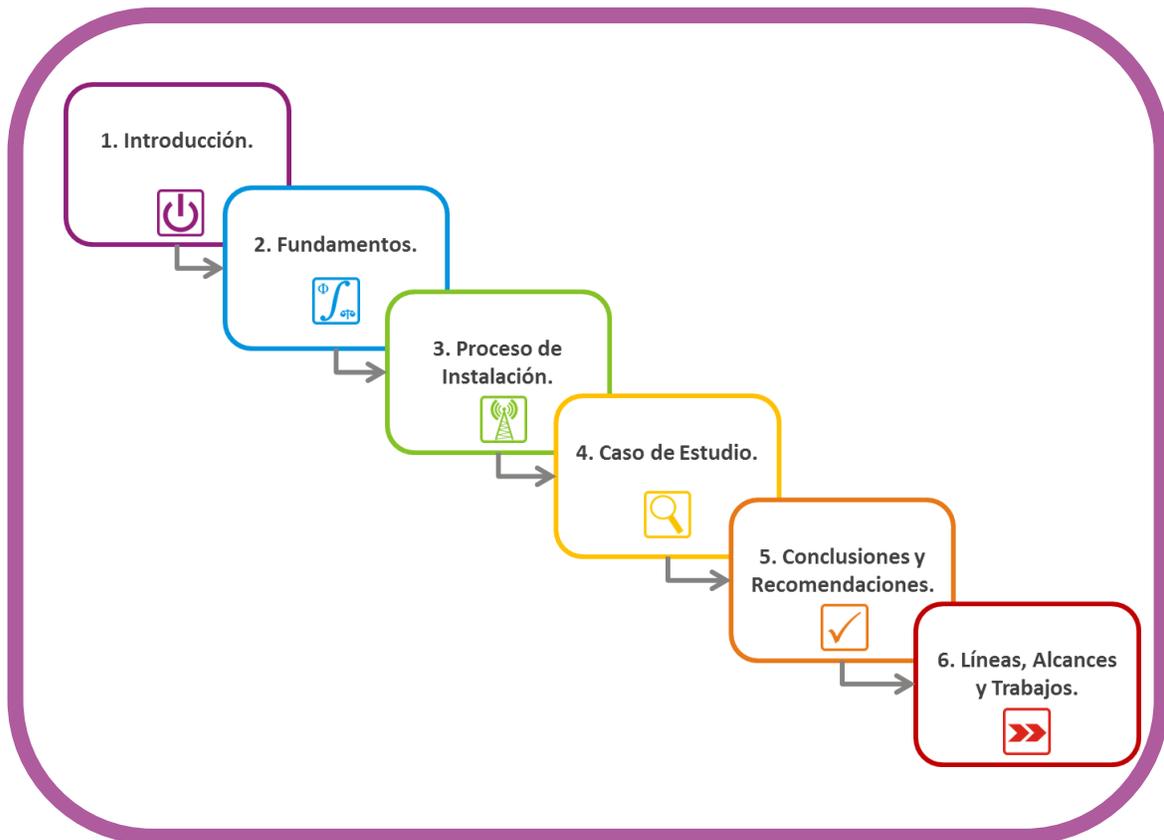
---

Siguiendo el orden de las tareas de investigación, surgen de manera natural los capítulos siguientes:

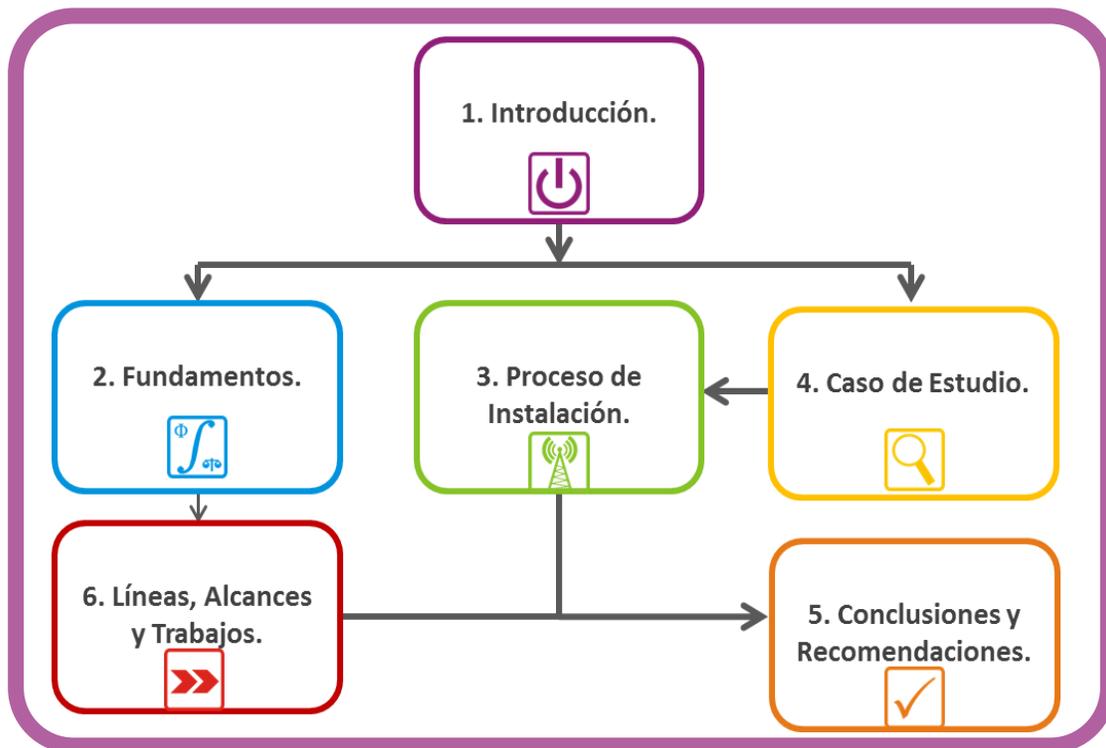
- El presente capítulo (*Capítulo 1*) consta de una breve introducción del por qué se elige este tema de investigación; la problemática y justificación; el objeto de investigación, campo y competencia; el objetivo y el caso de estudio; las preguntas científicas y tareas de investigación; los métodos e hipótesis de trabajo; el alcance, la novedad y la aportación; hasta llegar a la estructura capitular.
- En el *Capítulo 2* hace referencia a los fundamentos teóricos del proyecto ante la necesidad de conocer el proceso de instalación de una señal en FM.
- El *Capítulo 3* se enfoca en desarrollar un modelo didáctico sustentado en el principio heurístico general de la visualización.
- En el *Capítulo 4* se implementa el modelo didáctico ejemplificándolo mediante un caso de estudio.
- El *Capítulo 5* se redactan las conclusiones y las recomendaciones.
- Finalmente, en el *Capítulo 6*, se realizan las líneas de investigación, el alcance tecnológico y los trabajos futuros.

Para dar lectura a este trabajo de tesis, se sugiere seguir dos Estructuras: Lineal y Alternativa.

- a) **Estructura lineal.** Es la organización tradicional por capítulos sucesivos, como se muestra en la **Figura 10**.
  
- b) **Estructura alternativa.** Es la organización alterna de los capítulos permitiendo una lectura más dinámica y comparativa, tal y como se muestra en la **Figura 11**.



**Figura 10.** Estructura lineal.

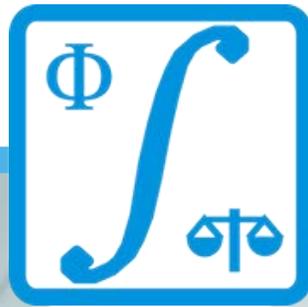


**Figura 11.** Estructura alternativa para lectura breve.

En los capítulos siguientes al 6, se termina el formato protocolario de la tesis como sigue:

- En el **Capítulo 7** se muestran los Anexos.
- En el **Capítulo 8** son presentadas las Referencias.
- En el **Capítulo 9** se escriben las Fichas de la Bibliografía consultada para la elaboración de esta investigación.
- El **Capítulo 10** despliega los índices de figuras, ecuaciones, tablas y el general.
- El **Capítulo 11** muestra la Ficha Técnica de la Tesis.
- Y el **Capítulo 12** presenta a los Autores y al Asesor de la Tesis.

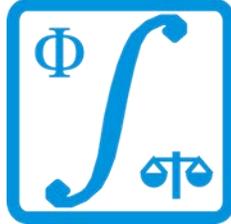
En el siguiente Capítulo se desarrolla el fundamento Filosófico, Técnico y Legal de este trabajo de investigación.



## 2. Fundamentos.

## 2. Fundamentos.

---



2.1 Filosóficos.

2.2 Teóricos.

2.2.1 Teoría Electromagnética.

2.2.1.1 Operadores Vectoriales.

2.2.1.2 Teoremas Vectoriales.

2.2.1.3 Ecuaciones de Maxwell.

2.2.2 Sistemas de Comunicación.

2.2.2.1 Medios Tx Alámbricos.

2.2.2.2 Medios Tx Inalámbricos.

2.2.2.2.1 Parámetros de Antenas Tx.

2.2.2.2.2 Parámetros de Antenas Rx.

2.2.3 Radiocomunicación.

2.2.3.1 Modulación y Demodulación.

2.2.3.2 Modulación Angular.

2.2.3.3 FM de Banda Ancha.

2.2.3.4 Comparativa AM y FM.

2.3 Marco Legal.

2.4 Estado Actual.

## 2. Fundamentos.

---



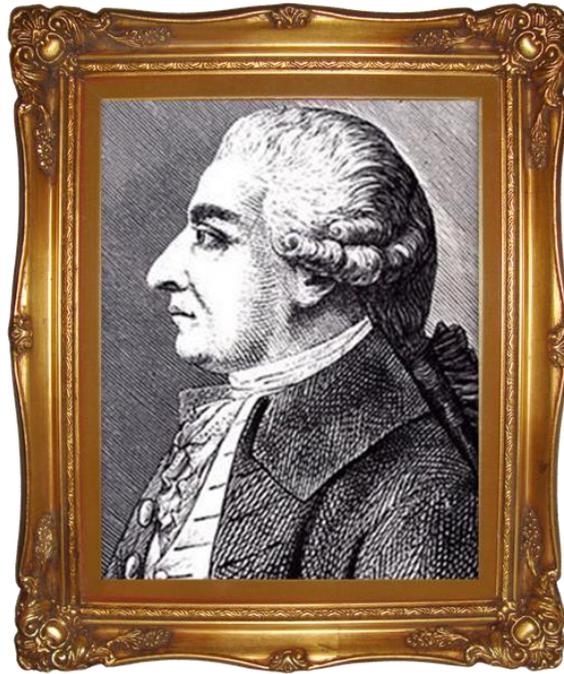
En este capítulo se tratarán los *fundamentos filosóficos, teóricos, legales* y el *estado actual* de los procesos que conllevan a instalar una señal de FM. El análisis del caso de estudio se reserva para el *Capítulo 4*.

### 2.1 Filosóficos.

---

La palabra *tecnología*, escrita en griego *τεχνολογία*, está formada por el prefijo *τέχνη* (en latín *téchnē*, que significa: arte, técnica u oficio), traducido como *destreza*; y el sufijo *λογία* (en latín *logía*, que significa: estudio), traducido como *el tratado de algo*.

Se le atribuye al alemán Johan Beckmann (1739-1811) en 1777, y se le usa en el mundo de la ingeniería y la industria. En 1983, Joshep Mesthene define a la tecnología como "*conocimiento con propósitos prácticos, es el uso de herramientas para alcanzar objetivos específicos*". En el año 2000, Joseph Pitt define a la tecnología como "*humanidad trabajando la actividad humana y su uso deliberado de herramientas*". En 1988, Rogers la propone como "*la práctica de organizar el diseño, construcción y operación de cualquier artefacto que transforme el mundo físico y social alrededor del hombre, para satisfacer alguna necesidad reconocida*". Esta es la postura teórica asumida en este trabajo de investigación **(GÓMEZ, 2010)**.



**Figura 12.** Johan Beckmann (1739-1811).

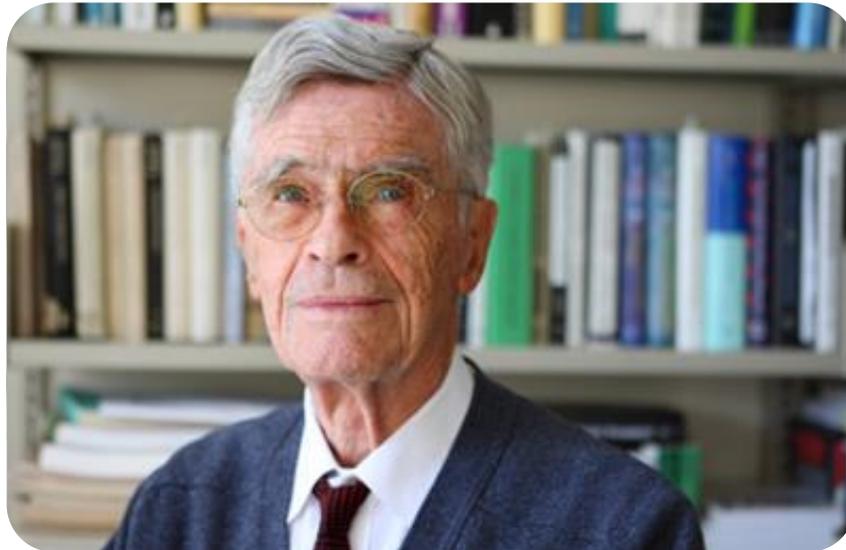
Siguiendo una clasificación aparecida en **BUNGE (1997)**, los aspectos o dimensiones relacionados con los *problemas filosóficos de la tecnología*, se pueden abordar desde la subdisciplina de la *tecno-metafísica*<sup>16</sup>, que crea una *ontología*<sup>17</sup> *tecnológica*.

Para la *ontología tecnológica*, el hombre, con ayuda de la tecnología, puede alterar ciertos procesos naturales y sociales en forma deliberada y con arreglo a planes determinados. Visualiza al hombre en un sentido de *ser creador* y *ser transformador*.

---

<sup>16</sup> **Metafísica** (deriva del griego μεταφυσική, que significa *más allá de la naturaleza*) es una rama de la filosofía que se encarga de estudiar la naturaleza, estructura, componentes y principios fundamentales de la realidad (**RAE, 2013**).

<sup>17</sup> **Ontología** (del griego οντος, genitivo del participio del verbo ειμι, ser, estar; y λόγος, ciencia, estudio, teoría) es una parte de la metafísica que estudia lo que hay, es decir, estudia la manera en que se relacionan las entidades que existen. Además, estudia el ser en general y sus propiedades trascendentales. Puede nombrarse como el estudio del ser en tanto lo qué es y cómo es (**RAE, 2013**).



**Figura 13.** Mario Bunge (1919).

*El hombre como ser creador*, se refiere a lo siguiente: puesto que los artefactos están sujetos al control humano, constituyen un nivel *óntico* propio, con propiedades y leyes propias. Así la realidad está conformada por objetos naturales, objetos sociales y objetos tecnológicos, cada uno con sus propiedades y leyes.

*El hombre como ser transformador*, se refiere a que gracias a la tecnología, el hombre puede crear o destruir clases naturales, enriqueciendo o empobreciendo la variedad de la realidad (**VERGNE, 2009**).

De ambos sentidos (visualización del hombre como ser creador y transformador), el utilizado aquí, es el de considerar al hombre como **ser transformador**.

Por otra parte, somos primordialmente seres "sociales", en el sentido de que pasamos la mayor parte de nuestras vidas con otras personas. Por consiguiente, es importante aprender a entenderse con los otros y a funcionar adecuadamente en situaciones sociales.

La **comunicación** es el acto por el cual un individuo establece con otro un contacto que le permite transmitir una *información*. En su raíz etimológica, la palabra **comunicación** deriva del latín *communicare*, que puede traducirse como *poner en común, compartir algo*. Este término es polisémico y puede ser analizado a partir de una diversidad de *enfoques* como:

- *Enfoque mecanicista*: cuando se entiende a la comunicación, como un perfecto transmisor de un mensaje desde un *emisor* hasta un *receptor*.
- *Enfoque psicológico*: cuando se considera a la comunicación, como el acto de enviar un mensaje a un *perceptor* (llamado así porque considera al *receptor* como sujeto de la comunicación) y en el cual las sensaciones y las ideas de ambas partes influyen considerablemente en el contenido del mensaje.
- *Enfoque socioconstructivista o interaccionismo simbólico*: cuando se considera a la comunicación, como el producto de significados creativos e interrelaciones compartidas.
- *Enfoque sistémico*: cuando se considera a la comunicación, como un mensaje que pasa por un largo y complejo proceso de transformaciones e interpretaciones desde que ocurre hasta que llega a los perceptores.

Además, la *comunicación* en un contexto amplio, es de suma importancia para la supervivencia de especies gregarias, pues la información que ésta extrae de su medio ambiente y su

facultad de transmitir mensajes serán claves para sacar ventaja del modo de vida gregario<sup>18</sup>.

La *comunicación* entre seres humanos, es llamada *comunicación humana*, y para algunos autores, es concebida como un *ritual*, que los seres humanos llevan a cabo desde que nacen.

Paul Watzlawick (1921-2007) propuso los cinco *axiomas de la comunicación humana*, cuyo cumplimiento es indefectible; es decir, que *nunca se hallan ausentes*, los cuales son:

- 1. Es imposible no comunicarse.** Todo comportamiento es una forma de comunicación. Como no existe forma contraria al comportamiento («*no comportamiento*» o «*anticomportamiento*»), tampoco existe «*no comunicación*».
- 2. Toda comunicación tiene un nivel de contenido y un nivel de relación, tal que este último clasifica al primero, y es, por tanto, una metacomunicación.** Esto significa que *toda comunicación tiene, además del significado de las palabras, más información* sobre cómo el que habla quiere ser entendido y que le entiendan, así como, cómo la persona receptora va a entender el mensaje; y cómo el primero ve su relación con el receptor de la información.

---

<sup>18</sup> Esto significa que sigue una tendencia a agruparse en manadas o colonias, en el caso de los animales, o en grupos sociales, en el caso de las personas, o también que el ser necesita de un grupo para poder sentirse bien; filosóficamente, se dice que el ser humano no es ni completamente gregario, como las hormigas o las abejas, ni totalmente solitario, como los tigres o los leopardos, sino que es más complejo y tiende a ser semigregario, es decir, algunos de sus impulsos y necesidades son sociales y otras son solitarias (**Vergne, 2009**).

**3. La naturaleza de una relación, depende de la gradación de secuencias de comunicación entre los comunicantes.**

Tanto el emisor como el receptor de la comunicación estructuran el flujo de la comunicación de diferente forma y, así, interpretan su propio comportamiento como mera reacción ante el del otro. Cada uno cree que la conducta del otro es «la» causa de su propia conducta, cuando lo cierto es que **la comunicación humana** no puede reducirse a un sencillo juego de causa-efecto, sino que es un **proceso cíclico**, en el que cada parte contribuye a la **continuidad** (o ampliación, o modulación) del intercambio.

**4. Los seres humanos se comunican tanto digital como analógicamente.**

El **lenguaje digital** cuenta con una sintaxis lógica sumamente compleja y poderosa pero carece de una semántica adecuada en el campo de la relación, mientras que el **lenguaje analógico** posee la semántica pero no una sintaxis adecuada para la definición inequívoca de la naturaleza de las relaciones.

Es decir, la comunicación no implica simplemente las palabras habladas (comunicación digital: lo que se dice); también es importante la comunicación **no verbal** (o comunicación analógica: cómo se dice).

**5. Los intercambios comunicacionales son simétricos o complementarios, según estén basados en la igualdad o la diferencia.**

Si la relación de las personas comunicantes está basada en intercambios igualitarios, es decir, tienden a igualar su conducta recíproca (p. ej.: el grupo A critica fuertemente al grupo B, el grupo B critica



**Figura 14.** Paul Watzlawick (1921-2007).

fuertemente al grupo A); o si está basada en intercambios aditivos, es decir, donde uno y otro se complementan, produciendo un acoplamiento recíproco de la relación (p. ej.: A se comporta de manera dominante, B se atiene a este comportamiento). Una relación complementaria es la que presenta un tipo de autoridad (padre-hijo, profesor-alumno) y la simétrica es la que se presenta en seres de iguales condiciones (hermanos, amigos, amantes, etc.).

Del primer *axioma de Watzlawick*, se deduce que la comunicación (humana) **existe y es posible**; además, asumiendo una postura *teleológica*<sup>19</sup> de la comunicación, es decir, querer llevar la comunicación a grandes distancias, es que resulta perfectamente factible la existencia de una nueva forma de querer comunicarse. A ésta forma, se le llama **telecomunicación**.

---

<sup>19</sup> **Teleología** se refiere al estudio de los fines o propósitos de algún objeto o algún ser, o bien literalmente, a la doctrina filosófica de las causas finales (**RAE, 2013**).



**Figura 15.** Radiocomunicación en la milicia.

La **radiocomunicación** es un sistema particular de **telecomunicación** que se realiza a través de **ondas de radio** que se propagan en el espacio; este sistema tecnológico, es donde se desarrollará la propuesta de este trabajo de investigación.

Por lo que el enfoque **tecno-metafísico** general y **óntico-tecnológico** particular, significa que *el hombre como ser transformador con ayuda de la tecnología de las comunicaciones de radio, puede alterar ciertos procesos naturales (como el ecosistema, al instalar las torres*

*en áreas verdes) y sociales (como formar una nueva comunidad de radioescuchas al poner en marcha una estación de radio), en forma deliberada y con arreglo a una planificación específica (que se denominará proceso<sup>20</sup>).*

A continuación, se desarrollará la teoría que va a fundamentar este trabajo de investigación, con base en la interrogante:

***¿Cuál es el proceso de instalación de una señal de frecuencia modulada?***

---

<sup>20</sup> **Proceso** es un conjunto de actividades o eventos (coordinados u organizados) que se realizan o suceden (alternativa o simultáneamente) bajo ciertas circunstancias con un fin determinado (**RAE, 2013**).

## 2.2 Teóricos<sup>21</sup>.

---

Las teorías científicas que fundamentan la investigación son: el *electromagnetismo, los sistemas de comunicaciones en general, y en particular las radiocomunicaciones, dando énfasis en la modulación-demodulación de frecuencia*. A continuación se describe cada una de ellas.

### 2.2.1 Teoría<sup>22</sup> Electromagnética.

---

Durante el proceso de instalación de una señal de frecuencia modulada, intervienen los fenómenos electromagnéticos que generan las ondas<sup>23</sup> de radio. La Teoría encargada del estudio de estos fenómenos se denomina *Teoría Electromagnética* o *Electromagnetismo*.

El **Electromagnetismo** es una rama de la física que estudia los fenómenos eléctricos y magnéticos de los cuerpos, en un mismo tratado **(RAE, 2013)**. Sus fundamentos fueron establecidos por Michael Faraday (1791-1867) y unificados por James Clerk Maxwell (1831-1879), quien sintetizó los resultados obtenidos por Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806), Johann Carl Friederich Gauss (1777-1855) y André-Marie Ampère (1775-1836), entre otros, para dar una

---

<sup>21</sup> Un **Marco Teórico** es la parte de la *Tesis* donde se identifica una o varias teorías que pueden dar base teórica a la solución del problema de investigación **(Eco, 1997)**.

<sup>22</sup> Una **Teoría** es un conjunto de conocimientos que se tienen acerca de algo **(DEM, 2013)**.

<sup>23</sup> Una **Onda** es una Forma de propagarse a través del espacio los campos eléctricos y magnéticos producidos por las cargas eléctricas en movimiento. Para las ondas comprendidas entre diferentes intervalos de frecuencia se emplean denominaciones especiales, como ondas radioeléctricas, microondas, ondas luminosas, rayos X, rayos gamma, etc. **(Ostrovsky, 1999)**.

descripción coherente del **Campo**<sup>24</sup> **Electromagnético**<sup>25</sup> (**PURCELL, 1984 ; COSTA, 2007 ; MENÉNDEZ, 1999**).



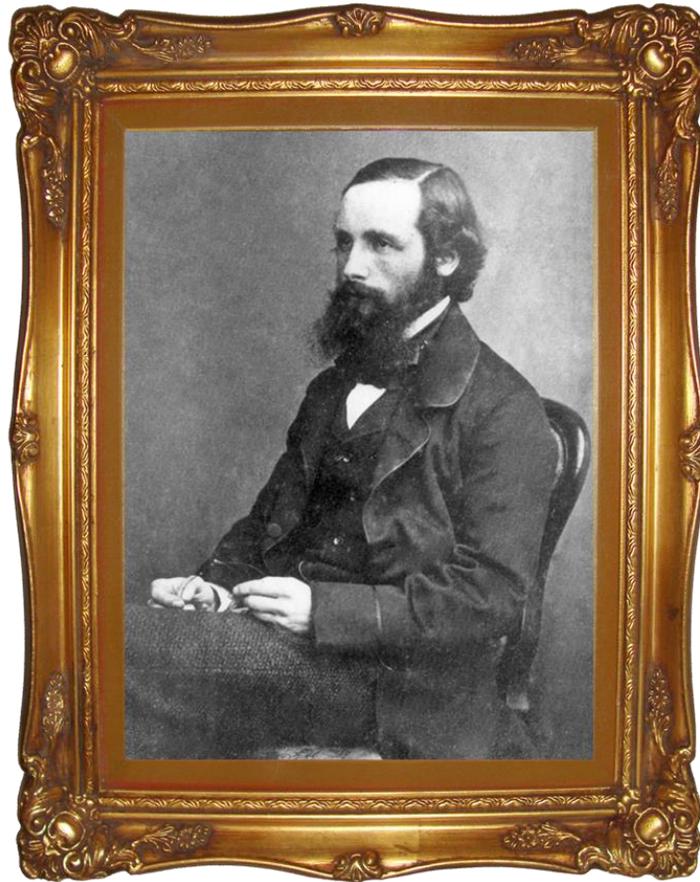
**Figura 16.** Aurora boreal: Fenómeno natural electromagnético.

Esta teoría consiste en cuatro ecuaciones vectoriales, en forma diferencial o integral, que relacionan el *campo eléctrico* y *el campo magnético*, junto con sus respectivas fuentes materiales (*corriente eléctrica, polarización eléctrica y polarización magnética*), denominadas **Ecuaciones de Maxwell**, en honor a quien las postuló (**HYAT, 2006**).

---

<sup>24</sup> Un **Campo** es la representación del espacio de una magnitud física que manifiesta cierta variación en una zona de un espacio definido. En matemáticas, tiene varios significados. Como estructura algebraica de un conjunto y dos operaciones binarias; como una función vectorial que devuelve escalares (campo escalar) o que devuelve vectores (campo vectorial). Para la teoría electromagnética, este último enfoque es el que se utiliza (**Bara, 1999**).

<sup>25</sup> Matemáticamente, un **Campo Electromagnético** es un *campo físico*, de tipo *tensorial*, producido por aquellos elementos cargados eléctricamente, que afecta a partículas con carga eléctrica. En electrodinámica clásica y sobre todo en teoría de la relatividad, la notación algebraica del campo electromagnético, se representa matricialmente por un tensor 2-covariante y antisimétrico (**Landau, 1973**).



**Figura 17.** James Clerk Maxwell (1831-1879).

Originalmente fueron un conjunto de veinte expresiones publicadas por Maxwell en 1865, en *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field (Una Teoría Dinámica del Campo Electromagnético)*<sup>26</sup>. En 1884, Oliver Heaviside (1850-1925) junto con Willard Gibbs (1839-1903) agruparon estas ecuaciones y las reformularon en forma vectorial con las que usualmente se presentan. Actualmente sólo se destacan cuatro, dado que sólo con éstas, es suficiente para describir por completo los fenómenos electromagnéticos.

---

<sup>26</sup> En él se predecía la existencia de ondas electromagnéticas, propagándose a la velocidad de la luz, dependiendo del medio material. De esta manera Maxwell definió a la luz como una onda electromagnética, unificando la óptica con el electromagnetismo (**Torrance, 1864**).

Las cuatro ecuaciones conjuntamente con la **Fuerza de Lorentz**, explican cualquier tipo de fenómeno electromagnético. Una ventaja de las **Ecuaciones de Maxwell** es que permanecen invariantes en cualquier sistema de unidades, y que son compatibles con la relatividad especial y general (**BEUCHE, 1988 ; PORTIS, 1985**).

Las ecuaciones son las presentadas en la **Tabla 1**.

| No. | Nombre                            | Forma diferencial   | Forma integral  |
|-----|-----------------------------------|---|---|
| 1   | Ley de Gauss para campo eléctrico | $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$ (2.1)              | $\oint_s \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q}{\epsilon_0}$ (2.2)                       |
| 2   | Ley de Gauss para campo magnético | $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$ (2.3)                                    | $\oint_s \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$ (2.4)  |
| 3   | Ley de Faraday                    | $\vec{\nabla} \times \vec{E} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ (2.5) | $\oint_c \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{d}{dt} \int_s \vec{B} \cdot d\vec{s}$ (2.6) |
| 4   | Ley de Ampère generalizada        | $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}$ (2.7)                             | $\oint H \cdot dl = I_{enc}$ (2.8)  |

**Tabla 1.** Ecuaciones de Maxwell.

Además, Maxwell descubrió que la cantidad

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (2.9)$$

es simplemente la velocidad de la luz en el vacío, por lo que la luz es una forma de radiación electromagnética. Los operadores vectoriales que aparecen en las Ecuaciones de Maxwell se explican en la siguiente sección (**WILSON, 2003**).

### 2.2.1.1 Operadores Vectoriales.

---

Muchas de las cantidades con las que se hacen los cálculos para estudiar la teoría electromagnética son **vectores**<sup>27</sup>, por lo tanto sus magnitudes como sus direcciones pueden cambiar conforme la posición espacial. En cálculo vectorial, se usan tres herramientas fundamentales para describir las variaciones espaciales diferenciales de magnitudes escalares y vectores. Estos son los operadores **gradiente**, **divergencia** y **rotacional** (ULABY, 2007).

La notación para los vectores es testar la letra correspondiente con una flecha unidireccional. Por ejemplo, el vector **A**, se denota por  $\vec{A}$ . Si no se prueba, se entiende que es una de las componentes del vector.

#### a) Gradiente.

El operador **gradiente** se aplica a campos escalares. Su símbolo es  $\nabla$  (letra griega mayúscula invertida **delta**) y también es conocido como operador **nabla** o como operador **del**. En coordenadas cartesianas<sup>28</sup> se define como:

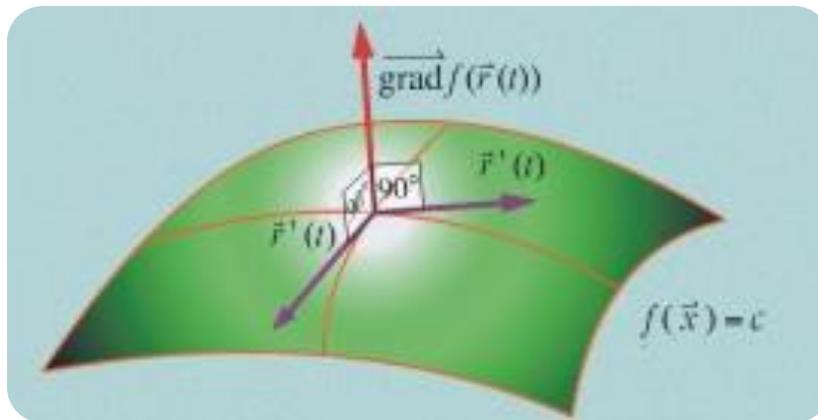
$$\vec{\nabla} = \mathbf{i} \frac{\partial(\ )}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial(\ )}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial(\ )}{\partial z} \quad (2.10)$$

---

<sup>27</sup> Un **Vector** es una magnitud física que posee dirección y sentido. Es representada por una flecha de tamaño y orientación que representa (EDMINISTER, 1994).

<sup>28</sup> Una **Coordenada cartesiana** es un conjunto ordenado de números, que determina un punto en el plano o en el espacio con respecto a un sistema de ejes perpendiculares (Ejes cortados en ángulo de 90° grados) entre sí (DEM, 2013).

Este operador carece de significado físico por sí mismo, lo adquiere cuando opera sobre una cantidad física escalar<sup>29</sup>, y el resultado de la operación es un vector cuya magnitud es igual a la tasa de cambio máxima de la cantidad física por unidad de distancia, y cuya dirección es a lo largo de la dirección de incremento máximo **(ULABY, 2007)**.



**Figura 18.** Interpretación geométrica de un Gradiente.

## b) Divergencia.

La manera en que se transporta un campo eléctrico de un lugar a otro a través del espacio se caracteriza por tener dos propiedades. Una de ellas es la **divergencia (EDMINISTER, 1994)**.

Cuando el gradiente ( $\vec{\nabla}$ ) se asocia en un producto punto con un vector  $\vec{A}$ , el resultado es la divergencia de  $\vec{A}$ , lo cual se representa matemáticamente por la **Ecuación 2.11**.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{A} = \left( \mathbf{i} \frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial}{\partial z} \right) \cdot (A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k}) = \mathbf{i} \frac{\partial A_x}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial A_y}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial A_z}{\partial z} = \text{div } \vec{A} \quad (2.11)$$

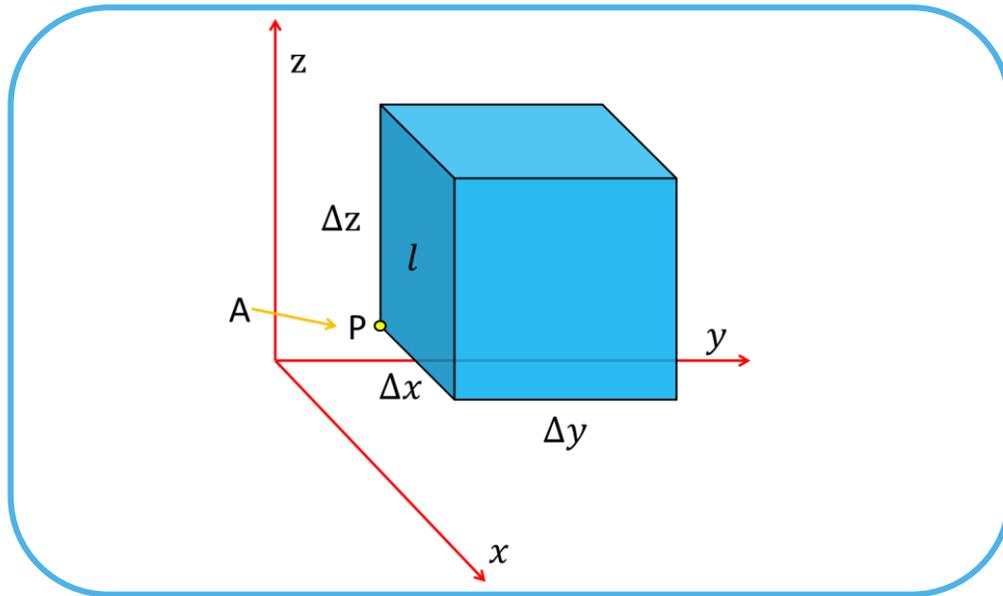
<sup>29</sup> Una cantidad física **Escalar** es una magnitud que, a diferencia de los vectores, puede representarse como un número real, sin dirección ni sentido, como la temperatura, la masa y el tiempo **(DEM, 2013)**.

Cuando la divergencia de un campo vectorial difiere de cero, se asevera que la región contiene *fuentes* (cuando la divergencia es positiva) o *sumideros* (cuando la divergencia es negativa). En los campos eléctricos hay relación entre la divergencia positiva, las fuentes y la carga eléctrica positiva  $Q$ . El flujo eléctrico  $\Psi$  (letra griega mayúscula *psi*) se origina por definición en una carga positiva. De esta manera, una zona que contenga cargas positivas contiene *fuentes*  $\Psi$ . La divergencia de la densidad de flujo eléctrico  $D$  será positiva en esta región. Una relación parecida existe entre la divergencia negativa, los sumideros y la carga eléctrica negativa (**LATHI, 1991**).

La divergencia del campo vectorial  $\vec{A}$  en el punto  $P$  está definida por la siguiente relación:

$$\text{div } \vec{A} = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \frac{\oint \vec{A} \cdot d\mathbf{S}}{\Delta v} \quad (2.12)$$

en este caso, la integración se hace sobre un volumen infinitesimal  $\Delta v$  que se comprime hasta el punto  $P$ .



**Figura 19.** Cubo para demostrar la divergencia.

La divergencia puede expresarse para cualquier campo vectorial en cualquier sistema de coordenadas. Para describirlo en un sistema de coordenadas cartesianas, se selecciona un cubo con aristas  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  y  $\Delta z$  paralelas a los ejes  $x$ ,  $y$  y  $z$ , como se muestra en la **Figura 19**. Así, el campo vectorial  $\vec{A}$  se define en  $P$ , esquina del cubo correspondiente a los vectores menores de  $x$ ,  $y$  y  $z$ , es decir:

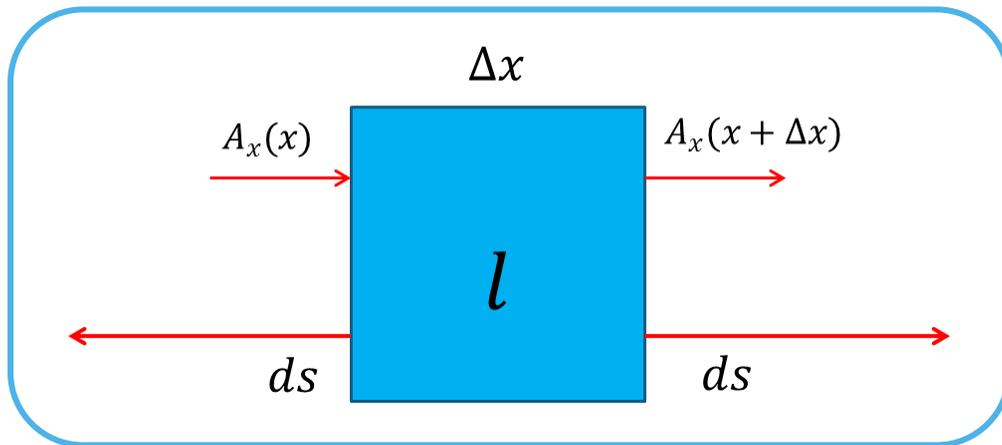
$$\vec{A} = A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k} \quad (2.13)$$

Para expresar  $\oint \vec{A} \cdot d\mathbf{S}$  en todo el cubo, deben cubrirse las seis caras. Para cada cara la dirección de  $d\mathbf{S}$  es saliente. Como las caras son normales a los ejes, sólo una componente de  $\vec{A}$  atravesará dos caras paralelas cualesquiera (**LATHI, 1991**).

$$\int_{\text{cara izquierda}} \vec{A} \cdot d\mathbf{S} \approx -A_x(x) \Delta y \Delta z$$

$$\int_{\substack{\text{cara} \\ \text{derecha}}} \vec{A} \cdot d\vec{S} \approx -A_x(x + \Delta x)\Delta y\Delta z$$

$$\approx \left[ A_x(x) + \frac{\partial A_x}{\partial x} \Delta x \right] \Delta y\Delta z$$



**Figura 20.** Cubo girado hacia una de sus caras.

En la

**Figura 20**, el cubo ha sido girado de tal manera que la cara  $l$  tiene vista total. Las componentes  $x$  de  $\vec{A}$  sobre las caras a la derecha y a la izquierda de  $l$  aparecen indicadas.

Como las caras son pequeñas, de manera que el total para estas dos caras es:

$$\frac{\partial A_x}{\partial x} \Delta x \Delta y \Delta z$$

El mismo procedimiento se aplica a los restantes pares de caras y se combinan los resultados

$$\text{div } \vec{A} = \left( \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z} \right) \Delta x \Delta y \Delta z \quad (2.14)$$

Dividiendo por  $\Delta x \Delta y \Delta z = \Delta v$  y haciendo  $\Delta v \rightarrow 0$ , se obtiene

$$\text{div } \vec{A} = \left( \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z} \right) \quad (2.15)$$

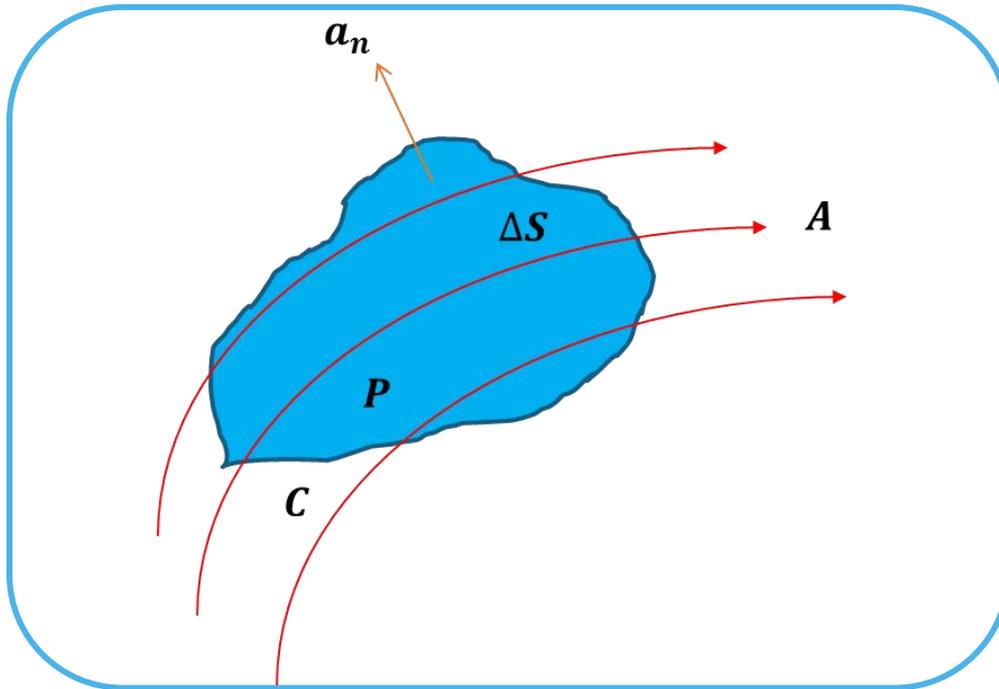
en coordenadas cartesianas.

### c) Rotacional (Rotor).

Otro operador que ayuda a ver el comportamiento de un campo eléctrico a través del espacio es el *rotacional (rot)* (**EDMINISTER, 1994**).

El *rotacional* de un campo vectorial  $\vec{A}$  describe la propiedad de *rotor* o de *circulación* de  $\vec{A}$ . El punto **P** de la **Figura 21**, está situado en un área plana  $\Delta S$  limitada por una curva cerrada **C**. En la integración que define el rotacional, **C** se desplaza de manera que el área encerrada está a la izquierda. La normal unitaria  $\vec{a}_n$ , determinada por la regla de la mano derecha aparece en la **Figura 20**. Entonces la *componente del rotacional* de  $\vec{A}$  en la dirección  $\vec{a}_n$  se define como

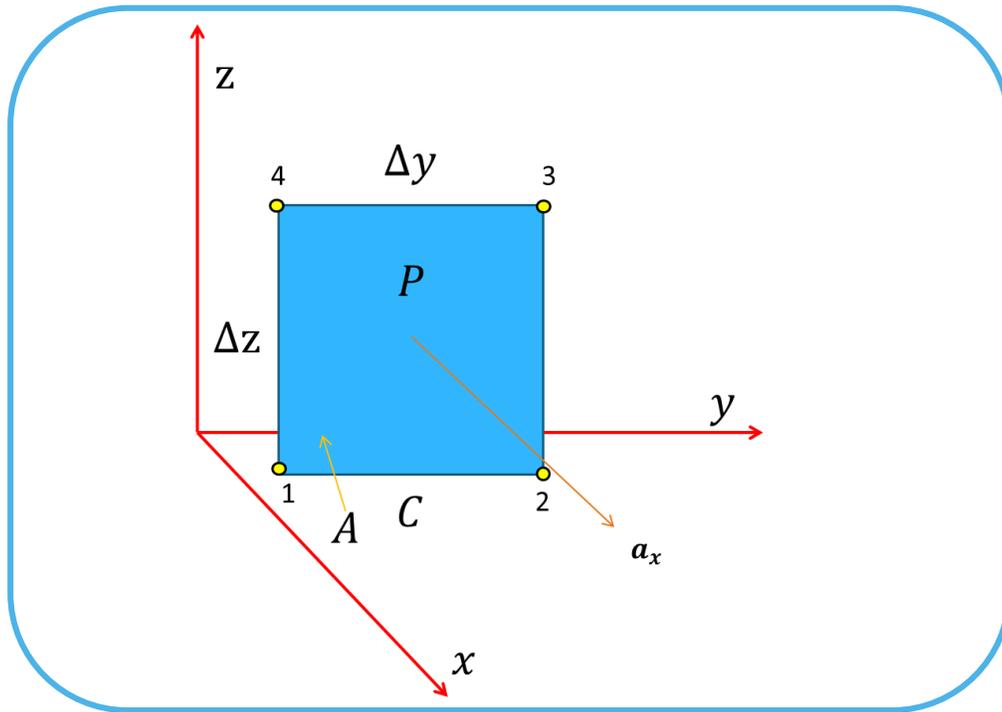
$$\text{rot } \vec{A} \cdot \vec{a}_n = \lim_{\Delta v \rightarrow 0} \frac{\oint \vec{A} \cdot d\vec{l}}{\Delta S} \quad (2.16)$$



**Figura 21.** Rotacional.

En los sistemas de coordenadas, el  $\text{rot } \vec{A}$ , queda especificado completamente por sus componentes a lo largo de los tres vectores unitarios. Por ejemplo, la componente  $x$  en coordenadas cartesianas, se define tomando como contorno  $C$  un cuadrado, en el plano  $x$  es igual a una constante, a través de  $P$ , tal como se muestra en la **Figura 22**.

$$\text{rot } \vec{A} \cdot \mathbf{a}_n \equiv \lim_{\Delta y \Delta z \rightarrow 0} \frac{\oint \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l}}{\Delta y \Delta z} \quad (2.17)$$



**Figura 22.** Rotacional A.

Si  $\vec{A} = A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k}$  en la esquina  $\Delta S$  más cercana al origen (punto  $I$ ) entonces la integral de línea cerrada:

$$\begin{aligned} \oint &= \int_1^2 + \int_2^3 + \int_3^4 + \int_4^1 = \\ &= A_x \Delta y + \left( A_z + \frac{\partial A_z}{\partial y} \Delta y \right) \Delta z + \left( A_z + \frac{\partial A_y}{\partial z} \Delta z \right) (-\Delta y) + A_z (-\Delta z) = \\ &= \left( \frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \right) \Delta y \Delta z \quad \text{y} \quad \text{rot } \vec{A} = \frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} . \end{aligned}$$

Las componentes  $y$  y  $z$  pueden determinarse en forma similar combinándolo con las tres componentes cartesianas,

$$\text{rot } \vec{A} = \left( \frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \right) \mathbf{i} + \left( \frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) \mathbf{j} + \left( \frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right) \mathbf{k} \quad (2.18)$$

También puede denotarse en forma de determinante de tercer orden cuyo desarrollo sea el rotacional de  $\vec{A}$  en coordenadas cartesianas:

$$\mathit{rot} \vec{A} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ A_x & A_y & A_z \end{vmatrix} \quad (2.19)$$

Los elementos de la segunda fila son los correspondientes al operador gradiente. Esto sugiere que el  $\mathit{rot} \vec{A}$  se puede escribir como  $\vec{\nabla} \times \vec{A}$ . Esta conveniente notación se usa para  $\mathit{rot} \vec{A}$  en otros sistemas coordenados, aunque  $\vec{\nabla}$  sólo se usa en el plano cartesiano (**LATHI, 1991**).

El operador rotacional tiene dos importantes propiedades que a continuación se describen:

**1.** La divergencia de un rotacional es cero. Eso es

$$\vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{A}) = 0 \quad (2.20)$$

para cualquier campo vectorial  $\vec{A}$ .

**2.** El rotacional de un gradiente es cero. Esto es:

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} f) = 0 \quad (2.21)$$

### 2.2.1.2 Teoremas Vectoriales.

---

Después de explicar los operadores vectoriales, es fundamental describir tres teoremas vectoriales, los cuales serán de ayuda para comprender las ecuaciones de Maxwell, que son las relaciones matemáticas que gobiernan el electromagnetismo y por ende, las comunicaciones a distancia.

#### a) Teorema de Green.



**Figura 23.** George Green (1793-1841).

Llamado así en honor del físico y matemático inglés George Green (1793-1841). Este teorema trata acerca del cálculo vectorial, que relaciona una integral de línea alrededor de una curva cerrada simple alisada, parte por parte, con una doble integral en la región limitada por la curva **(KEMMER, 1986)**.

### a.1) Teorema de Green en el Plano.

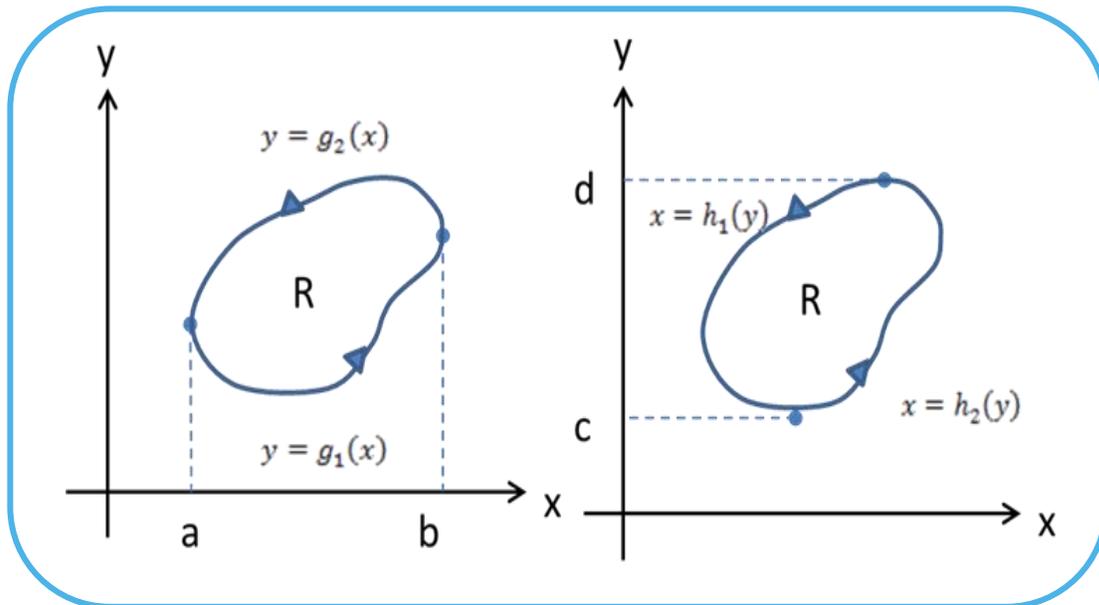
Suponga que  $C$  es una curva cerrada simple alisada parte por parte que limita a una región  $R$ . Si  $P, Q, \frac{\partial P}{\partial y}$  y  $\frac{\partial Q}{\partial x}$  son continuas en  $R$ , entonces

$$\oint_C P dx + Q dy = \iint_R \left( \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} \right) dA \quad (2.22)$$

A continuación se demostrará este teorema sólo para una región  $R$  que sea simultáneamente de los tipos I y II:

$$R: g_1(x) \leq y \leq g_2(x), \quad a \leq x \leq b$$

$$R: h_1(y) \leq x \leq h_2(y), \quad c \leq y \leq d$$



**Figura 24.** a)  $R$  como región de tipo I. b)  $R$  como región de tipo II.

Utilizando la **Figura 23a**:

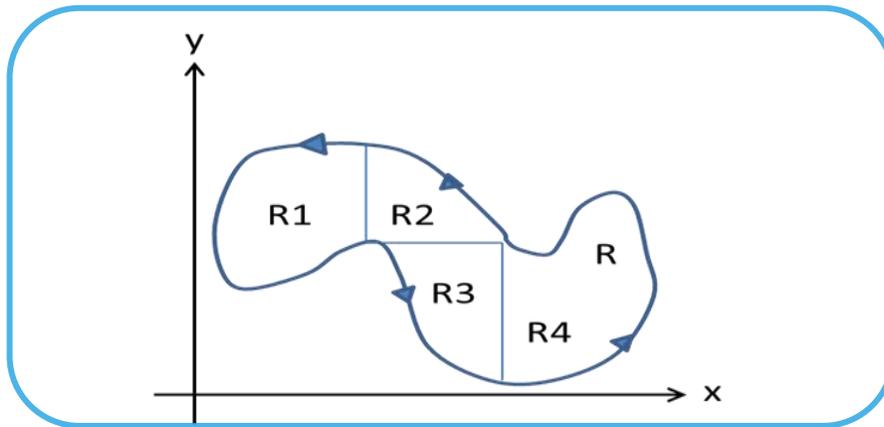
$$\begin{aligned}
 - \iint_R \frac{\partial P}{\partial y} dA &= - \int_a^b \int_{g_1(x)}^{g_2(x)} \frac{\partial P}{\partial y} dy dx \quad (a) \\
 &= - \int_a^b \{P[x, g_2(x)] - P[x, g_1(x)]\} dx \\
 &= - \int_a^b P[x, g_1(x)] dx + \int_b^a P[x, g_2(x)] dx \\
 &= \oint_C P(x, y) dx \quad (1)
 \end{aligned}$$

De igual manera se hace con la **Figura 23b**:

$$\begin{aligned}
 \iint_R \frac{\partial Q}{\partial x} dA &= - \int_c^d \int_{h_1(y)}^{h_2(y)} \frac{\partial Q}{\partial x} dx dy \\
 &= \int_a^b \{Q[h_2(y), y] - Q[h_1(y), y]\} dy \\
 &= - \int_a^b Q[h_2(y), y] dy + \int_b^a Q[h_1(y), y] dy \\
 &= \oint_C Q(x, y) dy \quad (2)
 \end{aligned}$$

Sumando las expresiones (1) y (2) se obtiene (2.22).

El teorema se puede aplicar a regiones más complicadas, como la ilustrada en la **Figura 25**. La demostración consiste en descomponer **R** en un número finito de subregiones a las cuales se pueda aplicar (a), y luego se suman los resultados (**ZILL, 1987**).



**Figura 25.** Región irregular seccionada en 4 partes.

### a.2) Forma vectorial del Teorema de Green.

Si  $\mathbf{F}(x, y) = P(x, y)\mathbf{i} + Q(x, y)\mathbf{j}$  es un campo vectorial bidimensional, entonces

$$\mathbf{rot} \mathbf{F} = \nabla \times \mathbf{F} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ P & Q & 0 \end{vmatrix} = \left( \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} \right) \mathbf{k} \quad (2.23)$$

Este teorema se puede expresar en notación vectorial como

$$\oint_C \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \oint_C \mathbf{F} \cdot \mathbf{T} ds = \iint_R (\mathbf{rot} \mathbf{F}) \cdot \mathbf{k} dA \quad (2.24)$$

esto es, la integral de línea de la componente tangencial de  $\mathbf{F}$  es la integral doble de la componente normal de  $\mathbf{rot} \mathbf{F}$  (**ZILL, 1987**).

### a.3) Teorema de Green en el Espacio Tridimensional.

Vectorialmente el teorema se generaliza a partir de una curva cerrada simple en el plano a una curva cerrada simple en el espacio tridimensional.

Supóngase que  $z = f(x, y)$  es una función continua que tiene primeras derivadas parciales continuas y cuya gráfica es una superficie  $S$  sobre una región  $R$  del plano  $xy$ . Sea  $C$  una curva cerrada simple que la frontera de  $S$  y supóngase que su proyección  $C_{xy}$  sobre el plano  $xy$ , forma la frontera de  $R$ .

La dirección positiva en  $C$  se define por la dirección positiva en  $C_{xy}$ . Sean, además,  $T$  un vector tangente unitario de  $C$ , y  $n$  un vector normal unitario *superior* de  $S$ . Vea la **Figura 26**.

La forma tridimensional del teorema de Green es conocido como el **Teorema de Stokes**, del cual se describirá más adelante (**ZILL, 1987**).

### b) Teorema de la Divergencia.

La ley de Gauss indica que la integral de una superficie cerrada de  $D \cdot dS$  es igual a la carga encerrada. Si la función y la densidad de carga se conocen para todo el volumen. Entonces la carga encerrada puede obtenerse de la integración de  $p$  en todo el volumen. Así pues.

$$\int D \cdot dS = \int p dt = Q_n \quad (2.25)$$

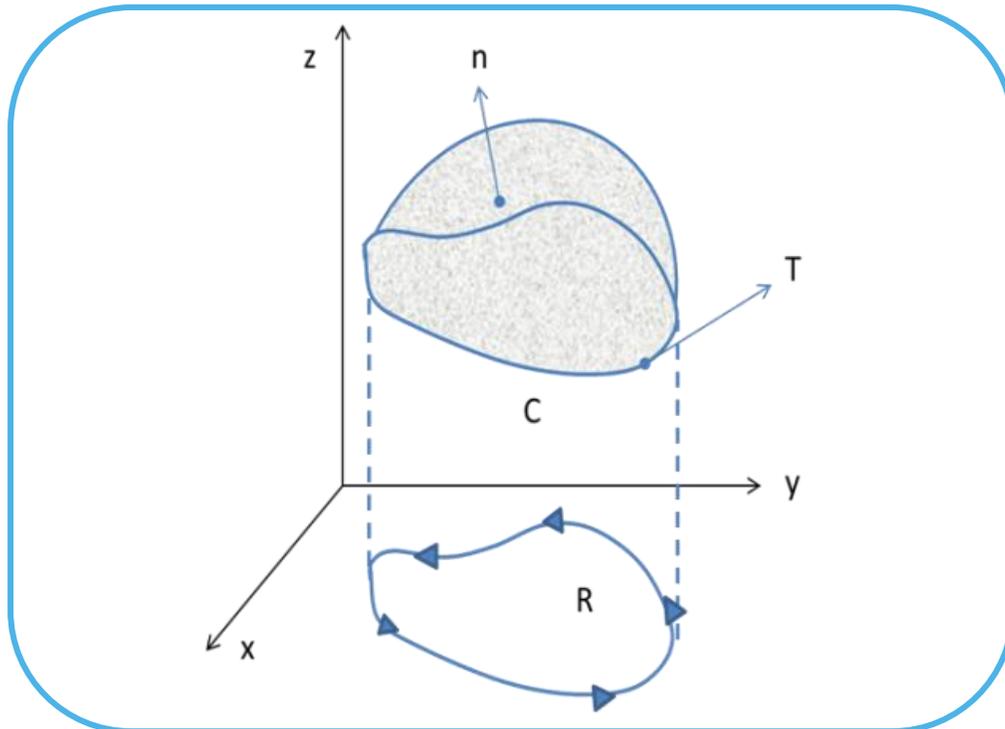
Pero  $p = \nabla \cdot D$ , entonces

$$\int D \cdot dS = \int (\nabla \cdot D) dt \quad (2.26)$$

Este es el **Teorema de Divergencia**, el cual también se conoce como *teorema de divergencia de Gauss*. Es el análogo tridimensional del *teorema de Green* para un plano. Aunque este resultó a partir de relaciones conocidas entre **D**, **Q** y **p** el teorema se puede aplicar a cualquier campo vectorial.

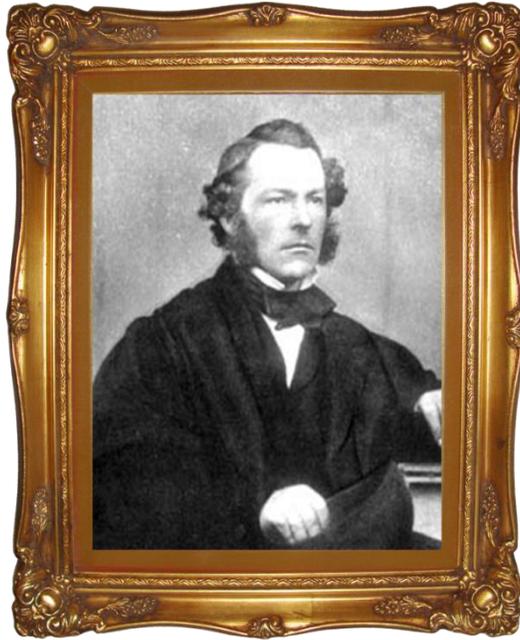
$$\int_S \mathbf{A} \cdot d\mathbf{S} = \int_V (\nabla \cdot \mathbf{A}) dt \quad (2.27)$$

Por supuesto, el volumen **v** es aquel que está encerrado por la superficie **S** (**EDMINISTER, 1994**).



**Figura 26.** Teorema de Stokes.

### c) Teorema de Stokes.



**Figura 27.** George G. Stokes (1819-1903).

Esta teoría debe su nombre a George G. Stokes (1819-1903), físico y matemático irlandés (**ZILL, 1987**).

Sea  $\mathbf{F}(x, y, z) = P(x, y, z)\mathbf{i} + Q(x, y, z)\mathbf{j} + R(x, y, z)\mathbf{k}$  un campo vectorial para el cual  $P$ ,  $Q$  y  $R$  son continuas y tienen derivadas parciales continuas en una región que contiene a una superficie  $\mathcal{S}$ . Si  $\mathcal{C}$  es el borde de  $\mathcal{S}$  recorrida en el sentido contrario de las manecillas (positivo) entonces:

$$\oint_{\mathcal{C}} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = \oint_{\mathcal{C}} (\mathbf{F} \cdot \mathbf{T}) ds = \iint_{\mathcal{S}} (\text{rot } \mathbf{F} \cdot \mathbf{n}) dS \quad (2.28)$$

Una vez explicados los teoremas vectoriales, será más sencillo para el lector comprender las ecuaciones de Maxwell, la cual es la teoría necesaria para describir los fenómenos electromagnéticos.

### 2.2.1.3 Ecuaciones de Maxwell.

---

A continuación se explica cada una de las ecuaciones recopiladas por Maxwell. Las cuales determinan el comportamiento del Electromagnetismo.

#### a) Ley de Gauss para Campo Eléctrico.



**Figura 28.** Carl Friedrich Gauss (1777-1855).

La Ley de Gauss es la primera de las ecuaciones de Maxwell. Se obtiene directamente de la teoría de la divergencia que el mismo Gauss postuló (**Ecuación 2.27**). Esta ley explica la relación entre el flujo del *campo eléctrico* y una superficie cerrada. Se define como *flujo eléctrico* ( $\Psi$ ) a la cantidad de fluido eléctrico que recorre una superficie específica. De la misma manera al flujo de la mecánica de fluidos, este fluido eléctrico no transporta materia, pero permite analizar la cantidad de campo eléctrico ( $\vec{E}$ ) que pasa por una superficie  $S$ . Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (2.2)$$

**"El flujo de salida del campo  $E$  a través de cualquier superficie cerrada en el espacio libre es igual a la carga total ( $q$ ) encerrada en la superficie, dividida por  $\epsilon_0$ <sup>30</sup>"**

Note que la superficie  $S$  puede ser cualquier superficie cerrada hipotética (matemática) elegida a conveniencia; no tiene que ser una superficie física **(CHENG, 1996)**.

La expresión diferencial de esta ley es:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (2.1)$$

dónde  $\rho$  es la densidad de carga en el vacío. Esto significa que el campo  $E$  diverge o sale de una carga  $\frac{\rho}{\epsilon_0}$ , lo que se representa gráficamente como vectores que salen de la fuente que las genera en todas direcciones. Por convención, si el valor de la expresión es positivo, entonces los vectores salen; si es negativo, éstos entran a la carga.

Para casos generales se introduce una cantidad llamada densidad de flujo eléctrico ( $\vec{D}$ ), y se define como:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (2.29)$$

---

<sup>30</sup>  $\epsilon_0$  es la constante de permitividad eléctrica en el vacío **(CHENG, 1996)**.

## b) Ley de Gauss para Campo Magnético.

La segunda ecuación de esta lista, es la correspondiente al campo magnético, tiene como nombre **ley de la conservación del flujo magnético** o **ley de gauss para campos magnetostáticos**, y se describe a continuación.

La densidad de flujo magnético  $\mathbf{B}$  se comporta muy similar a la densidad de flujo eléctrico  $\mathbf{D}$ . Así como  $\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E}$  en el vacío, la densidad de flujo magnético  $\mathbf{B}$  se relaciona con la intensidad de campo magnético  $\mathbf{H}$  de acuerdo con

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} \quad (2.30)$$

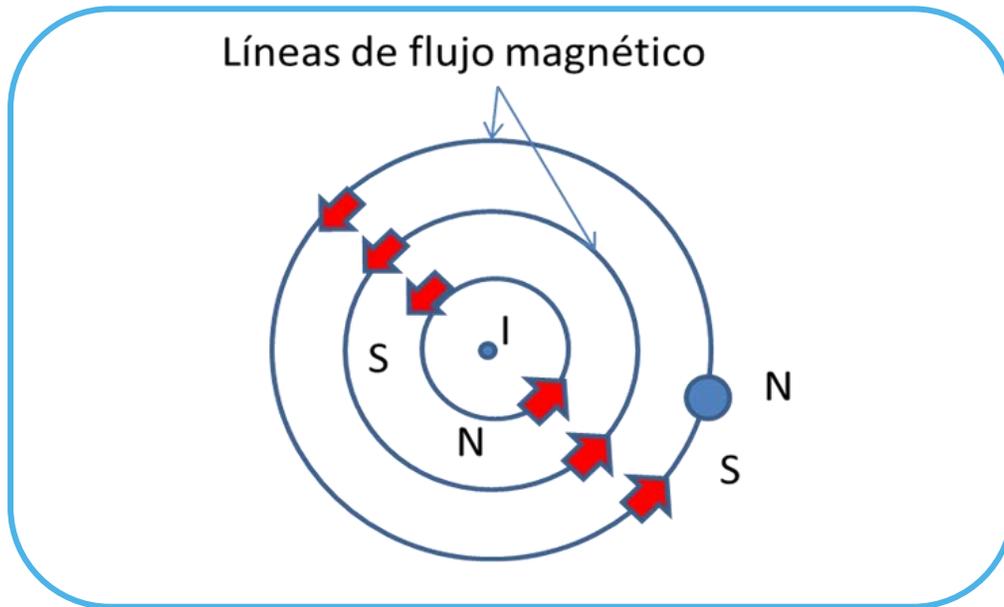
donde  $\mu_0$  es una constante llamada **permeabilidad del vacío**. Esta constante se expresa en Henrys/metro ( $\mathbf{H/m}$ ) y su valor es  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \mathbf{H/m}$ .

El flujo magnético a través de una superficie  $\mathbf{S}$  es:

$$\Psi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (2.31)$$

donde el flujo magnético  $\Psi$  se expresa en webers ( $\mathbf{Wb}$ ) y la densidad de flujo magnético en webers/metro cuadrado  $\mathbf{Wb/m^2}$  o teslas (**BRAMON, 2007 ; RODRÍGUEZ, 1999**).

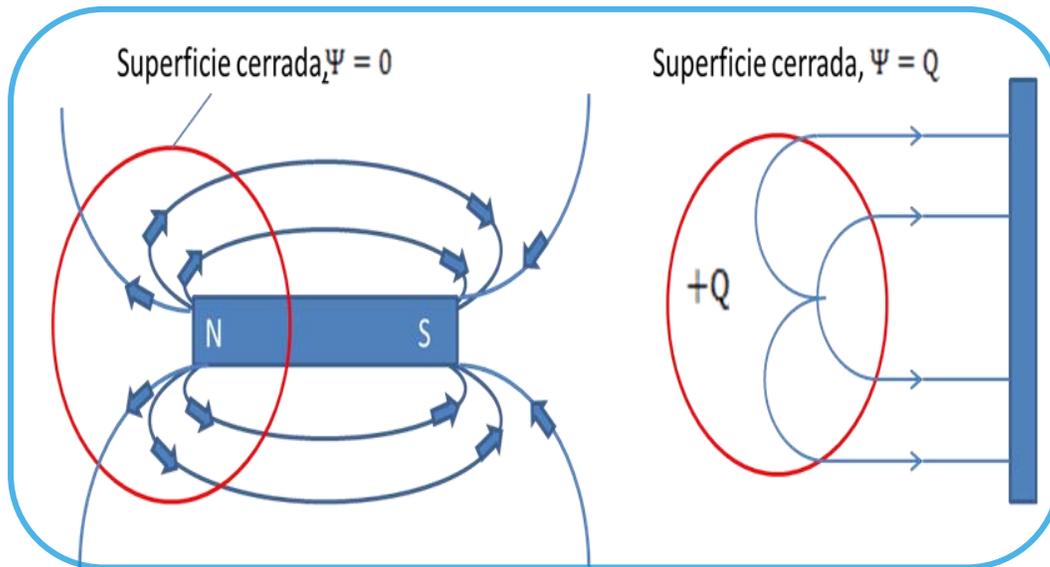
La línea de flujo magnético es la trayectoria a la  $\mathbf{B}$  es tangencial en cualquier punto de un campo magnético. La aguja de una brújula magnética se orienta a lo largo de esa línea cuando se coloca en el campo magnético.



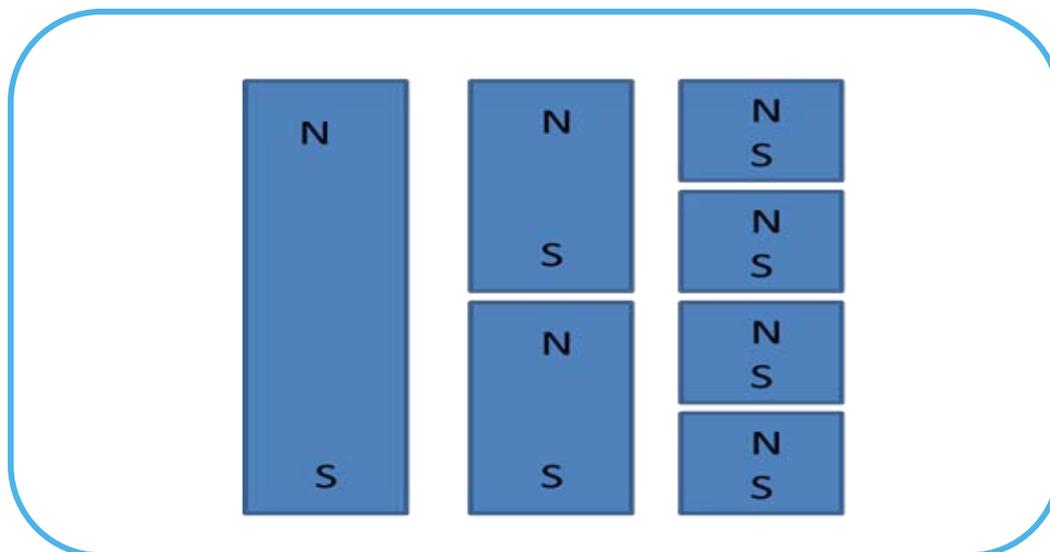
**Figura 29.** Líneas de flujo magnético en un alambre recto.

En la **Figura 29** se muestran las líneas de flujo magnético debidas a un alambre recto y largo. Las líneas de flujo magnético se determinan como las de flujo eléctrico. La dirección  $\mathbf{B}$  es la que la aguja de la brújula magnética indica como "norte". Note que cada línea de flujo magnética es cerrada, no tiene ni inicio ni final. A pesar de que la **Figura 29** representa a un conductor recto portador de corriente, en general, las líneas de flujo magnético son cerradas y no se cruzan entre sí sea cual sea la distribución de corriente (**PLONUS, 1982**). En un campo electrostático, el flujo que atraviesa por una superficie cerrada es igual a la carga encerrada; esto es,

$$\Psi = \oint \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = Q \quad (2.32)$$



**Figura 30.** Flujo que sale de una superficie cerrada.



**Figura 31.** División sucesiva de una barra imantada.

Así es posible la existencia de una carga eléctrica aislada, como se muestra en la **Figura 30a**, lo que revela asimismo que las líneas de flujo eléctrico no son necesariamente cerradas. Las de flujo magnético, en cambio, siempre se cierran en sí mismas, como se observa en la **Figura 30b**. Esto se debe a que *es imposible que existan polos magnéticos (o cargas magnéticas) aislados*. Así que si se desea conseguir un polo magnético aislado dividiendo en dos partes una barra magnética, cada una de las piezas resultantes tendrá un polo norte y un polo sur, como se muestra en la **Figura 31**. Es imposible separar el polo norte del polo sur. En conclusión, no existen cargas magnéticas aisladas y la ley queda como sigue:

**"En un campo magnético, el flujo total a través de una superficie cerrada debe ser de cero"**; es decir

$$\oint_s \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0 \quad (2.4)$$

Aunque el campo magnetostático no es conservativo, el flujo magnético se conserva; y al aplicar el teorema de la divergencia la **Ecuación (2.27)** se obtiene

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.3)$$

Cabe destacar que este teorema fue tomado de **SADIKU (2003)** y **SANCHIS VOL. II (1999)**.

### c) Ley de Faraday.



**Figura 32.** Michael Faraday (1791-1867).

Después de que Hans Christian Oersted (1777-1851), profesor de física en la Universidad de Copenhague, en Dinamarca, demostrara en 1820 que una corriente eléctrica afecta la aguja de una brújula, Faraday dedujo que si una corriente podía producir un campo magnético, entonces un campo magnético debía producir una corriente eléctrica. El concepto de "campo" no existía en ese entonces y el éxito de Faraday consistió en demostrar su deducción **(HYAT, 2006)**.

Trabajó en este problema por 10 años, hasta que tuvo éxito en 1831. Enrolló dos alambres separados alrededor de un toroide de hierro y colocó un galvanómetro en un circuito, y en el otro, una batería. Al cerrar el circuito de la batería se observó una deflexión momentánea del galvanómetro; una deflexión en sentido contrario ocurría cuando se desconectaba la batería. Esto fue el primer experimento, en el que se observó un campo magnético *variable* **(LLINARES, 1997)**.

En términos de campo, se puede concluir que **un campo magnético que varía con el tiempo produce una fuerza electromotriz (FEM), capaz de generar una corriente en un circuito cerrado adecuado**. Una FEM es un voltaje procedente de los conductores que se mueven en un campo magnético o de campos magnéticos variantes. Entonces la ley de Faraday se expresa como sigue:

$$FEM = -\frac{d\Phi}{dt}V \quad (2.33)$$

Esta ecuación implica una trayectoria cerrada, aunque no necesariamente conductora; la trayectoria cerrada, por ejemplo, puede incluir un capacitor o ser solamente una línea imaginaria en el espacio. El flujo magnético es el flujo que cruza a través de cualquier superficie, cuyo perímetro sea una trayectoria cerrada y  $\frac{d\Phi}{dt}$  es la razón de cambio de dicho flujo con respecto al tiempo **(HYAT, 2006)**.

El signo menos, indica que la FEM tiene una dirección tal que produce una corriente, cuyo flujo, si se suma al flujo original, reduciría la magnitud de la FEM.

Este enunciado que postula que el voltaje inducido actúa para producir un flujo opuesto es conocido como la **ley de Lenz**<sup>31</sup> **(LLINARES, 1997 ; SERWAY, 2004)**.

Si la trayectoria cerrada es un filamento conductor enrollado de  $N$  vueltas (por lo general es preciso considerar las vueltas como coincidentes) se tiene

$$FEM = -N\frac{d\Psi}{dt} \quad (2.34)$$

---

<sup>31</sup> Henry Frederic Emile **Lenz** (1804-1865) físico y matemático alemán que trabajó en Rusia. Publico su ley en 1834 **(Bramón, 2007)**.

donde  $\Psi$  es el flujo que atraviesa cualquiera de las  $N$  trayectorias coincidentes. Es necesario definir la FEM de acuerdo con su uso en la **Ecuación 2.33** y **2.34**.

Obviamente la FEM es una escalar y un análisis dimensional muestra que se mide en volts. La FEM se define como

$$FEM = \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{L} \quad (2.35)$$

donde se observa que es el voltaje a lo largo de una **trayectoria cerrada** específica. Si se cambia cualquier parte de la trayectoria, la FEM por lo tanto también cambia.

La desviación con respecto a los resultados estáticos se observa claramente en la **Ecuación 2.35**, puesto que una intensidad de campo eléctrico, resultado de una distribución de carga estática produce una diferencia de potencial cero a lo largo de una trayectoria cerrada.

En electrostática, la integral de línea da lugar a una diferencia de potencial; con campos variantes con el tiempo, el resultado de una FEM o un voltaje (**OCAMPO, 2006**).

Al sustituir  $\Psi$  en la **Ecuación 2.33** por la integral de superficie de  $\mathbf{B}$ , se obtiene la relación siguiente:

$$\oint_c \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{l}} = \frac{d}{dt} \int_s \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} \quad (2.6)$$

en donde los dedos de la mano derecha (cerrada) indican la dirección de la trayectoria cerrada, y el pulgar (a fuera), la dirección  $\vec{ds}$ . Una densidad de flujo  $\mathbf{B}$  en la dirección de  $\vec{ds}$  que aumenta con el tiempo produce un valor promedio de  $\mathbf{E}$  que es *opuesto* a la dirección positiva en que se recorre la trayectoria cerrada.

La relación entre la mano derecha y la integral de superficie y la integral de línea cerrada en la **Ecuación 2.6**, siempre debe tenerse presente durante las integraciones de flujo y la determinación de la FEM.

Esta es la cuarta *ecuación de Maxwell* escrita en forma integral, en su forma vectorial o puntual se expresa como sigue. Aplicando el teorema de Stokes a la integral de línea cerrada, se tiene

$$\int_S (\vec{\nabla} \times \vec{\mathbf{E}}) \cdot d\mathbf{S} = - \int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} \quad (2.36)$$

en donde las integrales de superficie pueden evaluarse sobre superficies idénticas. Las superficies son generales y pueden escogerse como diferenciales:

$$\begin{aligned} (\vec{\nabla} \times \vec{\mathbf{E}}) \cdot d\mathbf{S} &= - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} \\ (\vec{\nabla} \times \vec{\mathbf{E}}) &= \frac{\partial \vec{\mathbf{B}}}{\partial t} \end{aligned} \quad (2.5)$$

**d) Ley de Ampère Generalizada.**



**Figura 33.** André-Marie Ampère (1775-1836).

La cuarta y última ecuación recopilada por Maxwell es la ley de los circuitos de Ampère que establece que:

**"La integral de línea de la componente tangencial de  $H$  alrededor de una trayectoria *cerrada* es igual a la corriente neta  $I_{enc}$  encerrada por esa trayectoria"**

$$\oint H \cdot dl = I_{enc} \quad (2.37)$$

En otras palabras, la circulación de  $\mathbf{H}$  es igual a  $I_{enc}$ ; parecida a la ley de Gauss, esta ley de Ampère es una herramienta para determinar  $\mathbf{H}$  cuando la distribución de corriente es simétrica (**OCAMPO, 2006**). La **Ecuación 2.37** conserva su valor aun si la distribución de corriente no es simétrica, pero sólo puede usarse para determinar  $\mathbf{H}$  en el caso contrario.

Al aplicar el *teorema de Stokes* al miembro izquierdo de la **Ecuación 2.37** se obtiene:

$$I_{enc} = \oint_L \vec{H} \cdot d\mathbf{l} \int_S (\vec{\nabla} \times \vec{H}) \cdot d\mathbf{S} \quad (2.38)$$

Pero

$$I_{enc} = \oint_L \mathbf{J} \cdot d\mathbf{l} \quad (2.39)$$

La comparación de integrales de superficie de las **Ecuaciones 2.37** y **2.38** muestra claramente que:

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \mathbf{J} \quad (2.40)$$

Note que esta **Ecuación 2.40** muestra que  $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \mathbf{J} \neq \mathbf{0}$  esto es, que el campo magnetostático no es conservativo (**SADIKU, 2003 ; SANCHIS VOL. I, 1999**).

En los siguientes subtemas se presentan las aplicaciones de las *Ecuaciones de Maxwell*, en el ámbito de las *telecomunicaciones* de manera general y específicamente en *radiocomunicaciones*.

## 2.2.2 Sistemas de Comunicación.



**Figura 34.** Diagrama general de un sistema.

Antes de definir el concepto de *Sistemas de Comunicación* y desarrollar sus etapas, se empezará por presentar los conceptos: *Señal y Sistema*. Estas definiciones serán usadas continuamente en esta investigación, lo cual es pertinente describirlos.

De manera generalizada se define **sistema** como un grupo de objetos vinculados que pueden interactuar de manera armónica con el propósito de alcanzar un determinado objetivo (**ARNAU, 1999; ARNAU, 2000**).

Por otro lado, una **señal** se describe como un suceso que sirve para iniciar una acción, o que tiene la capacidad de incitar a la acción. Matemáticamente, una *señal* se presenta como una función univaluada del tiempo; es decir a cada instante de tiempo asignado (variable independiente) corresponde un valor único de la función (variable dependiente) (**ALBORNOZ, 2013; ANDREU, 1994**).

Ambas están vinculadas generando una *respuesta* como se presenta en la **Figura 33**, donde se muestra la función de la señal, del sistema y la respuesta del sistema a la señal dada (**STREMLER, 1993**).

Anteriormente, en el marco filosófico (en la **Sección 2.1**) se explicó el significado de *comunicación*. Ahora de manera específica se explica el concepto de *Sistema de Comunicación*.

Un **Sistema de Comunicación** es un conjunto de dispositivos vinculados, que interactúan entre sí de manera armónica, donde reciben cierta señal, la transforman, generan una respuesta y la transmiten. De esta manera un sistema de comunicación puede estar conectado a otro, donde ambos se están retroalimentando con información (**FREEMAN, 2004**).

El objetivo principal de un **Sistema de Comunicación Electrónico**, es *transferir* información de un lugar a otro, a través de flujo eléctrico. Donde dicho sistema consta de una etapa de *transmisión* y una de *recepción*; además de un *procesamiento de información* entre ambas etapas, haciendo uso de *circuitos electrónicos*; donde la *f fuente* de la información puede ser *analógica*<sup>32</sup>, o puede enviarse de manera *digital*<sup>33</sup>. Sin embargo, todas las formas de información deben convertirse a *energía electromagnética* antes de ser transmitidas por el medio de transmisión (**HERNÁNDEZ, 1998; HERRERA, 2004**).

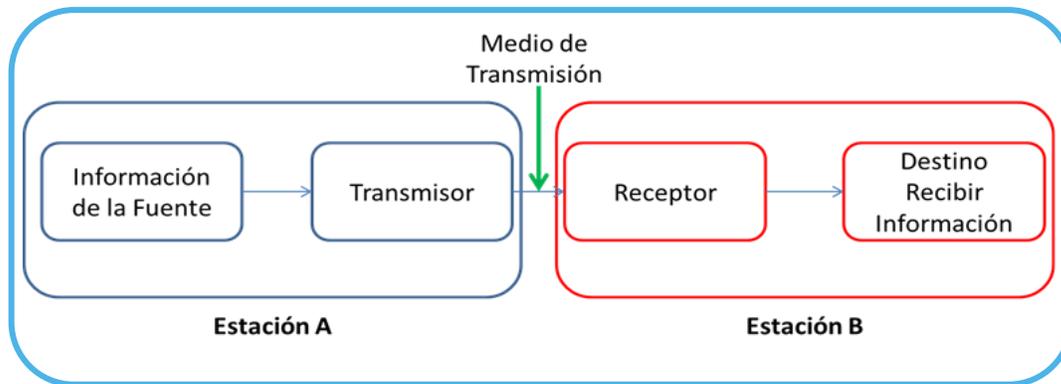
La **Figura 35** ilustra un diagrama a bloques simplificado de un *Sistema de Comunicaciones Electrónico* mostrando la relación entre la *información* de la *f fuente original*, el *transmisor*, el *medio de transmisión*, el *receptor* y la *información* recibida en el destino (**BATEMAN, 2003**). A continuación se describen las tres etapas elementales del sistema de comunicación:

Un **Transmisor** es un conjunto de uno o más dispositivos o circuitos electrónicos capaces de convertir la información original de la fuente a una forma más adecuada para la transmisión (**CARR, 2002**).

---

<sup>32</sup> Fuente de información **Analógica** es una señal proporcional o continua, como lo es la voz humana, información sobre una imagen de video o música (**Tomasi, 2003**).

<sup>33</sup> Fuente de información **Digital** son etapas discretas, tales como números codificados en binario, códigos alfanuméricos, códigos operacionales del microprocesador, etcétera (**Tomasi, 2003**).



**Figura 35.** Diagrama de un Sistema de Comunicación.

El **Medio de transmisión** transporta las señales desde el *transmisor* hasta el *receptor*, proporcionando un canal de conexión entre ambas entidades (este medio puede ser alámbrico o inalámbrico).

Un **Receptor** es un conjunto de elementos y circuitos electrónicos que recoge del *medio de transmisión* las señales transmitidas y las convierte a su forma original, pasando por un tratamiento electrónico **(TOMASI, 2003)**.

En capítulos posteriores se explicarán algunos de estos procesos, pero orientados a la **Radiocomunicación** en particular, el cual es el campo de estudio de esta investigación.

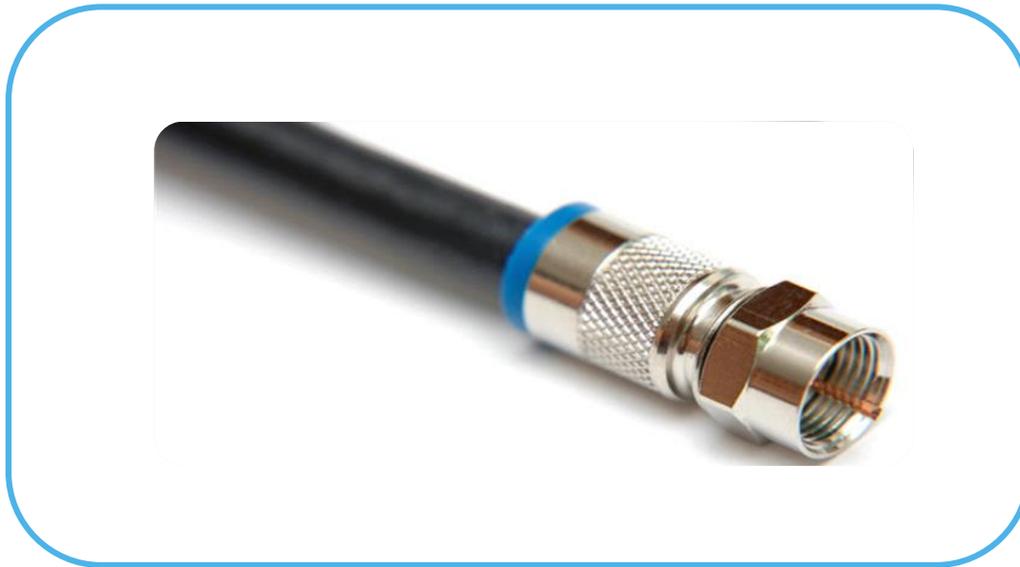
Anteriormente se analizó la **teoría electromagnética**, la cual es necesaria comprender, para explicar cómo viaja la información en un **Sistema de Comunicación** en forma de electricidad a través de un medio o **canal**, que enlaza el extremo transmisor con el extremo receptor.

Existen dos tipos de medios usados: **alámbrico** e **inalámbrico (VELA, 1999)**.

A continuación, se explicarán a detalle cada uno de los tipos de medios y sus aplicaciones en telecomunicaciones.

### 2.2.2.1 Medios Tx Alámbricos.

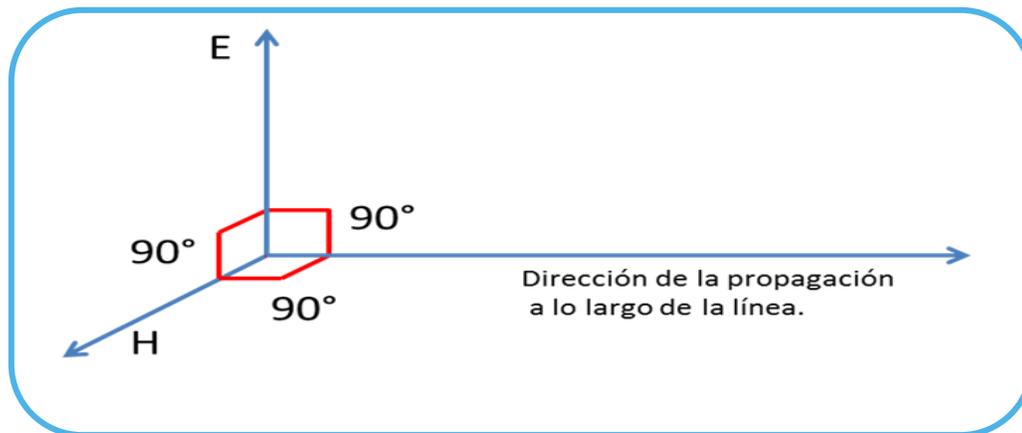
---



**Figura 36.** Cable coaxial.

Este tipo de medio es conocido por lo general, en forma de cable. Son visibles, tangibles y, además flexibles. Sin embargo, por sus características físicas, sólo permiten enlazar un punto fuente con un punto destino. Si se requiere comunicar otro punto adicional, se debe cablear desde la fuente o nodo de distribución hasta el destino. Un ejemplo claro es la distribución de la televisión por cable.

A los medios alámbricos se les denominan **Líneas de Transmisión**, y son cualquier sistema de *conductores*, *semiconductores*, o la combinación de ambos, que se emplean para transmitir información en forma de energía eléctrica o electromagnética, entre dos puntos (**MARTÍN, 2009**).



**Figura 37.** Modo de propagación transversal electromagnético (TEM).

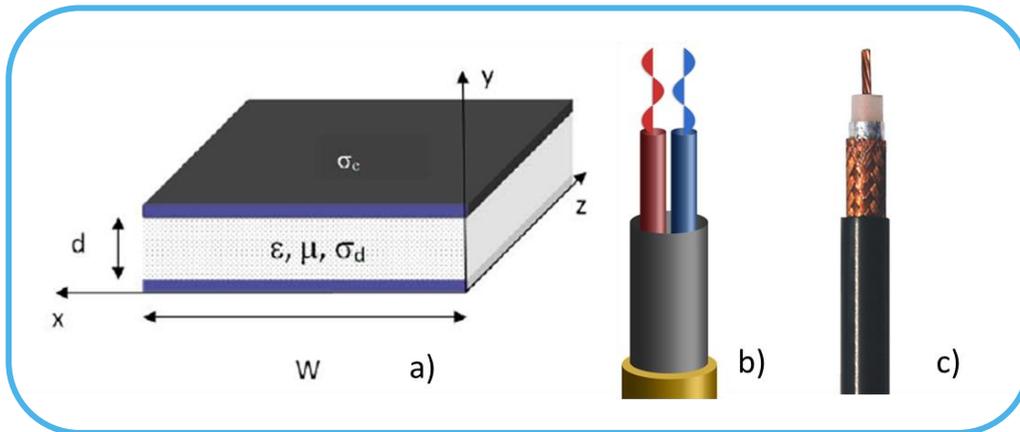
La manera en que la energía atraviesa un conductor se le conoce como *Modo de Propagación Transversal Electromagnético* (TEM) y esta se transmite de una manera tal que tanto el campo eléctrico como el magnético de la señal son transversales o perpendiculares a la dirección de propagación. Vea la **Figura 37 (VELA, 1996)**.

Los tres tipos más comunes de líneas de transmisión de dos conductores que propagan ondas TEM son:

**a) Placas paralelas:** Este canal consiste en dos placas conductoras paralelas separadas por una lámina de aislante de grosor uniforme. Las placas paralelas para frecuencias de microondas pueden fabricarse a bajo costo sobre sustrato dieléctrico, usando tecnología de circuitos impresos (**MATRICK, 1995**); en algunos lugares se les conoce como *microtiras* y se muestra en la **Figura 38a**.

**b) Líneas bifilares:** Esta línea de transmisión consiste en un par de alambres conductores paralelos separados por una distancia uniforme, el cual se ilustra en la **Figura 38b**. Las líneas telefónicas y de transmisión de energía son un ejemplo claro de este medio (**HABERLE, 1979**).

**c) Cable coaxial:** Consiste en un conductor interno y un revestimiento coaxial externo separado por un medio dieléctrico como se muestra en la **Figura 38c**. Esta estructura ofrece la importante ventaja de confinar completamente los campos eléctrico y magnético dentro de la zona dieléctrica, de tal manera que es casi inmune a las interferencias externas (**CHENG, 1996**).

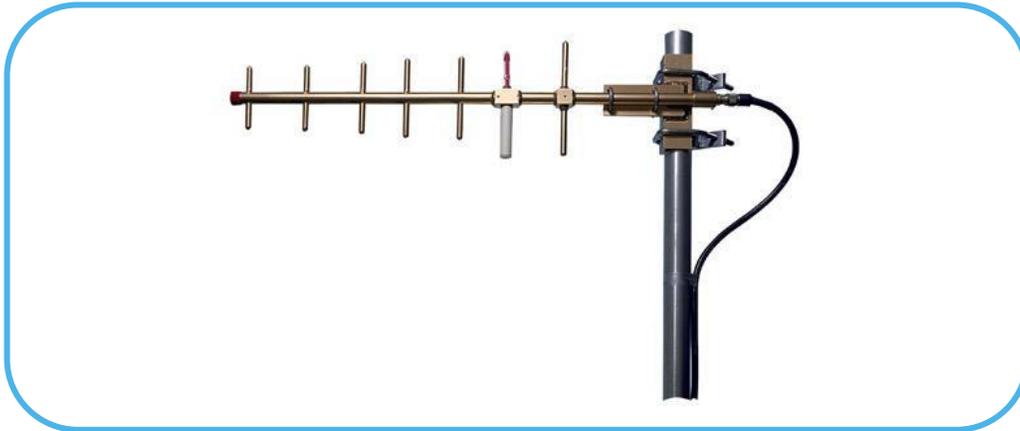


**Figura 38.** a) Placas paralelas. b) Dos alambres. c) Cable coaxial.

Por otro lado existen líneas de transmisión que no son capaces de transportar ondas TEM, pueden transportar u ondas TE (Transversal Eléctrico) u TM (Transversal Magnético). Los modos TE tienen todo su campo eléctrico transversal a la dirección axial ( $\mathbf{E}_z = \mathbf{0}$ ) y una componente  $\mathbf{H}_z \neq \mathbf{0}$ . Mientras que el modo TM tiene todo su campo magnético transversal a la dirección axial ( $\mathbf{H}_z = \mathbf{0}$ ) y una componente  $\mathbf{H}_z \neq \mathbf{0}$ . Los tres tipos de líneas de transmisión más comunes que soportan estos modos son: *guías huecas rectangulares, circulares y elípticas* (**VELA, 1996**).

### 2.2.2.2 Medios Tx Inalámbricos.

---



**Figura 39.** Antena tipo Yagi.

La alternativa inalámbrica corresponde a la transmisión a través del aire, haciendo uso de las **antenas**. A diferencia del medio alámbrico, este tipo de medio permite comunicar simultáneamente un punto hacia muchos puntos de destino, aunque la calidad de la información puede ser afectada por interferencias o condiciones atmosféricas adversas. Otra ventaja de las comunicaciones inalámbricas es la posibilidad de enlazar puntos móviles con puntos fijos o bien con otros puntos móviles. A diferencia del medio alámbrico, el inalámbrico no es tangible y la propagación de las ondas electromagnéticas a través de él resulta más práctico que con un cable físico, a pesar que ambas maneras están regidas por las **ecuaciones de Maxwell**. La transmisión inalámbrica es estudiada por una asignatura denominada **Antenas y Radiación (VELA, 1996)**.

A continuación se describirán los conceptos de antena, sus tipos, sus parámetros y se analizará la manera en que se propaga la radiación en el aire.

## a) Antenas.

La IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*<sup>34</sup>) define a una *antena* como aquella parte de un sistema de transmisión o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas (IEEE std. 145-1983).



**Figura 40.** Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

El objetivo de una *antena* es radiar la potencia que se le suministra con las características de direccionalidad adecuadas a la aplicación. Por otro lado, extrae la información captando de algún punto del espacio la onda radiada, absorbe la energía de esa *onda* y la entrega al receptor. En conclusión, una antena tiene dos propósitos básicos, transmitir y recibir señales de información **(AZNAR, 2002)**.

Toda *onda* se caracteriza por su *frecuencia* ( $f$ ) y su *longitud de onda* ( $\lambda$ ), ambas relacionadas por la velocidad de propagación en el medio ( $c$ ), que en antenas tiene las propiedades del vacío  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ , con  $c = \lambda f$ .

---

<sup>34</sup> La **IEEE** es una asociación técnico-profesional mundial que se dedica a la estandarización. Es la más grande asociación, sin ánimo de lucro, formada por profesionales de las nuevas tecnologías, como ingenieros eléctricos, ingenieros en electrónica, científicos de la computación, ingenieros en informática, matemáticos aplicados, ingenieros en telecomunicación e ingenieros en mecatrónica **(IEEE, 2014)**.

El conjunto de todas las frecuencias, o espectros de frecuencias, se dividen por décadas en bandas y se le conoce como *Espectro Radioeléctrico* como se muestra en la **Tabla 2**.

| BANDA      | DENOMINACIÓN                                       | FRECUENCIA | LONGITUD    |
|------------|--|------------|-------------|
| <b>ELF</b> | <b>E</b> xtrêmement <b>L</b> ow <b>F</b> requency  | < 3 kHz    | > 100 km    |
| <b>VLF</b> | <b>V</b> ery <b>L</b> ow <b>F</b> requency         | 3-30 kHz   | 100-10 km   |
| <b>LF</b>  | <b>L</b> ow <b>F</b> requency                      | 30-300 kHz | 10-1 km     |
| <b>MF</b>  | <b>M</b> edium <b>F</b> requency                   | 0,3 -3 MHz | 1.000-100 m |
| <b>HF</b>  | <b>H</b> igh <b>F</b> requency                     | 3-30 MHz   | 100-10 m    |
| <b>VHF</b> | <b>V</b> ery <b>H</b> igh <b>F</b> requency        | 30-300 MHz | 10-1 m      |
| <b>UHF</b> | <b>U</b> ltra <b>H</b> igh <b>F</b> requency       | 0,3 -3 GHz | 100-10 cm   |
| <b>SHF</b> | <b>S</b> uper <b>H</b> igh <b>F</b> requency       | 3-30 GHz   | 10-1 cm     |
| <b>EHF</b> | <b>E</b> xtrêmement <b>H</b> igh <b>F</b> requency | 30-300 GHz | 10-1 mm     |

**Tabla 2.** Espectro Radioeléctrico.

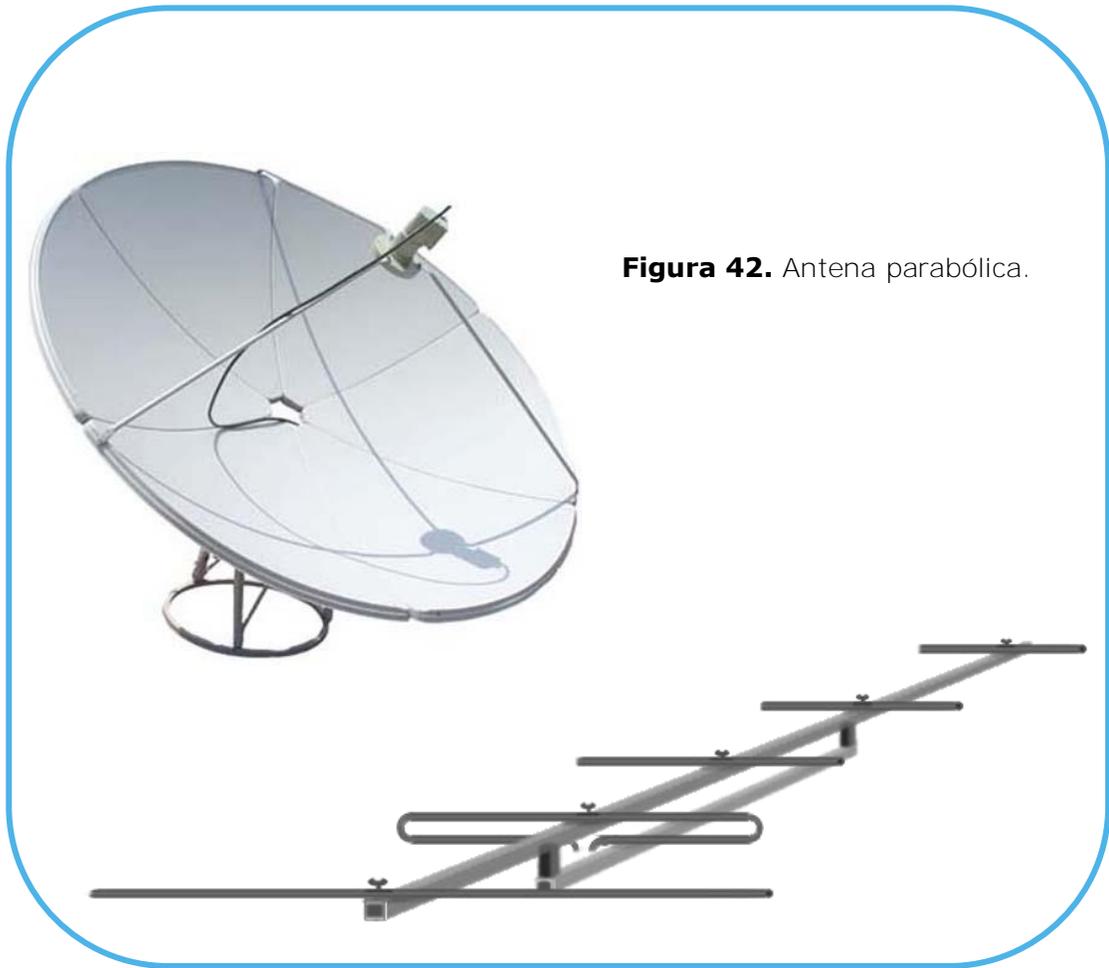
Las *antenas* tienen características de *impedancia* y de *radiación* que dependen de la *frecuencia*. El análisis de estas características, se realiza a partir de las ecuaciones de *Maxwell* en el dominio de la frecuencia, usando las expresiones matemáticas de los campos en forma compleja o fasorial. Cada aplicación y cada banda de frecuencia, presentan particularidades que dan origen a unas tipologías de antenas muy diversas. De manera general, los tipos más comunes de antenas se pueden agrupar en los siguientes bloques:

- **Antenas alámbricas:** Están construidas con hilos conductores que soportan las corrientes que dan origen a los campos radiados. Pueden ser hilos rectos (dipolo, V, rómbica), espiras (circular, cuadrada o de cualquier forma) y hélices, en la **Figura 41** se presentan dos ejemplos. Se caracterizan por corrientes y cargas que varían de forma armónica con el tiempo  $t$  con amplitudes que también varían a lo largo de los hilos (**JOHNK, 1994**).



**Figura 41.** Antenas Alámbricas: Dipolo y Circular.

- **Antenas de apertura y reflectores:** En éstas, la generación de la onda radiada, se consigue a partir de una distribución de campos, soportada por la antena y se suelen excitar con guías de ondas. Este tipo de antenas se caracterizan por los campos eléctricos y magnéticos de la apertura variables armónicamente con el tiempo. Bocinas (pirámides y cónicas), bocas de guía, son ejemplos de este tipo de antenas. El empleo de reflectores, asociados a un alimentador primario, permite disponer de antenas con las prestaciones necesarias para servicios de comunicaciones a grandes distancias, tanto terrestres como espaciales. El reflector más común es el parabólico presentado en la **Figura 42 (BALANIS, 2005)**.



**Figura 42.** Antena parabólica.

**Figura 43.** Antena Yagi de 5 elementos.

- **Agrupación de antenas:** En ciertas aplicaciones se requieren características de radiación que no pueden lograrse con un solo elemento; sin embargo la combinación de varias antenas, consigue una gran flexibilidad que permite obtenerla. Estas agrupaciones pueden realizarse combinando, en principio cualquier tipo de antena. La antena Yagi se muestra como ejemplo en la **Figura 43 (BORIA, 2002)**.

### 2.2.2.2.1 Parámetros de Antenas Tx.

---

Las *antenas* al ser parte de un *sistema de comunicación* tienen que ser configuradas con una serie de *parámetros* que la describan y permitan evaluar el efecto sobre el sistema. En este apartado se definirán dichos parámetros; es conveniente diferenciarlos según se relacionen con la transmisión o recepción. Los *parámetros de transmisión* que se van a describir son: *Impedancia ( $\Omega$ )*, *Intensidad de radiación*, *Diagrama de radiación*, *Directividad*, *Polarización* y *Ancho de banda*. Mientras que los de *recepción* son: *Adaptación*, *Área y Longitud Efectiva*. Además se estudiará la ecuación de transmisión entre  $Tx^{35}$  y  $Rx^{36}$ , la relación de señal/ruido de antena y los efectos de la propagación de ondas en el espacio, en la troposfera y la ionosfera (**FREEMAN, 2004**).

#### a) Impedancia.

La *antena* debe conectarse a un transmisor y radiar el máximo de potencia con un mínimo de *pérdidas*. La antena y el transmisor han de acoplarse para ofrecer una máxima transferencia de potencia.

Normalmente el transmisor se encuentra lejos de la antena y la conexión se hace mediante una línea de transmisión o guía de onda, debiéndose considerar su impedancia característica, su atenuación y su longitud.

---

<sup>35</sup> **Tx:** Transmisor.

<sup>36</sup> **Rx:** Receptor.

El *transmisor* produce corrientes y campos que pueden ser medidos en puntos específicos de la antena. A la entrada de la antena puede definirse la *impedancia*<sup>37</sup> *de entrada* ( $Z_e$ ) mediante relaciones tensión-corriente en ese punto. En notación fasorial, el régimen permanente sinusoidal tendrá una parte real  $R_e(\omega)$  y una imaginaria  $X_e(\omega)$ , ambas dependientes en general de la frecuencia. Si  $Z_e$  no presenta una parte reactiva a una frecuencia, se dice que es una antena *resonante*. Dado que la antena radia energía, hay una pérdida neta de potencia hacia el espacio debida a radiación, que puede ser asignada a una *resistencia de radiación*  $R_r$ , definida como el valor de la resistencia que disiparía óhmicamente la misma potencia que la radiada por la antena.

$$P_{radiada} = I^2 R_r \quad (2.41)$$

Superpuestas a la radiación se obtendrán las pérdidas que puedan generarse en la antena, comúnmente óhmicas en los conductores, si bien en las antenas de ferrita también se producen pérdidas en el núcleo (**GARCÍA, 2010**).

La potencia entregada a la antena es la suma de las potencias radiada y de pérdidas en la antena. Todas las pérdidas pueden incluirse en una *resistencia de pérdidas*  $R_\Omega$ . La Resistencia de entrada es la suma de la radiación y pérdidas:

$$P_{entregada} = P_{radiada} + P_{pérdidas} = I^2 R_r + I^2 R_\Omega \quad (2.42)$$

---

<sup>37</sup> La **Impedancia** en un circuito eléctrico, es la relación de resistencia u oposición que presenta un elemento o circuito al flujo de corriente. Su magnitud es medida en Ohms (**DEM, 2013**).

La *impedancia* de entrada es un parámetro muy importante, ya que condiciona las tensiones de los generadores que se deben aplicar para obtener determinados valores de corriente en la antena y, por ende, una determinada potencia radiada (**WARREN, 1998**).

Si la parte reactiva es grande, hay que aplicar tensiones elevadas para obtener corrientes notables; si la resistencia de radiación es baja, se necesita elevar la corriente para tener una potencia radiada significativa.

La existencia de pérdidas en la antena hace que no toda la potencia generada por el transmisor sea radiada, por lo que se puede definir un rendimiento o *eficiencia de la antena*  $\eta_l$ , mediante la relación entre la potencia radiada y la entregada, o equivalentemente entre la resistencia de entrada de esa antena, si hubiera sido ideal (sin pérdidas), y la que presenta realmente.

$$\eta_l = \frac{P_{radiada}}{P_{entregada}} = \frac{R_r}{R_r + R_\Omega} \quad (2.43)$$

## **b) Intensidad de Radiación.**

Otra propiedad importante de una antena es su capacidad para radiar con cierta capacidad de direccionamiento, es decir concentrar la fuerza de radiación en una zona específica.

Por esto, es importante medir este comportamiento con algún parámetro que permita establecer una comparación entre distintas antenas. Previamente se debe definir un marco de referencia, para ello se graficará la antena en un sistema de coordenadas.

El sistema coordenado usado normalmente en antenas es el *esférico* como se muestra en la **Figura 43**. Para puntualizar una dirección en el espacio se utilizan dos ángulos ( $\theta, \phi$ ).

En el sistema de coordenadas de la **Figura 43** se definen los vectores unitarios  $\hat{r}, \hat{\theta}, \hat{\phi}$  que forman una base ortogonal. La orientación de los vectores está determinada por la intersección de una esfera de radio  $r$ , un cono de ángulo  $\theta$  y un semiplano que pasa por el eje  $z$ .

La onda electromagnética radiada se compone de un campo eléctrico  $\vec{E}$  ( $V/m$ ) y uno magnético  $\vec{H}$  ( $A/m$ ); ambos son magnitudes vectoriales relacionados por las **Ecuaciones de Maxwell** anteriormente estudiadas.

A partir de los valores eficaces de los campos se obtiene la densidad de flujo por unidad de superficie mediante

$$\vec{\varphi}(\theta, \phi) = \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}^*) W/m^2 \quad (2.44)$$

donde se ha supuesto para los campos una variación temporal armónica y los símbolos  $*$ ,  $\text{Re}$  y  $\times$  denotan el complejo conjugado, la parte real y el producto vectorial .

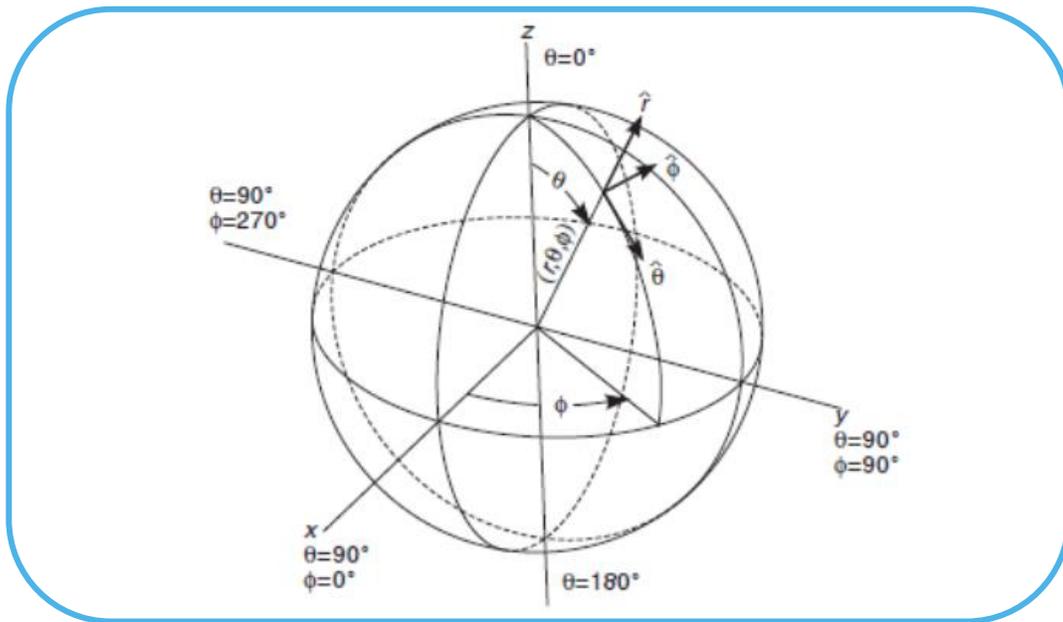
Para los campos radiados, los módulos del campo eléctrico y del campo magnético están relacionados por la impedancia característica del medio  $\eta$ , que en el vacío vale  $120 \pi \Omega$  (**GARCÍA, 1996**).

Entonces, la *densidad de potencia radiada* también se puede calcular a partir de las componentes transversales del campo eléctrico

$$\vec{\varphi}(\theta, \phi) = \frac{|E_\theta|^2 + |E_\phi|^2}{\eta} \quad (2.45)$$

La potencia total radiada se puede obtener como integral de la densidad de potencia en una superficie que encierre a la antena

$$P_r = \iint_S \vec{\varphi}(\theta, \phi) d\vec{s} \quad (2.46)$$



**Figura 44.** Sistemas de coordenadas esférico.

La *intensidad de radiación* es la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección; sus unidades son *watts*<sup>38</sup> por *estereorradián*<sup>39</sup> y a grandes distancias tiene la propiedad de ser independiente de la distancia a la que se encuentre la antena.

<sup>38</sup> Un **Watt** es el equivalente a 1 Joule por segundo (1 J/s) y es una de las unidades derivadas. Expresado en unidades utilizadas en electricidad, un vatio es la potencia eléctrica producida por una diferencia de potencial de 1 volt y una corriente eléctrica de 1 amper (1 voltiamperio) **(DEM, 2013)**.

<sup>39</sup> El **Estereorradián** se define haciendo referencia a una esfera de radio r. Si el área de una porción de esta esfera es r<sup>2</sup>, un estereorradián es el ángulo sólido comprendido entre esta porción y el centro de la esfera **(Aznar, 2002)**.

La relación entre la intensidad de radiación y la densidad de potencia radiada es:

$$K(\theta, \Phi) = \varphi(\theta, \Phi)r^2 \quad (2.47)$$

y la potencia total radiada también se puede calcular integrando la densidad de radiación en direcciones del espacio

$$P_r = \iint_{4\pi} K(\theta, \phi)d\Omega \quad (2.48)$$

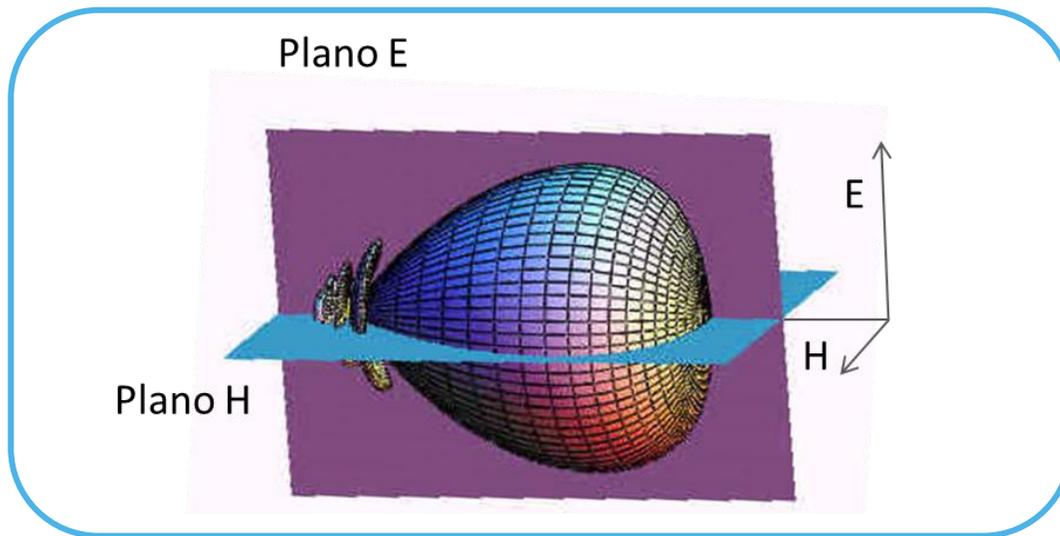
al ser el diferencial de ángulo sólido en coordenadas esféricas

$$d\Omega = \frac{ds}{r^2} = \text{sen}(\theta) d\theta d\phi \quad (2.49)$$

### c) Diagrama de Radiación.

Un *diagrama de radiación* es una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena, en función de las distintas direcciones del espacio, a una distancia fija. Usualmente se empleará un sistema de coordenadas esféricas. Con la antena situada en el origen y manteniendo constante la distancia se expresará el campo eléctrico en función de las variables angulares  $(\theta, \phi)$ . Como el campo es una magnitud vectorial, habrá que determinar en cada punto de la esfera de radio constante el valor de dos componentes ortogonales, habitualmente según  $(\hat{\theta}, \hat{\phi})$ .

Como el campo magnético se deriva directamente del eléctrico, la representación podría realizarse a partir de cualquiera de los dos, siendo norma habitual que los diagramas se refieran al campo eléctrico.



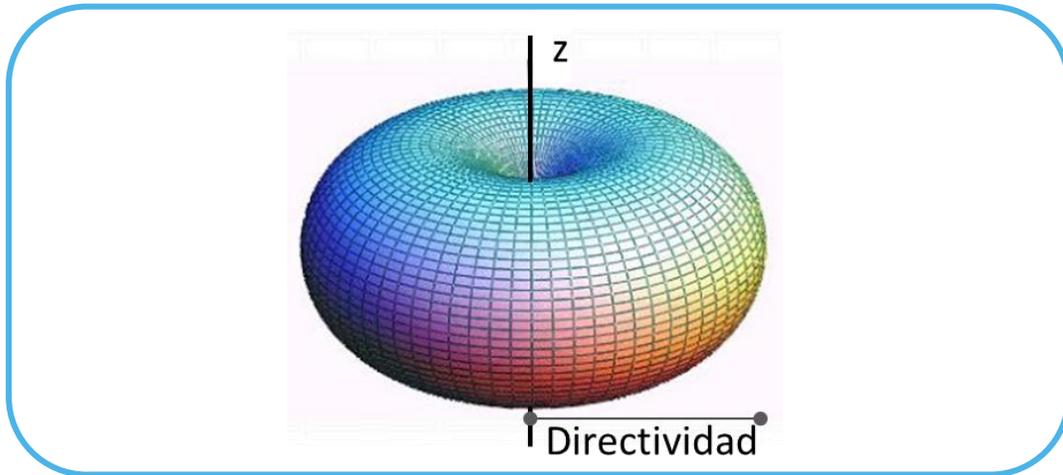
**Figura 45.** Diagrama de radiación tridimensional.

El *diagrama de radiación* puede ser representado en tres dimensiones. La **Figura 45** muestra el diagrama tridimensional de una *antena* y los planos **E** y **H**. Los niveles se expresan en decibeles respecto al máximo de radiación. Para *antenas* linealmente polarizadas se define el *plano*<sup>40</sup> **E** como el que forman la dirección de máxima radiación y el campo eléctrico en dicha dirección. Análogamente, el *plano H* es el formado por la dirección de máxima radiación y el campo magnético en dicha dirección. Ambos planos son perpendiculares y su intersección determina una línea que define la dirección en máxima radiación de la antena.

En un diagrama de radiación típico, se aprecia una zona en la que la radiación es mayor, denominada *haz principal* o *lóbulo principal*. Las zonas que rodean a los máximos de menor amplitud se conocen como *lóbulos laterales* y al lóbulo lateral de mayor amplitud se le denomina *lóbulo principal tal y como se muestra en la Figura 45 (CAM, 2000)*.

<sup>40</sup> Un **Plano** es una superficie que generan dos rectas que se cortan en un punto (DEM, 2013).

#### d) Directividad.



**Figura 46.** Directividad.

La directividad  $D$  de una *antena* es definida mediante la relación de la densidad de potencia radiada en una dirección a una distancia dada, entre la densidad de potencia que radiaría a esa misma distancia una antena isotrópica <sup>41</sup> con esa misma potencia.

$$D(\theta, \Phi) = \frac{\varphi(\theta, \Phi)}{P_r / (4\pi r^2)}$$

Si no se especifica la dirección angular, se sobreentiende que la directividad se refiere a la dirección de máxima radiación.

$$D = \frac{\varphi_{\text{máx}}}{P_r / (4\pi r^2)} \quad (2.50)$$

---

<sup>41</sup> **Antena isotrópica** es una antena ideal, puntual que radia energía uniformemente en todas direcciones. No existe físicamente, solo es un modelo de referencia (**Aznar, 2002**).

### **e) Polarización.**

La polarización es una indicación de la orientación del vector de campo  $\vec{E}(\vec{r}, t)$  en un punto fijo del espacio al transcurrir el tiempo.

La polarización de una **antena** en una dirección es la de la onda radiada por ella en esa dirección. La polarización de una onda es la geométrica descrita, al transcurrir el tiempo, por el extremo del vector campo eléctrico en un punto fijo del espacio en el plano perpendicular a la dirección de propagación. Para ondas con variación temporal sinusoidal esa figura es en general una elipse, pero hay dos casos particulares de interés:

- **Onda linealmente polarizada:** si la figura trazada es un segmento.
- **Onda circularmente polarizada:** si hace un círculo.

El sentido de giro del campo eléctrico, tanto en las ondas circularmente polarizadas como en las elípticas, se dice que es a derechas si sigue el convenio de avance en la dirección de propagación, o bien si al alejarse la onda de un observador, éste ve rotar el campo en el sentido de las agujas de un reloj, y a izquierdas si es el sentido contrario.

Se define la relación axial de una onda elípticamente polarizada como la relación entre los ejes mayor y menor de la elipse. Toma valores comprendidos entre uno e infinito.

Los campos, representados en notación compleja o fasorial, permiten determinar la variación temporal a partir de cada una de las componentes ortogonales a la dirección de propagación.

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \text{Re}[\vec{E}(\vec{r})e^{j\omega t}] \quad (2.51)$$

La radiación de una *antena* en una polarización específica se denomina *polarización de referencia* o *copolar*, mientras que a la radiación en la polarización ortogonal es conocida como *polarización cruzada* o *contrapolar* (*crosspolar* en inglés).

### f) Ancho de Banda.

Por sus características y geometría finita, todas las antenas están limitadas a operar efectivamente en un margen de frecuencias. Este intervalo de frecuencias, en el que un parámetro de antena determinada no sobre pasa unos límites predefinidos, se conoce como *ancho de banda* de la antena.

El *ancho de banda* (*BW*) se puede especificar como la relación entre el intervalo de frecuencias en que se cumplen las especificaciones y la frecuencia central. Dicha relación se expresa en forma de porcentaje.

$$BW = \frac{f_{\text{máx}} - f_{\text{mín}}}{f_0} \quad (2.52)$$

En antenas de *banda ancha* se suele especificar en la forma

$$BW = \frac{f_{\text{máx}}}{f_{\text{mín}}} : 1 \quad (2.53)$$

El *ancho de banda* de la *antena* lo genera el sistema al que esté conectada y afectará el parámetro más sensible o crítico de la aplicación. Para su especificación, los parámetros pueden dividirse en dos grupos, según estén relacionados con el diagrama o con la impedancia. En el primero de ellos se tiene la *directividad*, la *pureza de polarización*, el *ancho de*

*haz*, el *nivel de lóbulo principal a secundario* y la *dirección de máxima radiación*. En el segundo, la *impedancia de la antena*, el *coeficiente de reflexión* y la *relación de onda estacionaria*.

El *coeficiente de reflexión* de la antena respecto a la línea de transmisión o generador es

$$\rho = \frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0} \quad (2.54)$$

La relación de onda estacionaria se puede calcular a partir del *coeficiente de reflexión*.

$$S = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \quad (2.55)$$

Las *antenas* de banda estrecha se pueden modelar con un circuito resonante serie, con expresión de la impedancia de entrada de la forma

$$Z_a = R_a + jX_a = R_a(1 + jQv) \quad (2.56)$$

$Q$  es el factor de calidad del circuito y

$$v = \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \quad (2.57)$$

Si se especifica como ancho de banda el margen de frecuencias donde la relación de estacionaria es menor que un determinado valor  $S$ , a partir de las ecuaciones anteriores se puede deducir que:

$$BW = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{\left(\frac{Z_0}{R_a} S - 1\right) \left(S - \frac{Z_0}{R_a}\right)}{S}} \quad (2.58)$$

Cuando la resistencia de la antena coincide con la impedancia característica de la línea de transmisión, el ancho de banda se expresa como

$$BW = \frac{1 S - 1}{Q \sqrt{S}} \quad (2.59)$$

#### **2.2.2.2.2 Parámetros de Antenas Rx.**

---

Anteriormente se describieron los parámetros de una antena transmisora. Después de que la señal es enviada por la antena *Tx* hacia el aire en forma de ondas, otra antena es la encargada de captar parte de la potencia de la onda que incide sobre ella actuando como sensor, y la transporta al receptor. La *antena* es el punto medio donde interaccionan la onda y el receptor, dando ciertos parámetros asociados con la conexión al circuito y al electromagnetismo de la onda incidente. A continuación se describen cada uno de los patrones:

##### **a) Adaptación.**

La *impedancia* de una antena receptora es la misma que la *impedancia* de dicha antena actuando como transmisora.

En recepción, la antena se conecta a una *línea de transmisión* o bien directamente a un *receptor*. Para que haya máxima transferencia de potencia, la impedancia de la antena:

$$Z_a = R_a + jK_a \quad (2.60)$$

y la impedancia de carga:

$$Z_L = R_L + jX_L \quad (2.61)$$

Deben ser complejas conjugadas:

$$\mathbf{Z}_L = \mathbf{Z}_a^* \quad (2.62)$$

En este caso

$$P_{Lmax} = \frac{|V_{ca}|^2}{4R_a} \quad (2.63)$$

En general si no hay adaptación tendremos

$$P_L = P_{Lmax} C_a = P_{Lmax} (1 - |\rho|^2) \quad (2.64)$$

Donde  $C_a$  es el coeficiente de desadaptación, que se puede calcular a partir de (2.98) y (2.94)

$$C_a = \frac{4R_a R_L}{(R_a + R_L)^2 + (X_a + X_L)^2} \quad (2.65)$$

## b) Área y Longitud Efectiva.

La antena extrae potencia del frente de la onda incidente, por lo que presenta una cierta área de captación o área efectiva  $A_{ef}$ , definida en la siguiente relación:

$$A_{ef} = \frac{P_L}{\varphi} \quad (2.66)$$

donde

$P_L$ : Potencia que entrega la antena a su carga (supuesta para esta definición sin pérdidas y adaptada a la carga).

$\varphi$ : Densidad de potencia de la onda incidente que representa físicamente la porción del frente de onda que la antena ha de interceptar y drenar de él toda la potencia contenida hacia la carga.

Dicha relación representa físicamente la porción del frente de onda que la antena ha de interceptar y drenar de él toda la potencia contenida hacia la carga.

La definición anterior lleva implícita la dependencia del *área efectiva* con la *impedancia de carga*, la *adaptación* y la *polarización* de la onda. Si sustituimos la **Ecuación 2.63** en la **2.66** y si se tiene en cuenta que  $\varphi = |E|^2/\eta$ , resulta

$$A_{ef} = \frac{|V_{ca}|^2}{4R_a\varphi} = \frac{|V_{ca}|^2\eta}{|E|^2 4R_a\varphi} = \frac{\ell_{ef}^2\eta}{4R_a} \quad (2.67)$$

donde se introduce un nuevo parámetro, la *longitud efectiva*  $\ell_{ef}$ , mediante la relación inducida en circuito abierto en bornes de la antena y la intensidad del campo incidente en la onda

$$\ell_{ef} = \frac{|V_{ca}|}{|E|} \quad (2.68)$$

Nuevamente esta definición lleva implícita una dependencia con la polarización de la onda. La *longitud y área efectiva* están definidas a partir de magnitudes eléctricas y no coinciden necesariamente con las dimensiones reales de las *antenas*, si bien en algunos tipos de ellas guardan una relación directa. El *área y la longitud efectiva* se han definido para la

dirección en la que la antena receptora capta máxima señal. El área efectiva dependerá de la dirección angular en la que incidan las ondas, de una forma similar a la directividad

$$A_{ef}(\theta, \phi) = A_{ef}t(\theta, \phi) \quad (2.69)$$

La *longitud efectiva* también variará proporcionalmente al diagrama de radiación del campo.

$$l_{ef}(\theta, \phi) = l_{ef}\sqrt{t(\theta, \phi)} \quad (2.70)$$

Después de describir los parámetros para antenas receptoras, se describirá la ecuación de transmisión entre *Tx* y *Rx*, la relación de señal/ruido de antena y los efectos de la propagación de ondas en el espacio.

### **c) Ecuación de Transmisión.**

En un *sistema de comunicación* se establece un balance de potencia entre el *transmisor* y el *receptor*, este último determina el mínimo nivel de potencia en la señal del transmisor.

Si la antena transmisora radiara de manera *isotrópica* una potencia  $P_r$ , se enviaría la señal a todas direcciones de la misma manera.

Si inicialmente se considera que el medio donde se transmite no posee pérdidas, esto es, no existen pérdidas, la potencia que atraviesa cualquier superficie esférica centrada en la antena será constante.

La densidad de potencia será:

$$\varphi = \frac{P_r}{4\pi r^2} \quad (2.71)$$

como la densidad de potencia es proporcional al cuadrado de la intensidad de campo, tenemos también que los campos radiados por antenas decrecerán inversamente con la distancia.

Las antenas no son isotrópicas, concentran energía en ciertas direcciones. La densidad de potencia en este caso se obtendrá multiplicando la que habría producido una antena isotrópica por la Directividad, con lo que resultará:

$$\varphi(\theta, \phi) = \frac{P_r}{4\pi r^2} D(\theta, \phi) = \frac{P_e}{4\pi r^2} G(\theta, \phi) \quad (2.72)$$

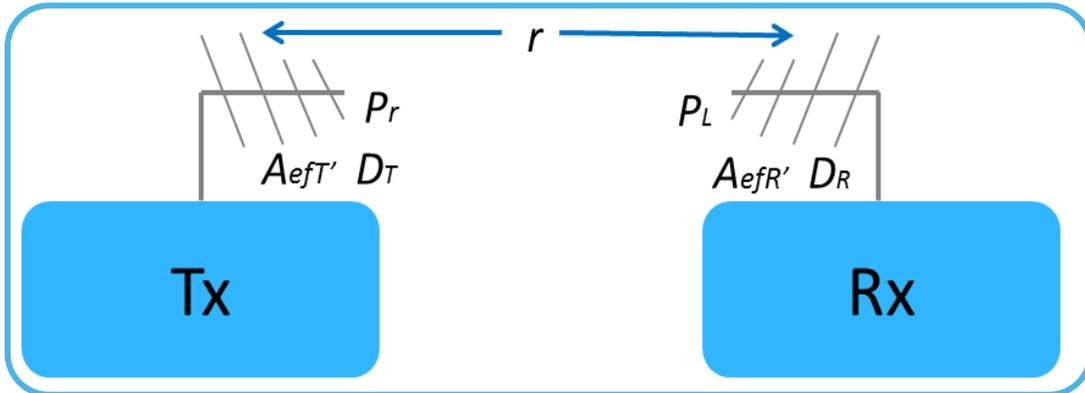
Al producto de la *potencia radiada* por una antena por la *directividad*, o de la *potencia entregada* por la *ganancia*, se le denomina *potencia isotrópica radiada equivalente*, PIRE, y suele expresarse en dBW (decibelios sobre una potencia de referencia de un W)

$$PIRE = P_r D = P_e G \quad (2.73)$$

para dos antenas separadas a una distancia  $r$ , conectadas a un transmisor y a un receptor como se muestra en la **Figura 47**, la ecuación de transmisión de Friis establece la relación entre la potencia recibida y la radiada. La potencia que la antena receptora entregará a su carga adaptada tiene el valor de:

$$P_L = \frac{P_r}{4\pi r^2} D_T A_{efR} \quad (2.74)$$

A la relación entre la potencia recibida y la radiada se le conoce como *pérdida de transmisión* entre las antenas, y se indica en decibeles (dB).



**Figura 47.** Balance de potencia entre 2 antenas.

#### d) Temperatura de Ruido de Antena.

Además de recibir señales, una antena también recibe *ruido*. A la potencia de ruido recibida en una antena se le asocia una *temperatura de ruido* de la antena  $T_a$ , con esto se entiende que es la temperatura necesaria para pueda producir una potencia de ruido igual, es decir:

$$P_N = \frac{V^2}{4R} = kT_a B \quad (2.75)$$

donde

$P_N$ : Es la potencia de ruido en *bornes* de la antena.

$B$ : Es el ancho de banda.

$k$ : Cte. De Boltzmann =  $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ .

$V_N$ : Tensión (rms) en círculo abierto.

Si la antena no tiene pérdidas óhmicas, toda la potencia de ruido proviene de fuentes externas en forma de radiación incidente de todas las direcciones del espacio, que es captada por la antena y transferida al receptor.

La potencia total de ruido recibida será la suma de las intensidades de ruido incidentes ponderadas por la respuesta de la antena a cada dirección, es decir, por el área efectiva  $A_{ef}(\theta, \phi)$ . La temperatura de antena valdrá en general:

$$T_a = \frac{\iint_{4\pi} T(\theta, \phi) A_{ef}(\theta, \phi) d\Omega}{\iint_{4\pi} A_{ef}(\theta, \phi) d\Omega} \quad (2.76)$$

### e) Propagación.

Un *sistema de telecomunicación* ideal debe diseñarse de modo que el receptor obtenga una relación señal-ruido mínima para que su funcionamiento dé garantía.

Diversos servicios de *radiocomunicación*, *radiodifusión*, *radiolocalización* (radar) y *teledetección* tienen en común el empleo de ondas *electromagnéticas* radiadas como soporte de la transmisión de información entre el *transmisor* y el *receptor*.

Para la correcta planificación de cualquiera de estos sistemas resulta esencial conocer los factores que pueden alterar la *propagación electromagnética*, su *magnitud* y su influencia en las distintas bandas de frecuencias. En condiciones de propagación en el espacio libre la relación entre la potencia recibida y la transmitida (pérdida de transmisión) por dos antenas separadas una distancia  $r$  es:

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{1}{4\pi r^2} D_T A_{efR} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 D_T D_R = \left(\frac{1}{\lambda r}\right)^2 A_{efT} A_{efR} \quad (2.77)$$

La ecuación anterior no muestra una relación clara entre potencia transmitida y recibida en función de la frecuencia, ya que según sean los parámetros de antena empleados la dependencia explícita con la frecuencia varía. A frecuencias bajas, bandas *MF*, *LF* y *VLF*, las antenas empleadas son necesariamente pequeñas en términos de  $\lambda$ , ya que ésta es superior a los 100 m. En este caso las antenas presentan típicamente una directividad constante con la frecuencia. A partir de la **Ecuación 2.77** se observa que, para directividades constantes con la frecuencia, la pérdida de transmisión aumenta con la frecuencia.

Por el contrario, a frecuencias elevadas, bandas de *UHF* y *SHF*, las antenas pueden tener dimensiones grandes relativas a  $\lambda$ . En este caso, por ejemplo en el de reflectores parabólicos, el área efectiva de la antena es proporcional al área física de la misma y, por tanto, independiente de la frecuencia, por lo que de la **Ecuación 2.77** resulta que la pérdida de transmisión disminuye al aumentar la frecuencia.

Con lo anterior se puede concluir que las antenas de dimensiones fijas y considerando la propagación en el espacio libre, disminuir la frecuencia en bandas de frecuencia bajas y aumentarla en banda de frecuencia elevadas reduce la pérdida de transmisión.

La *propagación* en el espacio libre responde a un modelo ideal análogo a las condiciones de propagación en el vacío. En el entorno real, muy pocas situaciones se ajustan a este modelo. La presencia de la tierra, la atmósfera y la ionosfera afectan en la mayoría de los casos existentes las condiciones de propagación.

Las características eléctricas de la tierra y su configuración orográfica influyen en la propagación de las

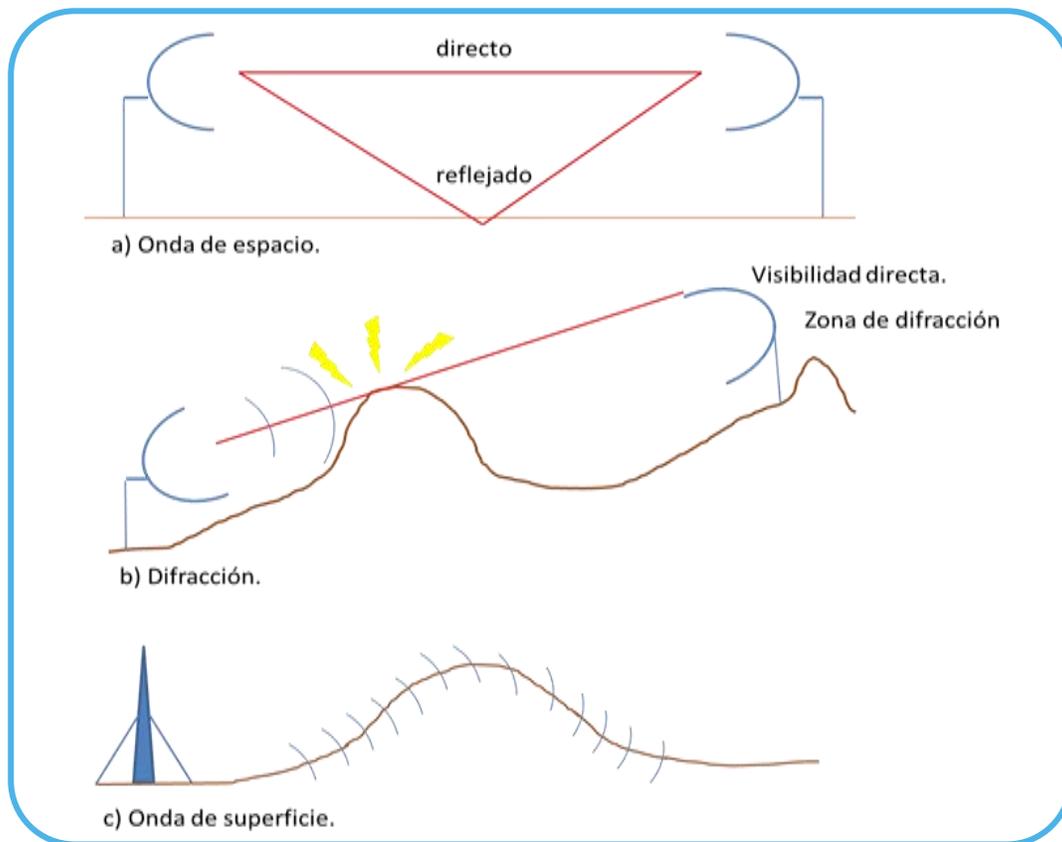
ondas electromagnéticas. Al incidir una onda electromagnética sobre la tierra se produce una *reflexión*. La superposición de la onda directa y la reflejada da lugar a la llamada *onda de espacio*.

La formación de la *onda de espacio* puede ser constructiva o destructiva en función de la onda directa y su reflejada, lo que da resultado en variaciones apreciables de la potencia recibida respecto al valor reflejado libre.

La presencia de elevaciones, obstáculos y la propia forma esférica de la tierra limitan la visibilidad entre las antenas transmisora y receptora. Al incidir una onda electromagnética sobre un obstáculo se produce un fenómeno de *difracción* por el cual el obstáculo proyecta parte de la energía interceptada. La *difracción* posibilita la recepción aun en el caso de que no exista visibilidad, si bien con una atenuación adicional respecto al espacio libre.

A frecuencias bajas la tierra se comporta como un buen conductor, por lo que es posible inducir corrientes superficiales sobre la tierra. A estas corrientes superficiales se les asocia la *onda de superficie* que podrá recibirse aunque no exista visibilidad entre las antenas. En la **Figura 48** se representan de forma esquemática estos tres fenómenos relacionados con la tierra: *reflexión, difracción y onda de superficie*.

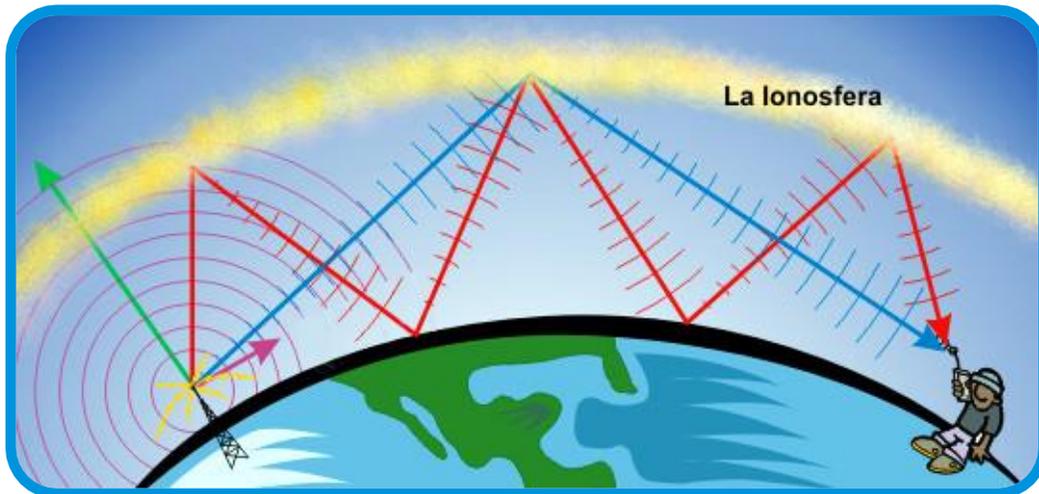
La *atmósfera* al contener grandes concentraciones de gases introduce una diferencia entre la propagación en el vacío y atmósfera. En la *tropósfera* se concentra la mayor cantidad de gases, esta se extiende desde el nivel del mar hasta unos 10 km de altitud aproximadamente, tocar este punto es muy importante ya que es la zona de la evaluación.



**Figura 48.** Efectos de la tierra en la propagación.

En condiciones normales conforme hay más altitud disminuye la cantidad de gas gradualmente, provocando una variación en el índice de *refracción* de la atmósfera. Con esto se concluye que la atmósfera es un medio de propagación no homogéneo, lo que provoca una curvatura en las trayectorias de propagación o refracción. Además de que la presencia de gases atenúa las frecuencias de resonancia de las moléculas de

oxígeno y del vapor de agua, que son los gases que más abundan en la atmósfera.



**Figura 49.** Efecto de la ionosfera.

Finalmente, incidencias meteorológicas como las lluvias pueden introducir atenuaciones adicionales en función de la frecuencia y la intensidad de la precipitación.

Otro elemento que debe considerarse es la *ionósfera*, comprendida entre los 50 y 2,000 km de altitud y se caracteriza por contener densidades importantes de moléculas ionizadas, que da por resultado los fenómenos de *reflexión*, *absorción* y *refracción* en función de parámetros tales como *frecuencia* y la *densidad de ionización*.

La *tierra*, la *tropósfera* y la *ionósfera* son los responsables de una serie de fenómenos que deben considerarse al planificar un *sistema de radiocomunicaciones* (AZNAR, 2004).

En el siguiente apartado se hará uso de esta información enfocándola a la tecnología de *Radiocomunicación*.

### 2.2.3 Radiocomunicación.

---

Anteriormente se mencionó el espectro *radioeléctrico*, que es el conjunto de todas las frecuencias divididas por décadas en bandas. Dentro de este orden se encuentran las *ondas de radio*, y las microondas.

Las **ondas de radio** también denominadas *radio frecuencia* o *RF* se encuentran localizadas en dicho espectro entre los 3 Hz<sup>42</sup> y los 300 GHz , abarcando las bandas ELF<sup>43</sup>, VLF<sup>44</sup>, LF<sup>45</sup> MF<sup>46</sup>, HF<sup>47</sup>, VHF<sup>48</sup> (**Tabla 2**).

De acuerdo con lo anterior y con lo visto en el subtema 2.2.2 Sistemas de Comunicación, se describe el concepto de **Sistema de Radiocomunicación**:

*Sistema de comunicación a distancia que se realiza a través de un canal (Alámbrica o inalámbricamente), transmitiendo y recibiendo ondas de radio, las cuales son usadas para transportar información útil para el usuario.*

Un tipo de *radiocomunicación* usado para transmitir información a través del espacio es la **radiodifusión** o como se le conoce comúnmente **radio**. En *radiodifusión* se usa el modo de transmisión *simplex*. En este modo, las transmisiones sólo se hacen en un sentido. Una estación sólo radia información a varios sistemas receptores, pero no espera recibir alguna respuesta por parte de ellos (**COUCH, 2007**).

---

<sup>42</sup> **Hz**: Hertz, es la unidad de medida de la frecuencia de las ondas, y corresponde a un ciclo por segundo (**Kitchen, 1998**).

<sup>43</sup> **ELF**: Extremely Low Frequency.

<sup>44</sup> **VLF**: Very Low Frequency.

<sup>45</sup> **LF**: Low Frequency.

<sup>46</sup> **MF**: Medium Frequency.

<sup>47</sup> **HF**: High Frequency.

<sup>48</sup> **VHF**: Very High Frequency.



**Figura 50.** Estación de Radio.

Específicamente, en México por disposición de la SCT, la radiodifusión sonora comercial está asentada en la banda VHF, a partir de 88 MHz a 108 MHz **(NOM-02, 1993)**.

Esta investigación se enfocará en estudiar esta manera de radiocomunicación, y en los capítulos posteriores se detallarán los procesos de instalación relacionados a ella donde se ofrece un caso práctico en el **Capítulo 4** para resolver el problema planteado en el **Capítulo 1**.

En el siguiente apartado, se describe cómo es posible usar las ondas de radio para transportar información a través del espacio.

### 2.2.3.1 Modulación y Demodulación.

---

Como anteriormente se mencionó, los *Sistemas de Radiocomunicación* transmiten *información* útil para el usuario en forma de *señales* de un punto a otro. Las *señales* se envían de un punto a otro, por medio de un *canal*, cualquiera de los antes mencionados.

En general, cada una de las señales posee un ancho de banda finito y pequeño, comparado con la capacidad de ancho de banda que puede soportar el canal. Por lo tanto, si sólo se transmite una señal por canal, éste no se aprovecha al máximo; sin embargo no podemos enviar dos o más señales por el mismo canal, porque esto causaría interferencia entre ellas y no se podrían recuperar individualmente en el extremo receptor. Esto quiere decir que no es posible transmitir directamente más de una conversación telefónica, ni explotar simultáneamente, más de una estación de radio o televisión.

Existen estrategias para aprovechar la capacidad del ancho de banda que puede soportar el canal. Si se trasladan los espectros de las diferentes señales para que ocupen rangos distintos de frecuencia, podrían viajar sobre el mismo canal sin traslaparse **(PIERCE, 2002; POZAR, 2005)**.

A la traslación de una frecuencia a otra se le denomina **modulación**, y no es más que la multiplicación de la señal (información) por una *señal sinusoidal*. En consecuencia, empleando la técnica de modulación se pueden transmitir simultáneamente por el mismo canal varias señales moduladas a diferentes rangos.

En el extremo receptor, se separan las diferentes señales mediante filtros apropiados. Sin embargo, los espectros así separados, no representan la señal original, ya que han sufrido una traslación. Para obtener la señal original, se debe retrasar cada espectro en la cantidad adecuada, de tal manera que recupere su forma original, esto se denomina: **demodulación**.

Además, la **modulación** proporciona otro aporte en el proceso de la transmisión radiada por el espacio. La teoría de las ondas electromagnéticas, demuestra que sólo se puede radiar una señal de manera efectiva, si el tamaño de la antena radiadora es del orden de un décimo o más de la longitud de onda correspondiente a las frecuencias de las señales radiadas. La voz humana tiene una frecuencia máxima alrededor de 10,000 Hz, lo que corresponde a una longitud de onda mínima de 30,000 metros. Así, para radiar ondas electromagnéticas que correspondan al rango de frecuencia de la voz humana, se necesitaría una antena de varios kilómetros de longitud; Claramente, esto se torna impráctico a la de hora aplicarlo.

El proceso de modulación traslada el espectro de frecuencia a cualquier rango de frecuencia superior, haciéndolo más conveniente a la hora de diseñar una antena. Todas las señales de radio y televisión están moduladas, es decir el espectro de frecuencia está trasladado a un rango más alto. Por consiguiente, la modulación aparte de permitir la transmisión simultánea de varias señales sin interferencia entre ellas, hace posible su **transmisión (radiación) efectiva (LATHI, 1991)**.

En la siguiente sección se explicará matemáticamente el proceso de modulación.

### 2.2.3.2 Modulación Angular.

---

Anteriormente se mencionó el concepto de *modulación* y *demodulación*, generalmente hablando. Existen dos maneras de modular una señal, una manera es hacer variar la amplitud de la onda según la señal que contiene la información y la otra forma es hacer variar el ángulo de la onda por la señal modulante. La primera manera es denominada como *Modulación en amplitud (AM)*, de la cual hay existen dos tipos: *Amplitud Modulada con Portadora Suprimida (AM-PS)*, usada en aplicaciones de radio punto a punto) y *Amplitud modulada de alta potencia (AM)*, usada en radiodifusión).

La segunda manera de modulación es **Modulación Angular**, la cual se estudiará a detalle en esta investigación (LATHI, 1991).

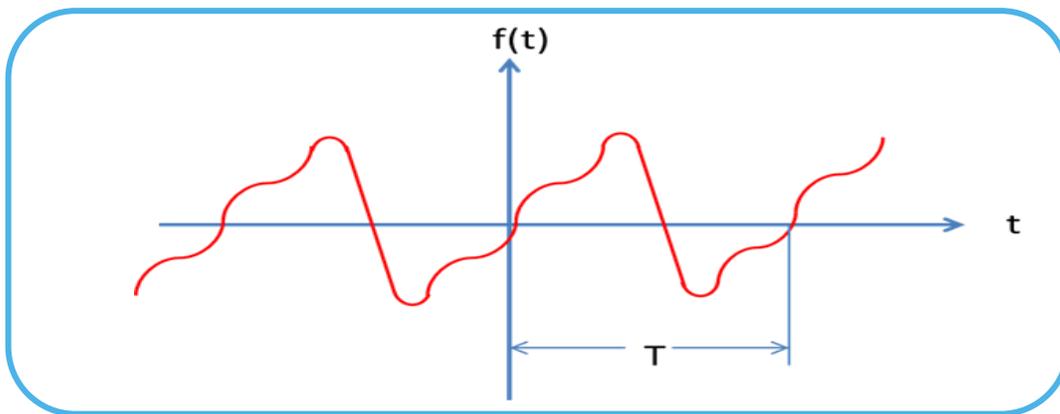
En modulación de AM, la amplitud de la portadora varía con respecto de la señal  $f(t)$  y, por lo tanto, la información queda contenida en esa variación de amplitud de la portadora. Como una señal sinusoidal se escribe mediante tres variables: *amplitud*, *frecuencia* y *fase*, existen también la posibilidad de llevar esa información cuando varían, o bien la *frecuencia*, o la *fase*. Sin embargo, por definición, una senoide representa un tren de ondas de amplitud, frecuencia y fase constantes, y un cambio de cualquiera de estas tres variables será contradictorio con la definición de señal sinusoidal. Por esta razón, se debe explicar de manera extendida el concepto de *señal sinusoidal* a una función generalizada donde la *amplitud*, la *frecuencia* y la *fase* puedan variar en función del tiempo.

Para comprender el concepto de *variación de frecuencia*, primero se definirá el concepto de *función periódica* y después el de *frecuencia instantánea*.

Una *Función Periódica* con un cierto periodo se define como:

$$f(t) - \text{función periódica con periodo } T \Leftrightarrow \forall t > 0, \exists T > 0: f(t) = f(t + T) .$$

Esto es, una función  $f(t)$  es periódica con periodo  $T$ , si y sólo si, para toda  $t$  positiva, existe un  $T$  positivo, tal que  $f$  coincide con ella misma cuando se desplaza  $T$  unidades "hacia atrás" (o "hacia la izquierda", o bien cuando se "retrasa").



**Figura 51.** Función periódica  $f(t)$  con periodo  $T$ .

Geoméricamente, una función  $f(t)$  es periódica con periodo  $T$ , si al desplazar su lugar geométrico  $T$  unidades a la izquierda, o sea,  $t + T$ , la función vuelve a encontrarse con ella misma, es decir,  $f = f$ , lo cual con todo y sus argumento se escribe:  $f(t) = f(t + T)$  (Irrarrazaval, 1999).

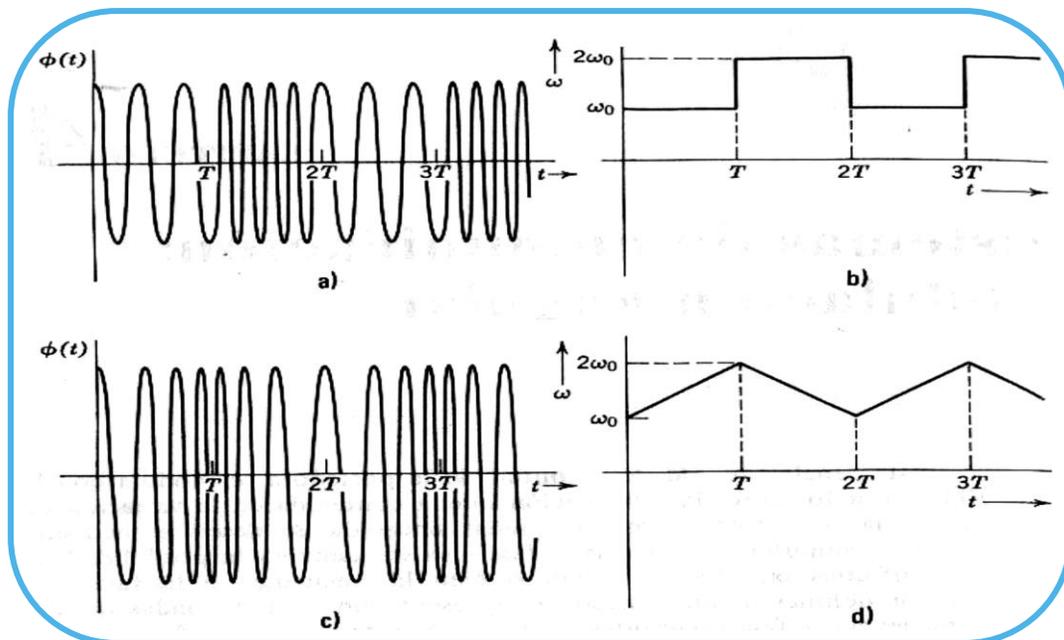
La consideración de la variable  $t > 0$ , sugiere aceptar contextos físicos de variables no nulas (Hsu, 1987).

Para explicar el concepto de *frecuencia instantánea* vea la **Figura 52a** que ilustra una señal sinusoidal  $\varphi(t)$  de frecuencia constante  $\omega_0$  para  $t < T$ . En  $t = T$  la frecuencia cambia repentinamente a  $2\omega_0$  y conserva este valor hasta

$t = 2T$ , donde vuelve a cambiar a  $\omega_0$ . Aquí, los cambios de frecuencia son bruscos, como se muestra en la **Figura 52b** y resulta fácil entender el concepto de variación de frecuencia. La función  $\phi(t)$  es una señal sinusoidal de frecuencia  $\omega_0$  en los intervalos  $2nT < t < (2n+1)T$  y de un valor  $2\omega_0$  en los intervalos  $(2n+1)T < t < (2n+2)T$  ( $n$  entero).

Ahora bien, surge la pregunta: ¿qué ocurriría si en lugar de variaciones bruscas, se tuviera una variación gradual de la frecuencia, como se indica en la **Figura 52d**? En este caso, la frecuencia de la señal cambia continuamente con rapidez uniforme entre  $\omega_0$  y  $2\omega_0$  dentro del intervalo  $T$ , por lo tanto, la frecuencia es diferente a cada instante. Sabiendo esto, la señal  $f(t)$  no puede representarse mediante una expresión sinusoidal ordinaria, por tratarse de una variación continua de frecuencia. Por esto, se define una función sinusoidal generalizada:

$$f(t) = A \cos\theta(t) \quad (2.78)$$



**Figura 52.** El concepto de frecuencia instantánea.

donde  $\theta$  es el ángulo de la señal sinusoidal en función de  $t$ .

Para una función sinusoidal ordinaria de frecuencia fija

$$f(t) = A \cos(\omega_c t + \theta_0)$$

entonces:

$$\theta(t) = \omega_c t + \theta_0$$

y

$$\omega_c = \frac{d\theta}{dt} \quad (2.79)$$

La *frecuencia angular*  $\omega_c$  es constante y está dada por la derivada del ángulo  $\theta(t)$ ; en general, no necesita ser constante. Definamos  $d\theta/dt$  como la frecuencia instantánea  $\omega_i$  que varía con el tiempo. En esta forma, establecemos una relación entre el ángulo  $\theta(t)$  y la frecuencia instantánea  $\omega_i$ :

$$\omega_i = \frac{d\theta}{dt}$$
$$\theta = \int \omega_i dt \quad (2.80)$$

Sabiendo esto se torna fácil entender la posibilidad de transmitir información  $f(t)$  haciendo variar el ángulo  $\theta(t)$  de una portadora. Tales técnicas de modulación, donde se hace variar el ángulo de la portadora en alguna forma con una señal modulante  $f(t)$ , se conocen como **Modulación Angular**.

Los dos métodos de uso común son: *modulación en fase* (**MF**) y *modulación en frecuencia* (**FM**). Si el ángulo  $\theta(t)$  varía linealmente con  $f(t)$ , entonces

$$\theta(t) = \omega_c t + \theta_0 + k_p f \quad (2.81)$$

donde  $k_p$  es constante, y la forma obtenida constituye la **Modulación en Fase**. Por lo tanto, una señal  $\text{Acos}[\omega_c t + \theta_0 + k_p f(t)]$  representa una portadora modulada en fase. Note que la frecuencia instantánea  $\omega_i$  de tal señal está dada por

$$\omega_i = \frac{d\theta}{dt} = \omega_c + k_y \frac{df}{dt} \quad (2.82)$$

Entonces, en este tipo de modulación la frecuencia instantánea varía linealmente con la derivada de la señal modulante. Sin embargo, si dicha frecuencia instantánea varía directamente en función de la señal modulante, se tiene lo que se conoce como **Frecuencia Modulada**. De esta manera, para una portadora modulada en frecuencia,  $\omega_i$  está dada por

$$\omega_i = \omega_c + k_f f(t) \quad (2.83)$$

y

$$\begin{aligned} \theta(t) &= \int \omega_i dt \\ &= \omega_c t + k_f \int f(t) dt + \theta_0 \end{aligned} \quad (2.84)$$

y la señal  $\text{Acos}[\omega_c t + \theta_0 + k_p f(t)]$  es una portadora de **Frecuencia Modulada**.

De lo anterior, es fácil ver que aun siendo **MF** y **FM** formas diferentes de modulación angular, son similares. En **MF**, el ángulo varía linealmente con la señal modulante, mientras que en **FM** varía linealmente con la integral de la señal modulante. Si se integra primero la señal de información  $f(t)$  y se usa para modular una portadora en frecuencia, el resultado es una onda **modulada en fase**. De hecho, en uno de

los métodos para generar señales **FM** (sistema indirecto de Armstrong) se integra  $f(t)$  y luego se utiliza para modular en fase a una portadora. **MF** y **FM** están relacionadas, pues cualquier variación en la fase de una onda, produce una variación en frecuencia, y viceversa. Note que la amplitud se mantiene constante en la modulación angular. Las **Figuras 51a** y **c** son ejemplos de portadoras **FM**.

Matemáticamente una señal **FM** se denota de la siguiente manera:

$$\varphi_{FM} = A \cos \left[ \omega_c t + k_f \int f(t) dt \right] \quad (2.85)$$

donde  $f(t)$  es la señal del mensaje. En las ecuaciones anteriores se supone que la fase inicial  $\theta_0$  es cero.

La representación exponencial de ondas sinusoidales tiene ventajas conocidas, por esa razón serán usadas para expresar la señal sinusoidal de la **Ecuación (2.78)** en su forma exponencial:

$$A \cos \theta(t) \sim A e^{i\theta(t)}$$

donde se entiende que siempre se hace referencia a la parte real de la forma exponencial:

$$A \cos \theta(t) = \text{Re}[A e^{i\theta(t)}]$$

Se usará la notación  $\varphi(t)$  para la representación exponencial de  $\varphi(t)$ .

Si

$$\varphi(t) = A \cos \theta(t)$$

entonces

$$\varphi(t) = Ae^{j\theta(t)}$$

y

$$\varphi(t) = \text{Re } \varphi(t)$$

De acuerdo con esta notación las portadoras de **FM** de la **Ecuación 2.85** pueden expresarse de la siguiente manera:

$$\hat{\varphi}_{FM}(t) = Ae^{j[\omega_c t + k_f \int f(t) dt]} \quad (2.86)$$

Por conveniencia, sea

$$\int f(t) dt = g(t)$$

Esto conduce a

$$\hat{\varphi}_{FM}(t) = Ae^{j[\omega_c t + k_f g(t)]} \quad (2.87)$$

A partir de aquí, se seguirá analizando sólo la **Modulación en Frecuencia (FM)** de la cual existen dos tipos FM, de **Banda Angosta** y de **Banda Ancha**. De acuerdo al objetivo de esta investigación, sólo se estudiará la **Modulación en Frecuencia de Banda Ancha**, ya que es el método usado en radiodifusión.

A continuación, se tratará en la siguiente sección este tipo de modulación.

### 2.2.3.3 FM de Banda Ancha.

---

La portadora de **FM** es expresada en su forma general mediante la **ecuación 2.87**. La frecuencia instantánea  $\omega_i$  es

$$\omega_i = \frac{d\theta}{dt} = \omega_c + k_f \frac{dg}{dt} = \omega_c + k_f f(t)$$

la cual es proporcional a una señal mensaje  $f(t)$ . El término  $k_f f(t)$  representa la desviación de la frecuencia de la portadora de su valor inicial estático  $\omega_c$ . Por lo tanto, la constante  $k_f$  controla dicha desviación. Para valores pequeños de  $k_f$ , la desviación de frecuencia es reducida y el espectro de la función de **FM** tendrá un ancho de banda angosto. Si  $k_f$  es grande, el ancho de banda será proporcionalmente mayor. Considere primero el caso de banda angosta. Si  $k_f$  es tan pequeña que  $k_f g(t) \ll 1$  para todo  $t$ , entonces

$$e^{jk_f g(t)} \simeq 1 + jk_f g(t)$$

y

$$\varphi_{FM}(t) \simeq A[1 + jk_f g(t)]e^{i\omega_c t}$$

y

$$\varphi_{FM}(t) = \text{Re}[\varphi_{FM}(t)] = A \cos \omega_c t - A k_f g(t) \text{sen} \omega_c t \quad (2.88)$$

**portadora    banda lateral**

en **AM**, la señal se expresa como:

$$\varphi_{AM}(t) = A \cos \omega_c t + f(t) \cos \omega_c t \quad (2.89)$$

Mientras que la señal de **FM** de banda angosta como:

$$\varphi_{FM}(t) = A\cos\omega_c t - Ak_f g(t)\text{sen}\omega_c t \quad (2.90)$$

Ahora, si las desviaciones de la frecuencia portadora son grandes, es decir, si se elige la constante  $k_f$  tan grande que no cumpla la condición  $k_f g(t) \ll 1$ , el análisis de señales de **FM** se complica mucho al considerar una señal modulante general  $f(t)$ . No es posible determinar una expresión precisa para el ancho de banda, debido a que **FM** es una modulación no lineal. Se demostrará a continuación que el ancho de banda  $W$  de una señal de **FM** está dado aproximadamente por

$$W = 2[k_f |f(t)|_{\text{máx}} + 2\omega_m] \text{ (En rps).}$$

en donde  $\omega_m$  es el ancho de banda de  $f(t)$ . Obsérvese que

$$\omega_i = \omega_c + k_f f(t)$$

Por lo que  $k_f |f(t)|_{\text{máx}}$  representa la desviación máxima denotada por  $\Delta\omega$ , de la frecuencia de la portadora. En este caso el ancho de banda  $W$  es:

$$\omega_i = \omega_c + k_f f(t) \quad (2.91)$$

Para obtener este resultado, es preciso aproximarse a la señal mensaje mediante una señal en forma escalonada como la **Figura 53a**. Si  $f(t)$  está limitada en banda a  $f_m$  Hz, es razonable suponer que la señal es constante en un periodo de muestreo *Nyquist*<sup>49</sup> de  $1/2 f_m$  segundos. Siendo esta la aproximación, la portadora de **FM** constará de pulsos sinusoidales de frecuencia constante y duración de  $1/2 f_m$  segundos (**OPPENHEIM, 1997**).

---

<sup>49</sup> En honor de Harry *Nyquist* (1889 - 1976) fue un importante contribuidor de la Teoría de la información (**Lathi, 1991**).

Note el cambio brusco de frecuencia en cada instante de muestreo. Tal pulso se representa en la **Figura 53b**. En la **Figura 52c** se indica el espectro de un típico pulso. En ella puede verse que el espectro de este pulso ocupa la banda  $\omega_i - 2\omega_m$  a  $\omega_i + 2\omega_m$  en donde  $\omega_i$  es la frecuencia del pulso sinusoidal. En este caso  $\omega_i = \omega_c + k_f f(t_k)$  siendo  $t_k$  el instante  $k$  de muestreo.

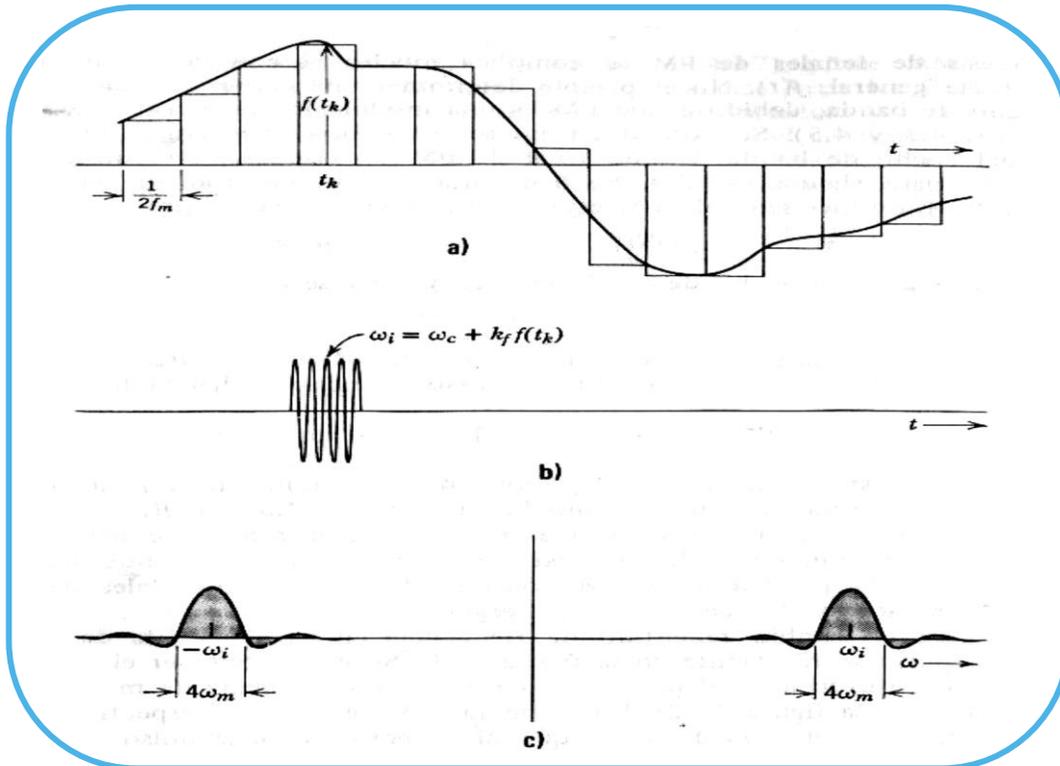
Entonces el espectro está en la región desde  $\omega_c + k_f f(t_k) - 2\omega_m$  hasta  $\omega_c + k_f f(t_k) + 2\omega_m$ . Es claro que el espectro de FM quedará centrado en el intervalo desde  $\omega_c + k_f |f(t)|_{\text{máx}} - 2\omega_m$  hasta  $\omega_c + k_f |f(t)|_{\text{máx}} + 2\omega_m$  y el ancho de banda está dado por

$$\begin{aligned} W &\simeq 2k_f |f(t)|_{\text{máx}} + 4\omega_m \\ &= 2(\Delta\omega + 2\omega_m) \quad (\text{ en rps}) \end{aligned}$$

Para **FM** de banda ancha  $\Delta\omega \gg \omega_m$  y  $W \simeq 2\Delta\omega$ . Por esto, se concluye que el ancho de banda en **FM** es aproximadamente el doble de la desviación de frecuencia  $\Delta\omega$ . Este resultado es de esperarse; si la frecuencia de portadora  $\omega_c$  tiene una desviación máxima  $\Delta\omega$ , entonces la frecuencia de la señal de **FM** varía desde  $\omega_c - \Delta\omega$  hasta  $\omega_c + \Delta\omega$ . Así que una primera estimación es que esa señal contiene frecuencias dentro de este intervalo y por lo tanto el ancho de banda será  $2\Delta\omega$ .

Se verifica esta conclusión en el caso de una señal modulante sinusoidal  $f(t)$  sea

$$f(t) = a \cos\omega_m t$$



**Figura 53.** Muestreo de una señal.

Supongamos que  $f(t)$  se aplica en  $t = 0$ ; entonces;

$$g(t) = \int f(t) dt = a \int_0^t \cos \omega_m t dt = \frac{a}{\omega_m} \text{sen} \omega_m t \quad (2.92)$$

Puesto que la frecuencia instantánea  $\omega_i$  está dada por (**Ecuación 2.65**)

$$\omega_1 = \omega_c + k_f f(t) = \omega_c + a k_f \cos \omega_m t \quad (2.93)$$

Por la **Ecuación 2.93**, la máxima desviación de la frecuencia portadora es  $a k_f$  radianes por segundo:

$$\Delta \omega = a k_f \quad (2.94)$$

Sustituyendo la **Ecuación 2.92** en la **2.87** y utilizando la **Ecuación 2.94**, obtenemos:

$$\hat{\varphi}_{FM}(t) = Ae^{j[\omega_c + (\Delta\omega/\omega_m)\text{sen}\omega_m t]}$$

La cantidad  $\Delta\omega/\omega_m$ , relación entre la desviación máxima de la portadora y la señal de frecuencia  $\omega_m$ , se llama *índice de modulación*  $m_f$ . Así pues,

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_m} = \frac{\Delta\omega}{\omega_m} = m_f \quad (2.95)$$

y

$$\begin{aligned} \hat{\varphi}_{FM}(t) &= Ae^{j(\omega_c t + m_f \text{sen}\omega_m t)} \\ &= Ae^{jm_f \text{sen}\omega_m t} e^{j\omega_c t} \end{aligned} \quad (2.96)$$

El primer término exponencial de la **Ecuación 2.83** es obviamente una función periódica de periodo  $2\pi/\omega_m$  que puede desarrollarse en serie de Fourier:

$$e^{jm_f \text{sen}\omega_m t} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m_f) e^{jn\omega_m t}$$

donde

$$C_n = \frac{\omega_m}{2\pi} \int_{-\pi/\omega_m}^{\pi/\omega_m} e^{jm_f \text{sen}\omega_m t} e^{-jn\omega_m t} dt$$

haciendo  $\omega_m t = x$ , obtenemos

$$C_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{j(m_f \text{sen}x - nx)} dx$$

La integral del segundo miembro no se puede evaluar en forma cerrada; debe integrarse al desarrollar el integrando en una serie infinita. Esta integral ya se encuentra tabulada y se denota por  $J_n(\mathbf{m}_f)$ : es la función de Bessel de primera clase y de orden  $n$ . En la **Figura 53a** se muestran las gráficas de esta función. Así,

$$e^{jm_f \text{sen} \omega_m t} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\mathbf{m}_f) e^{jn\omega_m t} \quad (2.97)$$

Además, se puede demostrar que

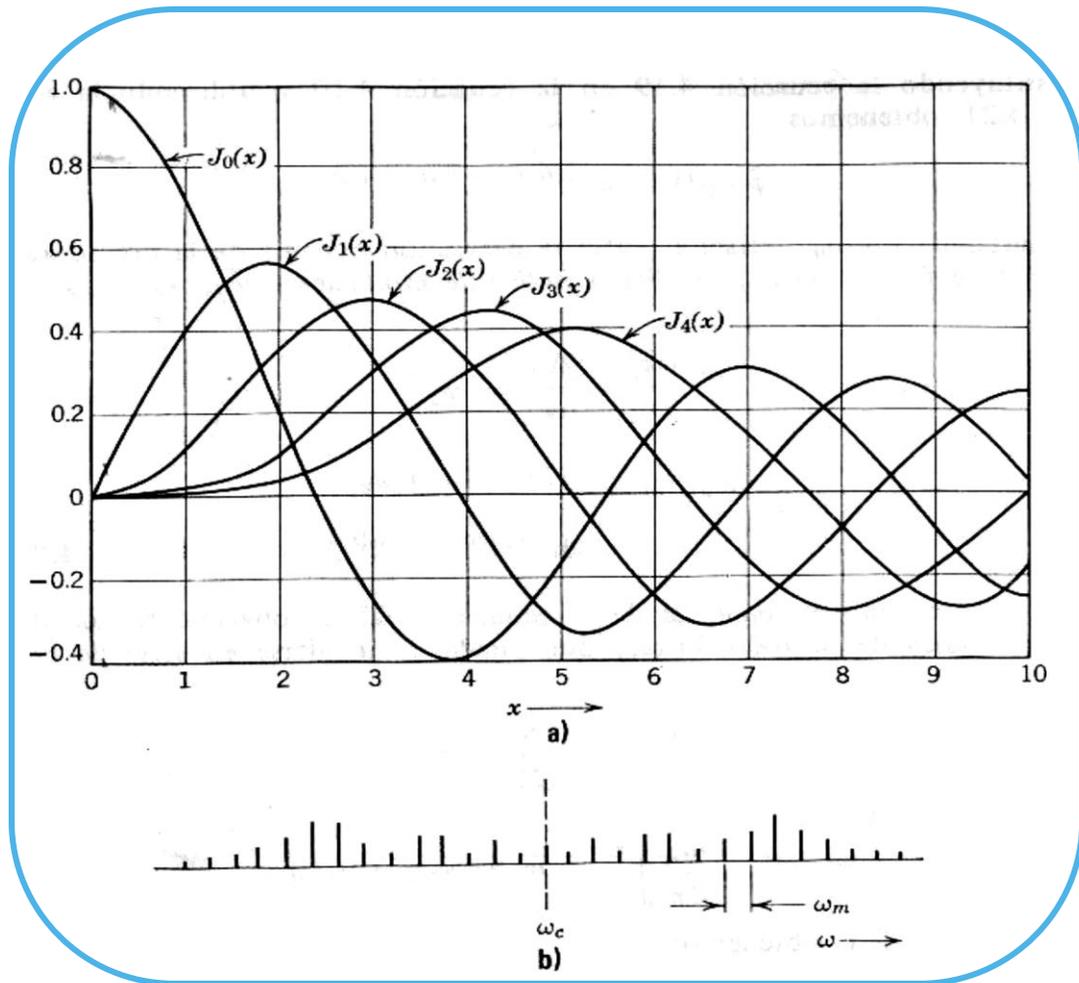
$$\begin{aligned} J_n(\mathbf{m}_f) &= J_{-n}(\mathbf{m}_f) \quad n \text{ par} \\ J_n(\mathbf{m}_f) &= -J_{-n}(\mathbf{m}_f) \quad n \text{ impar} \end{aligned} \quad (2.98)$$

Sustituyendo la **Ecuación 2.98** en **2.96**, se tiene

$$\hat{\varphi}_{FM}(t) = A e^{j\omega_c t} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\mathbf{m}_f) e^{jn\omega_m t}$$

y

$$\hat{\varphi}_{FM}(t) = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\mathbf{m}_f) \cos(\omega_c + n\omega_m)t \quad (2.99a)$$



**Figura 54.** a) Función de Bessel de primera clase. b) Espectro de FM.

Si aprovechamos las propiedades de la **Ecuación 2.98**, se puede expresar la **ecuación 2.99a** como

$$\begin{aligned}
 \hat{\varphi}_{FM}(t) = & A[J_0(m_f)\cos\omega_c t + J_1(m_f)[\cos(\omega_c + \omega_m)t - \cos(\omega_c - \omega_m)t] \\
 & + J_2(m_f)[\cos(\omega_c + 2\omega_m)t - \cos(\omega_c - 2\omega_m)t] \\
 & + J_3(m_f)[\cos(\omega_c + 3\omega_m)t - \cos(\omega_c - 3\omega_m)t] \\
 & + \dots + \dots
 \end{aligned}
 \tag{2.99b}$$

Es común usar la **Ecuación 2.99b**, pero se preferirá la **Ecuación 2.99a**, que es más compacta.

Es claro, que por la **Ecuación 2.99b**, la señal modulante  $f(t)$  de frecuencia  $\omega_m$  da lugar a bandas laterales  $(\omega_c \pm \omega_m)$ ,  $(\omega_c \pm 2\omega_m)$ ,  $(\omega_c \pm 3\omega_m)$ , ... , como se representa en la **Figura 54b**. Por lo tanto, una señal de FM contiene un número infinito de componentes y su ancho de banda es infinito. No obstante, en la práctica, las amplitudes de las componentes espectrales de frecuencia superior son despreciables y la mayor parte de la energía de la señal FM queda contenida en los componentes espectrales situados dentro de un ancho de banda finito. Esto se deduce a partir de la **Ecuación 2.81a**. Para  $m_f \ll 1$ , sólo  $J_0(m_f)$  y  $J_1(m_f)$  tiene magnitudes significativas y las funciones de orden superior  $J_2(m_f)$ ,  $J_3(m_f)$ , ... , resultan despreciables. En este caso, sólo tienen importancia las bandas laterales de primer orden. Esto corresponde por su puesto, a la FM de banda angosta estudiada en la sección precedente.

Cuando  $m_f = 2$  , las funciones  $J_5(2)$ ,  $J_6(2)$ , ... , tienen amplitudes despreciables y las componentes espectrales significativas en FM son  $\omega_c$ ,  $\omega_c \pm \omega_m$ ,  $\omega_c \pm 2\omega_m$ ,  $\omega_c \pm 3\omega_m$  y  $\omega_c \pm 4\omega_m$ . El ancho de banda de las componentes significativas es  $8\omega_m$ . A medida que se incrementa  $m_f$ , las componentes de más alto orden adquieren importancia. Si se consideran como bandas laterales significativas, aquellas cuya amplitud sea por lo menos el uno por ciento de la portadora no modulada, entonces, para todas las bandas laterales significativas,  $J_n(m_f) < 0.01$ . En la gráfica de las funciones de Bessel, se indica el número de dichas bandas laterales en diferentes valores de  $m_f$ . Puede verse en tales gráficas, que  $J_n(m_f)$  disminuye rápidamente cuando  $n > (m_f)$ .

En general,  $J_n(m_f)$  es despreciable para  $n > (m_f)$ . Esto es cierto sobre todo para valores de  $m_f \gg 1$ . Así pues,  $m_f = n$  para **FM** de **banda ancha** en donde el número de bandas laterales significativas se puede considerar como entero más cercano a  $m_f$ . El ancho de banda total  $W$  de la señal FM está dado por

$$W \simeq 2n\omega_m \simeq 2m_f\omega_m \quad [rps]$$

Pero

$$m_f = \frac{ak_f}{\omega_m} = \frac{\Delta\omega}{\omega_m}$$

Entonces

$$W \simeq 2n\omega_m = 2\Delta\omega \quad [rps] \quad (2.100)$$

En realidad,  $W = 2(\Delta\omega \pm 2\omega_m)$  es una expresión más exacta que  $2\Delta\omega$ . Por lo tanto, se tiene:

$$W \simeq 2(\Delta\omega + 2\omega_m) \quad (2.101)$$

Esta regla constituye una buena estimación en el caso de FM de banda ancha. Para sistemas de FM de banda angosta, donde  $\Delta\omega \ll \omega_m$ , el ancho de banda es aproximadamente  $2\omega_m$ ; por eso, el ancho de banda requerido para la transmisión de una señal de FM es aproximadamente el doble de la máxima desviación de frecuencia de la portadora.

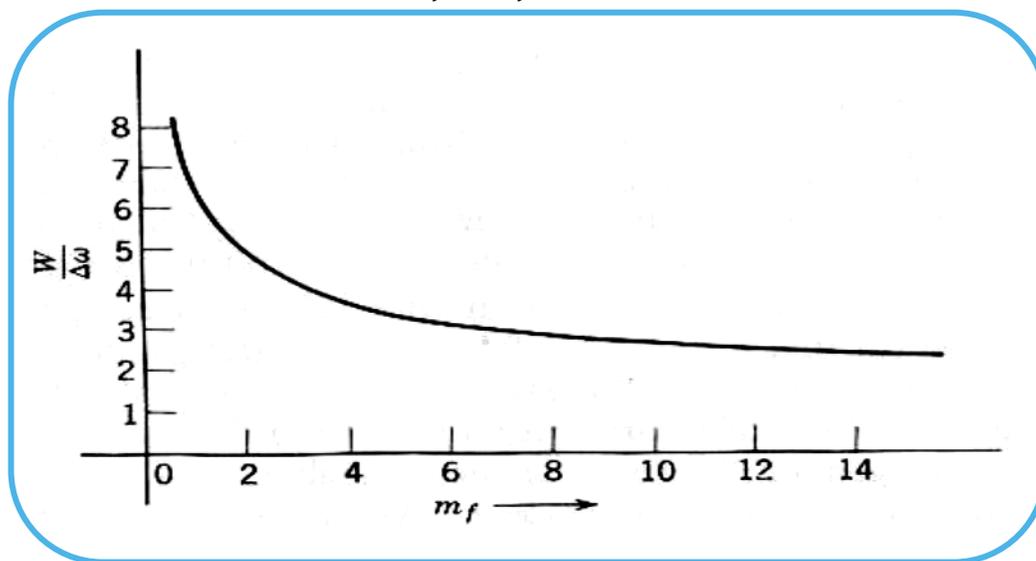
En la **Figura 54** se ilustra la relación exacta entre la razón de  $W$  a  $\Delta\omega$  y la desviación de la frecuencia de la portadora como función de  $m_f$ . A partir de esta figura resulta

evidente que para de  $m_f \gg 1$  el ancho de banda  $W$  es aproximadamente el doble de la desviación.

La **Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, 2014)** ha fijado en 75 KHz el máximo valor de  $\Delta f$  (desviación de frecuencia) para estaciones de FM de radiodifusión comercial. Por tanto, el ancho de banda requerido es aproximadamente 150 KHz.

A partir de la **Figura 55**, se deduce que para FM de banda ancha ( $m_f \gg 1$ ) el ancho de banda necesario para transmitir tiende a  $2 \Delta \omega$  radianes por segundo o a  $2 \Delta f$  Hz. Como

$$\Delta \omega = a k_f = m_f \omega_m \quad (2.102)$$



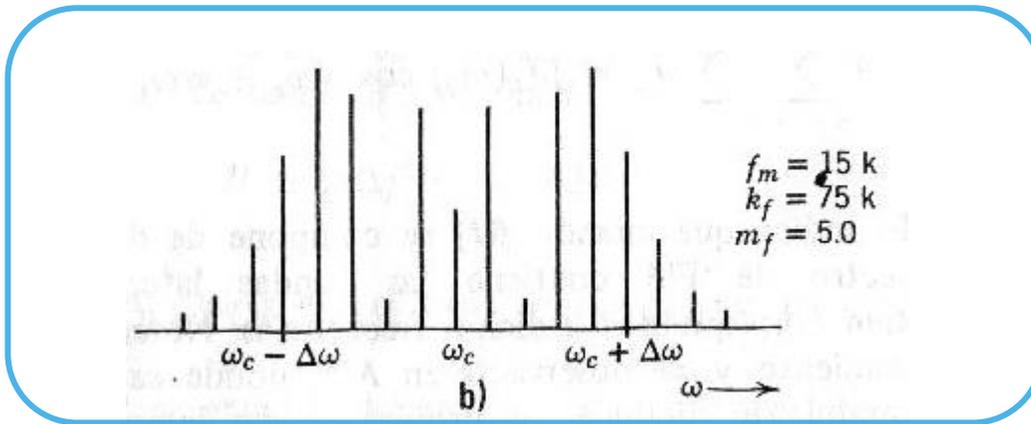
**Figura 55.** El BW de una señal de FM en función del índice de modulación.

cuando crece  $m_f$ , se incrementa proporcionalmente  $\Delta \omega$ , para un valor constante de  $\omega_m$ . Esto se muestra en la figura 4.6a, donde  $\omega_m$  es constante ( $f_m = 5$  KHz), junto con los espectros de una señal de FM para  $m_f = 1, 2, 5$  y  $10$ , en los cuales las

desviaciones de frecuencia ( $\Delta f$ ) son respectivamente 5, 10, 25 y 50 KHz. Observe que el ancho de banda es aproximadamente  $2 \Delta f$  para los valores más alto de  $m_f$ .

En la **Figura 56**, se ilustra el caso de una desviación de frecuencia  $\Delta f = 75$  KHz y  $m_f$  varía de 10 a 5, cuando  $f_m$  varía de 7.5 a 15 KHz. En cualquier caso, el ancho de banda **B** aproximado es

$$B \approx 2\Delta f = 150\text{Khz} \quad (2.103)$$



**Figura 56.**  $\Delta f = 75$  KHz.

A continuación se presenta la diferencia entre la modulación en AM y la FM, destacando la ventaja de usar **Frecuencia Modulada** para fines de **Radiodifusión**.

#### **2.2.3.4 Comparativa AM y FM.**

---

Es recomendable usar *Modulación en Frecuencia (FM)* en los sistemas de radiodifusión, en vez de la *Modulación en Amplitud (AM)*, porque las señales de modulación de amplitud son más sensibles a procesos no lineales de la amplitud, inherentes en amplificadores *VHF* de banda ancha. Las señales de frecuencia modulada son relativamente insensibles a este tipo de distorsión no lineal y pueden ser transmitidas a través de amplificadores que tienen compresión o amplitud no lineal con pocas restricciones. Además, las señales de FM son menos sensibles al ruido aleatorio y se pueden propagar con menos potencia de transmisión.

Un factor importante al diseñar sistemas de radio de FM es el ***ruido de intermodulación***. En los sistemas de AM, la amplitud del repetidor no lineal causa el ruido de intermodulación. En los sistemas de FM, la causa principal del ruido de intermodulación es por la ganancia de transmisión y la distorsión por retardo. En consecuencia, en los sistemas de AM, el ruido de intermodulación es una función de la amplitud de la señal, pero en los sistemas de FM es una función de la amplitud de señal y de la magnitud de la desviación de frecuencias. De esta manera, las características de las señales de ***Frecuencia Modulada*** son más aptas para las transmisiones en VHF, que las señales de ***Amplitud Modulada***.

En esta sección se estudió lo referente a la teoría de la radiocomunicación en frecuencia modulada y sus antecedentes matemáticos. En el siguiente subcapítulo, se analizarán los reglamentos y oficios relacionados con la legalidad, en torno a las concesiones e instalaciones de estaciones de radio. De manera específica, se tratará el cambio de frecuencia central y de tecnología, de AM a FM (**IBARRA, 1995**).

## 2.3 Marco Legal.

---



**Figura 57.** Órgano encargado de publicar el Diario Oficial de la Federación.

En esta investigación ya se han expuesto los fundamentos filosóficos y matemáticos. En este subcapítulo se presentan los procesos legales que permiten realizar el cambio de frecuencia de 950 KHz de AM a 106.3 MHz, que fue la frecuencia asignada por la *Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL*, ahora Instituto Federal de Telecomunicaciones) a Grupo Fórmula en año 2010. A continuación se describe el marco legal.

El *Diario Oficial de la Federación (DOF)* publicó el día 15 de septiembre del 2008 el **“Acuerdo por el que se establecen requisitos para llevar a cabo el cambio de frecuencias autorizadas para prestar el servicio de radio y que operan en la banda de Amplitud Modulada, a fin de optimizar el uso, aprovechamiento y explotación de un bien del dominio público en transición a la radio digital” (DOF, 2008).**

Con base en esta disposición, los concesionarios o permisionarios, tienen la posibilidad de migrar su frecuencia de

AM a FM, de acuerdo con sus posibilidades de inversión para adquirir equipos transmisores y sistema de radiación, todo esto considerando las alternativas de estándares digitales. Y como en el capítulo anterior se mencionó, las características de las señales de **Frecuencia Modulada** son más aptas para las transmisiones en VHF que las señales de **Amplitud Modulada**, ya que la calidad de las señales de radio FM son relativamente insensibles al ruido en comparación de AM, lo que favorece un servicio de mayor calidad al público. Puesto que este servicio requiere de un mayor ancho de banda para operar eficientemente, es necesario adecuarse a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana, con la finalidad de brindar un servicio de calidad.

La norma que regula la instalación de las estaciones de radiodifusión en México, es la **NOM-02-SCT1-93** y fue diseñada por un grupo de organizaciones públicas y privadas. Fue asentada en el **Diario Oficial de la Federación** por primera vez el 11 de noviembre de 1993, bajo el título:

***"Especificaciones y requerimientos para instalación y operación de estaciones de radiodifusión sonora en la banda de 88 a 108 MHz; con portadora principal modulada en frecuencia"***.

El 1 de enero del año 2000 sufrió su primera modificación y el 22 de noviembre tuvo otra actualización. Después, al subsistir pocas copias de esa edición, y al hacer la revisión de ésta, se determinó que era obsoleta en términos de lo previsto en el Artículo 51 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y a solicitud del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Radiodifusión, Telegrafía y Servicio Postal, se procedió a su modificación, donde su título fue cambiado, y su contenido fue actualizado.



**Figura 58.** Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

El 3 de mayo del 2004 se publica nuevamente la norma en el *Diario Oficial de la Federación*, bajo el título:

**NORMA OFICIAL MEXICANA: NOM-02-SCT1-1993,  
ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA LA  
INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE ESTACIONES DE  
RADIODIFUSIÓN SONORA EN F.M.**

Esta norma fue elaborada a cargo del Ing. Jorge Álvarez Hoth, quien fungió como Subsecretario de Comunicaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Para cumplir el *objetivo* de esta investigación, esta norma fue consultada y analizada, con el fin de tomar en cuenta los estándares relacionados con la instalación de una estación de radio para llevarlos a cabo, pero al estudiarla se ha concluido que esta norma **no brinda especificaciones técnicas precisas de cómo se debe hacer una instalación de radiodifusión adecuada**, sólo menciona a modo teórico los conceptos básicos en la semántica de radiodifusión, y el proceso legal que se debe llevar para tener reglamentada las estaciones.

De acuerdo con lo anterior, en esta investigación se propone definir un proceso de instalación de una señal de FM, tomando en cuenta la Norma Oficial Mexicana, manuales de proveedores y consultas a peritos, para la correcta instalación de un sistema de radiodifusión en FM.

Todo el desarrollo del proceso se implementará en un **caso de estudio** que se seleccionó para esta investigación, y es el que presentó la empresa Grupo Fórmula, al solicitar su cambio de frecuencia de AM a FM.

Grupo Fórmula es una radiodifusora con cobertura nacional, que hasta el momento consta de 35 estaciones propias y 48 afiliadas aproximadamente, distribuidas en toda la República Mexicana. Es por eso que se elige como caso de estudio el proceso de instalación de una de sus frecuencias en el puerto de Acapulco, Gro. Dado que la empresa mencionada, cumplió con los requisitos legales y la normatividad exigida, la **COFETEL**, por medio de la Secretaría Técnica del Pleno, autorizó el cambio de la frecuencia concesionada el 3 de noviembre del 2010 (**CFT, 2010**), conforme a las siguientes condiciones:

**Primera.**- Se modifica la frecuencia asignada y sus características de operación, conforme a las características técnicas registradas a la estación:

Frecuencia: **106.3 MHz.**

Distintivo de llamada: **XHACA-FM.**

Ubicación de equipo transmisor: **Acapulco, Gro.**

Área de cobertura: **Acapulco, Gro. Y localidades comprendidas dentro del contorno de 60 dBu.**

Potencia: **25.0 KW radiada aparente (Comunicación).**

Sistema radiador: **No Direccional.**

Horario de funcionamiento: **24 horas.**

**Segunda.**- Los trabajos de instalación y de las operaciones de pruebas, materia de esta autorización, y en atención a lo dispuesto en el artículo 45 de la Ley Federal de Radio y Televisión, se deberán realizar dentro de un plazo de 180 días hábiles, y de acuerdo con las características técnicas registradas a la estación, así como ajustarse a las siguientes especificaciones.

Ubicación de la planta transmisora: **Domicilio conocido Cumbres de Llano Largo, Acapulco, Gro.**

Coordenadas Geográficas: **L. N.: 16°49'29", L. W.: 99°49'55".**

Altura del centro de radiación de la antena sobre el nivel del terreno: **95 metros.**

Altura sobre el nivel del mar del lugar de instalación: **380 metros.**

Altura del centro de radiación de la antena con relación al terreno promedio entre 3 y 16 km (AATP): **408 metros.**

Potencia de operación del equipo: **9.4 KW (NOM-02, 1993).**

## 2.4 Estado Actual<sup>50</sup>.

---

Las bases para el escenario de las telecomunicaciones, se han construido en los últimos años. Hoy en día los permisionarios y concesionarios, cuentan con los refrendos de sus concesiones, lo que garantiza la seguridad jurídica para invertir en infraestructura y tecnología en los próximos años.

En materia de transición tecnológica, el gobierno otorgó frecuencias de FM a cambio de sus frecuencias de AM. Esta decisión impactará en las audiencias y en la inversión publicitaria hacia este medio de comunicación, porque en la medida que haya más auditorio cautivo, que se prevé se gane con el sonido de alta calidad de la FM y una nueva oferta de contenidos, aumente el interés de los anunciantes.

Es importante recalcar que ya se está implementado la radio digital, también conocido como el sistema *In Band On Channel* (IBOC)<sup>51</sup>, este medio de comunicación comienza una transición que será lenta, tal y como ha sucedido en Estados Unidos, pero que da un aliento para competir en mejores condiciones técnicas frente a los demás medios digitales. En la capital del país ya se pueden escuchar transmisiones digitales, y en multicanal de estaciones de grupos comerciales como Imagen, Radio Fórmula y Grupo Radio Centro. Lo mismo sucede ya en otras ciudades. En el 2013 los concesionarios y permisionarios tendrán que invertir en la radio digital, a precios más accesibles que los actuales, y hacer campañas convincentes de los beneficios tecnológicos de la implementación del sistema IBOC.

---

<sup>50</sup> El **Estado Actual** también es llamado también *marco referencial*.

<sup>51</sup> **IBOC** es un sistema de *broadcast* digital desarrollado por *Ibiquity Digital Corporation*. La principal característica de este sistema de radiodifusión digital es la permisividad de envío híbrido, es decir, la convivencia de señal analógica y digital, lo que permite una transición gradual de sistema analógico a digital en la zona geográfica donde se aplique **(FCC, 2013)**.

La radio converge con internet cada vez más y el 2014 no será la excepción, un alto porcentaje de las estaciones de AM y FM retransmiten sus contenidos por internet. Sin embargo, muchas de estas estaciones no han adoptado las aplicaciones para que sus transmisiones se puedan escuchar en dispositivos móviles.

El Instituto Federal de Telecomunicaciones (antes **COFETEL**) y el Gobierno Federal en su conjunto, a partir del presente año, tendrán que tomar tres decisiones fundamentales: la primera es la licitación de frecuencias de radio (Yucatán, Campeche y Quintana Roo); la segunda, es la modificación a la **Norma Oficial Mexicana (NOM)** de estaciones de FM para reducir de 800 KHz a 400 KHz el espacio entre dos emisores en operación; y la tercera, se relaciona con la devolución de frecuencias de AM. En este tema es impostergable una mayor transparencia, ya que no se sabe a ciencia cierta cuantos concesionarios y permisionarios están obligados a reintegrar al estado esos canales; tan sólo en el año 2012, más de 300 estaciones de FM tendrán más de un año transmitiendo simultáneamente con AM, y se habrá cumplido el plazo para devolver las frecuencias en principio otorgadas, **"salvo que en la cobertura de la estación de AM se encuentren poblaciones que únicamente reciben el servicio de AM" (COFETEL, 2011)**.

En el capítulo siguiente, se dará respuesta a la interrogante: ¿**Cómo** analizar la instalación de una señal de radio FM?

Para contestar a la pregunta, se desarrollará el proceso de instalación de una frecuencia en FM, con base en las normas y requerimientos que marca la ley mexicana, donde se diseñará una metodología para aplicarla posteriormente.



### **3. Proceso de Instalación.**

## 3. Proceso de Instalación.

---



- 3.1 Generalidades.
- 3.2 Macroproceso.
- 3.3 Obra Civil y Subprocesos.
  - 3.3.1 Elección del Terreno.
  - 3.3.2 Estudio de Radio.
  - 3.3.3 Sitio de Transmisores.
  - 3.3.4 Torre de Comunicación.
- 3.4 Sistema Eléctrico y Subprocesos.
  - 3.4.1 Acometida.
  - 3.4.2 Protección.
  - 3.4.3 Conmutación.
  - 3.4.4 Generación.
  - 3.4.5 Distribución.
- 3.5 Radiodifusión y Subprocesos.
  - 3.5.1 Ensamble.
    - 3.5.1.1 Grabación.
    - 3.5.1.2 Locutores.
    - 3.5.1.3 Operadores.
  - 3.5.2 Transmisión FM.
    - 3.5.2.1 Procesador.
    - 3.5.2.2 Excitador.
    - 3.5.2.3 Transmisor.
    - 3.5.2.4 Líneas.
    - 3.5.2.5 Antena.
- 3.6 Metodología DP-LGCD<sup>®</sup>.

## 3. Proceso de Instalación.

---



En este capítulo se describe el proceso de instalación de una señal de radio en frecuencia modulada, y se elabora una metodología para su implementación.

A continuación se establecerán las generalidades que todo proceso requiere.

### 3.1 Generalidades.

---

Con la aparición de la revolución industrial, aunado al desarrollo tecnológico presentado en los inicios del siglo pasado, la filosofía de la tecnología incorporó términos propios, a entes ideales que se concebían como parte de las actividades en las nuevas formas de trabajo. Aparecen entonces palabras como *industria, empresa, sistemas, planta*, entre otras.

Otra de las consecuencias de estos hechos, fue el nuevo significado que comenzaron a tener términos que ya existían, y que fueron ampliándose en categorías semánticas más generales. El concepto mismo de *trabajo, producción, calidad*, entre otros, así lo demuestran **(QUINTANILLA, 2005)**.

Uno de estos términos fue el de **proceso**, cuya antigüedad según el *Diccionario Webster*, data desde la Edad Media, concretamente en el siglo XIV **(WEBSTER, 2013)**.

Según la *Real Academia Española (RAE, 2013)*, la palabra **proceso** (del latín *processus*), tiene como acepciones:

1. *m. Transcurso del tiempo.*
2. *m. Conjunto de las fases sucesivas de un fenómeno natural de una operación artificial.*

Mientras que el *Diccionario del Español de México*, del Colegio de México (**DEM, 2013**), define a la palabra **proceso**, con las siguientes acepciones:

1. *Conjunto de los cambios y las modificaciones que se producen en las características o en la naturaleza de algún objeto, o de algún fenómeno, durante su evolución o desarrollo.*
2. *Conjunto de los cambios o las transformaciones que sufre algún material o alguna sustancia, durante el tratamiento al que se lo somete, y este tratamiento.*

Según el *análisis de procesos*, un **proceso** puede ser concebido de manera equivalente a un *sistema*, es decir, es el *conjunto de actividades y recursos, interrelacionados, que transforman elementos de entrada en elementos de salida, aportando valor añadido para el usuario o cliente (BISCHOFF, 1992).*

En la **Figura 59** se muestra el esquema de un **proceso**, usando el enfoque de sistemas con el paradigma de la *caja negra*<sup>52</sup>, mediante un *diagrama de bloques*.

---

<sup>52</sup> La **caja negra** es una metáfora para designar aquel elemento estructural de un modelo abstracto sobre el funcionamiento de un sistema que se halla entre la entrada (*input*) y la salida (*output*) (**Webster, 2013**).



**Figura 59.** Esquema de un Proceso.

Tomando como referencia la última definición, y siguiendo la postura *tecno-metafísico en lo general, y óptico-tecnológico en lo particular*, adoptada en el **Apartado 2.1** de los **Fundamentos Filosóficos** de esta investigación, se definirá a un **proceso**, de la siguiente forma:

*"Un conjunto de actividades<sup>53</sup> organizadas entre sí, que se realizan<sup>54</sup> desarrollándose en etapas, bajo ciertas circunstancias, con una finalidad determinada".*

Según **BOCARDO (2006)**, algunos *aspectos* a considerar en un proceso son: nombre, entrada(s), salida(s), actividades, tareas, funciones, fases, factores, características, pasos, elementos, componentes, **etapas**, etcétera.

Con los rasgos anteriores, inicia el **diseño del proceso**.

El aspecto que se tomará en cuenta para el análisis del *proceso de instalación de una señal de radio en frecuencia modulada*, es considerar al proceso desarrollado en **etapas**.

Como existe una *jerarquía* de sistemas, de manera equivalente, existe una *jerarquía de los procesos*. Las diferentes *clases* jerárquicas son el *macroproceso*, el *proceso*,

<sup>53</sup> Actividades como eventos, sucesos, recursos, operaciones, técnicas, métodos, entre otras.

<sup>54</sup> Se realizan de manera secuencial, alternativa, simultánea, o retroactivamente, o alguna combinación de las anteriores.

*subproceso, y por último, las tareas-funciones (MOLINEAUX, 2000).*

Un **macroproceso** es el conjunto de todos los procesos que se realizan secuenciales, alternativos, simultáneos, retroactivamente o alguna combinación de las anteriores **BOCARDO (2006)**.

Por ejemplo, un macroproceso aplicado a la ingeniería en telecomunicaciones, puede ser la expansión de la **cobertura radial de una emisora**.

A cada uno de los procesos que se toman en cuenta, se le conoce como **procesos** simplemente.

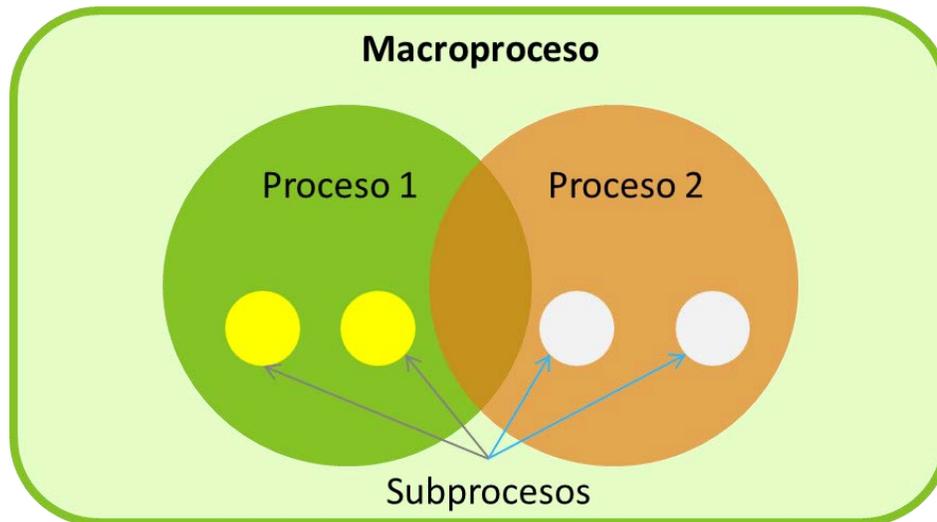
Siguiendo con el ejemplo, algunos procesos incluidos dentro del macroproceso de la expansión de la cobertura radial de una emisora, pueden ser la instalación de los elementos:

- *Normatividad.*
- *Torre.*
- *Transmisor.*
- *Línea de transmisión.*
- *Cabinas*, entre otros.

Si a un proceso se le distingue conformado por otros procesos, a estos últimos, se les llama **subprocesos (TANENBAUM, 2003)**.

Con el mismo ejemplo, algunos subprocesos asociados a **la instalación de una torre**, pueden ser:

- *Cumplir con la normatividad legal.*
- *Etapas de ensamblado de una antena.*
- *Conexión de la línea de transmisión a la antena,* etcétera.



**Figura 60.** Diagrama de Venn de la jerarquía de procesos.

En la literatura, un proceso por ser un conjunto, puede ser graficado, usando las representaciones ordinarias de conjuntos, tales como los *diagramas de Venn-Euler*, los *diagramas sagitales*, los *mapas de Karnaugh*, las *gráficas cartesianas*, entre otras.

Por ejemplo, utilizando los *diagramas de Venn<sup>55</sup>-Euler<sup>56</sup>*, el macroproceso podría ser representado como un conjunto universo, mientras que los procesos y subprocesos, como conjuntos y subconjuntos respectivamente. En la **Figura 60** se muestra un diagrama de Venn.

Para lograr una visión en conjunto, resulta necesario realizar una clasificación en *niveles* de subprocesos: **estratégicos, operativos o claves, y de soporte (TANENBAUM, 2003).**

<sup>55</sup> **John Venn** (1834-1923) fue un matemático y lógico británico miembro de la Real Sociedad de Londres. Destacó por sus investigaciones en lógica inductiva.

<sup>56</sup> **Leonhard Paul Euler** (1707-1783) fue un matemático y físico suizo. Se trata del principal matemático del siglo XVIII y uno de los más grandes y prolíficos de todos los tiempos.

Los **procesos estratégicos**: son aquellos que mantienen y despliegan las políticas y estrategias de la unidad o servicio. Proporcionan directrices y límites de actuación, al resto de los procesos. Dan los parámetros y estrategias de instalación del sistema, los cuales proporcionan el inicio y el final de cada proceso **(SÁNCHEZ, 2003)**. Son los fundamentos que justifican los requerimientos del sistema, los cuales están ligados a los parámetros que dictan las normas de las telecomunicaciones. Ejemplos:

- *Conocimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-02-SCT1-93, ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE ESTACIONES DE RADIODIFUSIÓN SONORA EN FM.*
- *Gestión de permisos para colocar una torre de radio a la Dirección General de Aeronáutica Civil de la SCT.*
- *Presentación de la documentación ante el órgano regulador de las Telecomunicaciones en el país.*
- *Implementar las disposiciones gubernamentales de transmisión de una frecuencia de radio autorizada.*

Los **procesos operativos o claves**: son aquellos que justifican la existencia de la unidad o servicio. Están directamente ligados a los servicios que se prestan y orientados a los clientes/usuarios y a los requisitos. En general, suelen intervenir varias áreas funcionales en su ejecución y son los que pueden conllevar los mayores recursos **(PÉREZ, 1999)**. Algunos ejemplos son:

- *Preparación de Obra Civil para la instalación de una nueva frecuencia en FM.*
- *Implementación del Sistema Eléctrico adecuado para la transmisión de una señal de radio.*
- *Equipamiento adecuado para el Estudio de Radio.*

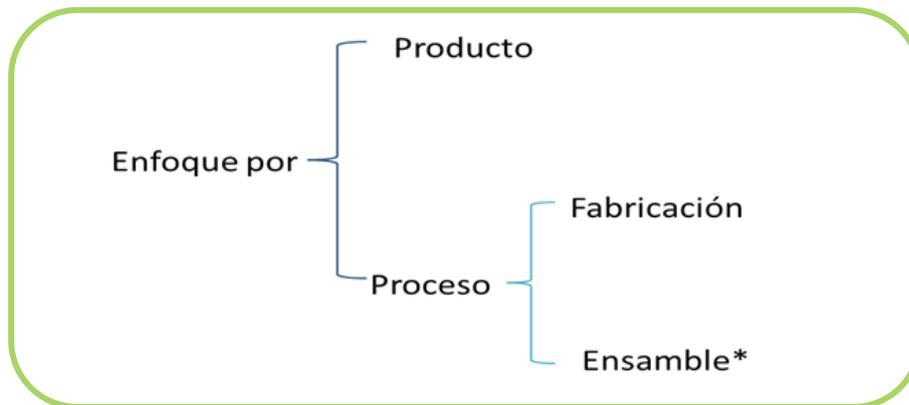


**Figura 61.** Bulbo YU148.

Los **procesos de soporte**: son aquellos que sirven de apoyo a los procesos clave. Sin ellos, no serían posibles los procesos clave ni los estratégicos. Estos procesos son, en muchos casos, determinantes para que puedan conseguirse los objetivos del servicio o unidad (**PÉREZ, 1999**). Ejemplos:

- *Del departamento de mantenimiento de una radiodifusora: el proceso de cambio de filtros de aceite, diésel y empaques para la planta de emergencia.*
- *Programación de mantenimiento preventivo y/o correctivo del sistema de transmisión de una estación de radio.*
- *Evaluar con pruebas de funcionamiento: Voltajes, Corrientes, Potencia de salida, Potencia reflejada, Módulos de potencia, Prueba de sistema de emergencia, Diagrama de cobertura y Modulador FM, entre otros.*
- *Revisión del sistema de transmisión de una emisora de radio por peritos autorizados por IFT.*
- *Compras de Bulbos de potencia triodo YU148/3CX6000A7 mostrado en la **Figura 60**, como parte del equipo para el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de transmisión de una radiodifusora (**RICHARDSON, 2014**).*
- *Formación de personal técnico operativo para el sistema de Transmisión de una emisora radiofónica.*

En cada proceso particular, se definen las **etapas** que lo conforman. Para el desarrollo de cada etapa, se siguen una serie de **tareas** y/o **funciones** destinadas al cumplimiento o logro del proceso (la salida).



**Figura 62.** Clasificación de los procesos.

Las **áreas o fases de estudio** de los procesos son variadas, pues van desde el diseño, la planeación, la identificación, la selección, el análisis, el control, el diagnóstico o evaluación, la normalización, la estandarización, la revisión, la implantación, la ejecución, la síntesis o integración, la comparación, la optimización, la administración, la gestión, la **ingeniería**, etc. El aspecto de **Ingeniería de Procesos** es el que fundamentalmente se adoptará para el estudio del proceso de instalación de una señal de FM. Vea la **Figura 62**.

La **Ingeniería de Procesos**, es un conjunto de **etapas**, en una secuencia determinada e íntimamente ligadas, que concurren a un objetivo común, que en este trabajo en particular, será la instalación de una señal de FM.

Existen diversas clasificaciones de los procesos. En ingeniería, los procesos se pueden clasificar siguiendo uno de los siguientes enfoques (**RUDD, 1982**):

Un *proceso por producto*, se caracteriza por que se diseña para producir un determinado bien o servicio. Por ejemplo, la cabina de grabaciones de una estación de radio, es la encargada de editar todos y cada uno de los audios que van a ser transmitidos al aire **(RUD, 1982)**.

Un *proceso de fabricación*, es aquel en el cual existe una transformación de materia prima **(DEGARMO, 1988)**. Por ejemplo, en la transformación de un cristal de cuarzo a un sintetizador de FM que es usado en un transmisor ECO 22 con potencia de 5kW-27.5kW **(ENERGY, 2014)**.

Un *proceso de ensamble* se produce cuando se combinan partes para conformar un producto **(DEGARMO, 1988)**. Por ejemplo, en la industria de la radio, hay partes que se ensamblan para conformar un transmisor tales como las tarjetas de control, módulos de potencia, fuente de poder.

En este trabajo de investigación se requiere instalar una señal de FM, por lo que el proceso a aplicar es de **ensamble** ya que se requieren de varios componentes y elementos para llevar a cabo el proceso de instalación de una señal de FM.

El desarrollo de procesos en la ingeniería se aplica en todo momento y el proceso de instalar una frecuencia de **FM** no es la excepción, para esto es indispensable saber cómo se integra una estación de radio, sus características y normas que se deben cumplir.

En el siguiente apartado se presenta el macroproceso de instalación de una señal de FM, describiendo los procesos y tareas que lo componen.

## 3.2 Macroproceso.

---

Con base en la jerarquía de **MOLINEAUX (2000)**, el *Macroproceso* concreto de estudio en este trabajo es:

### ***La Instalación de una señal de FM.***

En el desarrollo de este macroproceso, intervinieron distintas instituciones públicas y privadas, y los procesos que se generaron, fueron diseñados, organizados y unificados, por los autores de esta tesis. Esta aportación constituye una solución al problema de investigación, mencionado en el **Capítulo 1, Sección 1.1**, de este trabajo de tesis.

A continuación se enumeran los procesos que lo conforman:

- 1. Obra Civil.**
- 2. Sistema Eléctrico.**
- 3. Radiodifusión.**

Se presentan en este orden, tomando en cuenta que primero se debe realizar la obra civil de los sitios de telecomunicaciones, lugar donde van a estar alojados los equipos de transmisión y sistemas eléctricos (planta de emergencia).

Para el proceso de radiodifusión, se instalan los equipos de *transmisión*, que son los encargados de tomar la información de la fuente, procesarla y enviarla en dirección a la *antena*. La **Figura 63** muestra el esquema conceptual de dicho *Macroproceso*.

# “Proceso de Instalación de una Señal de FM mediante un Caso de Estudio”

## 3. Proceso de Instalación.

### 3.1 Generalidades.

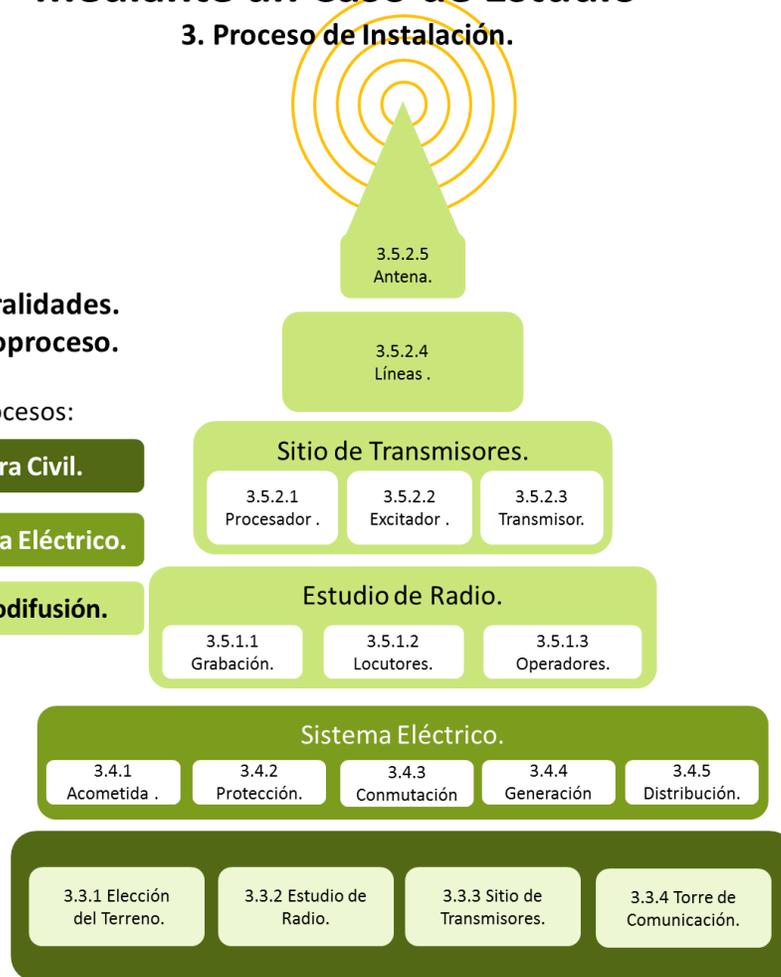
### 3.2 Macroproceso.

Subprocesos:

#### 3.3 Obra Civil.

#### 3.4 Sistema Eléctrico.

#### 3.5 Radiodifusión.



**Figura 63.** Diagrama Piramidal del Macroproceso.

A continuación se describirán cada uno de los procesos antes mencionados y sus correspondientes subprocesos.

### **3.3 Obra Civil y Subprocesos.**

---

Una *obra civil* es una actuación del hombre en la naturaleza que es utilizada para dotar de beneficios a la sociedad **(BENLLOCH, 2004)**.

En esta etapa se diseñan y construyen los sitios donde van a estar alojados los equipos de comunicación y los equipos de soporte, conformando el *proceso de instalación de una señal de FM*.

La *obra civil* es llevada a cabo por *ingenieros civiles*, quienes hacen el diseño y realizan los cálculos necesarios para la construcción de los diferentes elementos que contiene este proceso. En este proceso se incluye la instalación eléctrica (iluminación y contactos) así como la instalación de aire acondicionado dentro del inmueble.

De este proceso, se generan los siguientes subprocesos:

- **Elección del Terreno.**
- **Estudio de Radio.**
- **Sitio de Transmisores.**
- **Torre de Comunicación.**

A continuación se desarrollarán cada una de los subprocesos.

### 3.3.1 Elección del Terreno.

---

Según **LAROUSSE (2012)** un terreno es un espacio de tierra más o menos extenso y por lo general delimitado, destinado a un uso concreto.

La elección del terreno para la ubicación de una estación de radio, depende de una serie de tareas que determinarán el alcance de la señal a transmitirse.

Una de las tareas que se deben prever antes de construir una estación de radio, es la de buscar un terreno que se sitúe en un lugar elevado, ya que entre más alto se sitúen las antenas de transmisión, mayor será el área de cobertura.

El territorio mexicano cuenta con una orografía<sup>57</sup> diversa **(INEGI, 2014)**. Muchas ciudades cuentan con elevaciones (cerros) que son aprovechados para construir sitios de transmisión, o estaciones de radio completas, y así cubrir áreas más grandes.

En particular, en la ciudad de Acapulco, lugar donde se desarrollará el caso de estudio, se presentan elevaciones de hasta 500 metros, cerca de la zona urbana **(GE, 2013)**, que ya están siendo aprovechados por estaciones de radio.

En el caso de que la ciudad este asentada sobre una planicie, se aprovecha la altura de edificios ya construidos para instalar las torres, o en el último de los casos se puede buscar un terreno amplio para construir una torre lo suficientemente alta para cubrir la mayor área de radioescuchas.

---

<sup>57</sup> **Orografía** según el diccionario de la RAE se refiere tanto a las elevaciones que puedan existir en una zona en particular (región, país, etc.) como a la descripción de las mismas que realiza la geomorfología. La orografía sirve para comprender el relieve de una región o zona relativamente pequeña, por lo que su representación cartográfica en mapas a gran escala (1:100.000, 1:50.000 o mayor) sirve de manera efectiva para planear obras de infraestructura (por ejemplo, el estudio de pendientes en el trazado de una carretera o de una línea de ferrocarril, en el diseño de una represa o de un puente, etc.). Además, el estudio geológico y topográfico del relieve permite conocer muchas de las características que tienen aplicaciones prácticas en el campo de la investigación del suelo y del subsuelo, de los recursos hidráulicos, minerales, agrícolas y económicos en general de la zona de que se trate **(RAE, 2013)**.

La ubicación del terreno en una elevación alta (cerro) debe establecerse de acuerdo con la Ley de planificación y zonificación de protección ambiental y los reglamentos respectivos del municipio.

Se deben tomar en cuenta las facilidades y las regulaciones que tiene el lugar para la instalación del sitio. Además, es conveniente verificar si hay caminos establecidos, y si se cuenta con electricidad en la zona **(PLAZOLA, 1994)**.

Otra tarea a considerar es, que los sitios de transmisión deben ser situados lo más cercano a la ciudad, que es el lugar donde se concentra la mayor cantidad de radioescuchas.

Antes de proceder a elegir el tamaño del terreno, es preciso determinar, si el espacio funcionará sólo para llevar a cabo la transmisión, o si se construirá la estación de radio completa. El edificio de estudio de radio y oficinas pueden estar dentro de esta área de terreno elevada (cerro) o no, esto depende de si el terreno se encuentra en una zona muy alta y lejana que impida que el personal suba a laborar con facilidad. Cuando sea peligroso o de difícil acceso al personal para subir al terreno, o bien cuando esté muy alejado, se procede a construir sólo el sitio de transmisores y a montar la torre. Cabe mencionar que estas decisiones las tomará personal de la gerencia de la estación de radio. A continuación se presentan dos posibles criterios de cómo se debe seleccionar el terreno:

## **a) Estación de Radio completa.**

Si se desea construir la estación de radio completa, significa que el terreno cuenta con fácil acceso para los trabajadores de la estación, y que se cuenta con las dimensiones necesarias para la construcción de la partida completa. A continuación se enumeran los principales espacios que se necesitan para poder seleccionar el mínimo de área de terreno:

- 1. Sitio de transmisores.*
- 2. Área para planta de emergencia.*
- 3. Área de maniobras.*
- 4. Espacio para ampliaciones futuras y seguridad<sup>58</sup> (opcional).*
- 5. Edificio del estudio de radio, oficinas<sup>59</sup> y Estacionamiento.*
- 6. Área de torre.\**

El área del sitio de transmisores se determina de acuerdo con el número de frecuencias que se van alojar, dado que por cada frecuencia se debe instalar un transmisor que ocupa cierto espacio dentro del sitio.

El área destinada para ubicar la planta de emergencia es parecida en mucho de los casos, y es alrededor de  $3 \times 2 \text{ m}^2$ .

La altura de la máxima de la torre (Arriostrada) es proporcional al área de terreno obtenido, es decir, la altura se ajusta al área del terreno mediante la **Ecuación 3.3**, de la **Sección 3.3.4**. En caso de que se elija una torre autosoportada no se aplica este cálculo, puesto que ocupan mucho menor espacio para su instalación.

---

<sup>58</sup> La construcción del espacio es opcional y depende del tamaño del terreno (**Plazola, 1994**).

<sup>59</sup> Es opcional construir un edificio de oficinas y estudio de radio en este terreno. Algunas estaciones tienen sus oficinas en otro lugar (**Plazola, 1994**).

En conclusión, la altura máxima de la torre (arriostrada) depende del área del terreno; y el área del terreno depende del área que cubrirá el sitio de transmisores; y el área del sitio de transmisores depende de cuantas señales de radio se van a transmitir, y las dimensiones de cada transmisor. Cabe mencionar que la elección del área del terreno es proporcional a la cantidad monetaria que se desee invertir. La suma del área de todos los espacios antes mencionados nos da como resultado el área total del terreno:

$$A_{Terreno} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = A_6 \quad (3.1)$$

donde

*A<sub>Terreno</sub>: Área total del terreno.*

*A<sub>1</sub>: Área del sitio de transmisores.*

*A<sub>2</sub>: Área de la planta de emergencia.*

*A<sub>3</sub>: Área de maniobras.*

*A<sub>4</sub>: Ampliaciones futuras.*

*A<sub>5</sub>: Área del edificio de oficinas<sup>60</sup> y estudio de radio.*

*A<sub>6</sub>: Área de la huella de la torre (torre se arriostrada).*

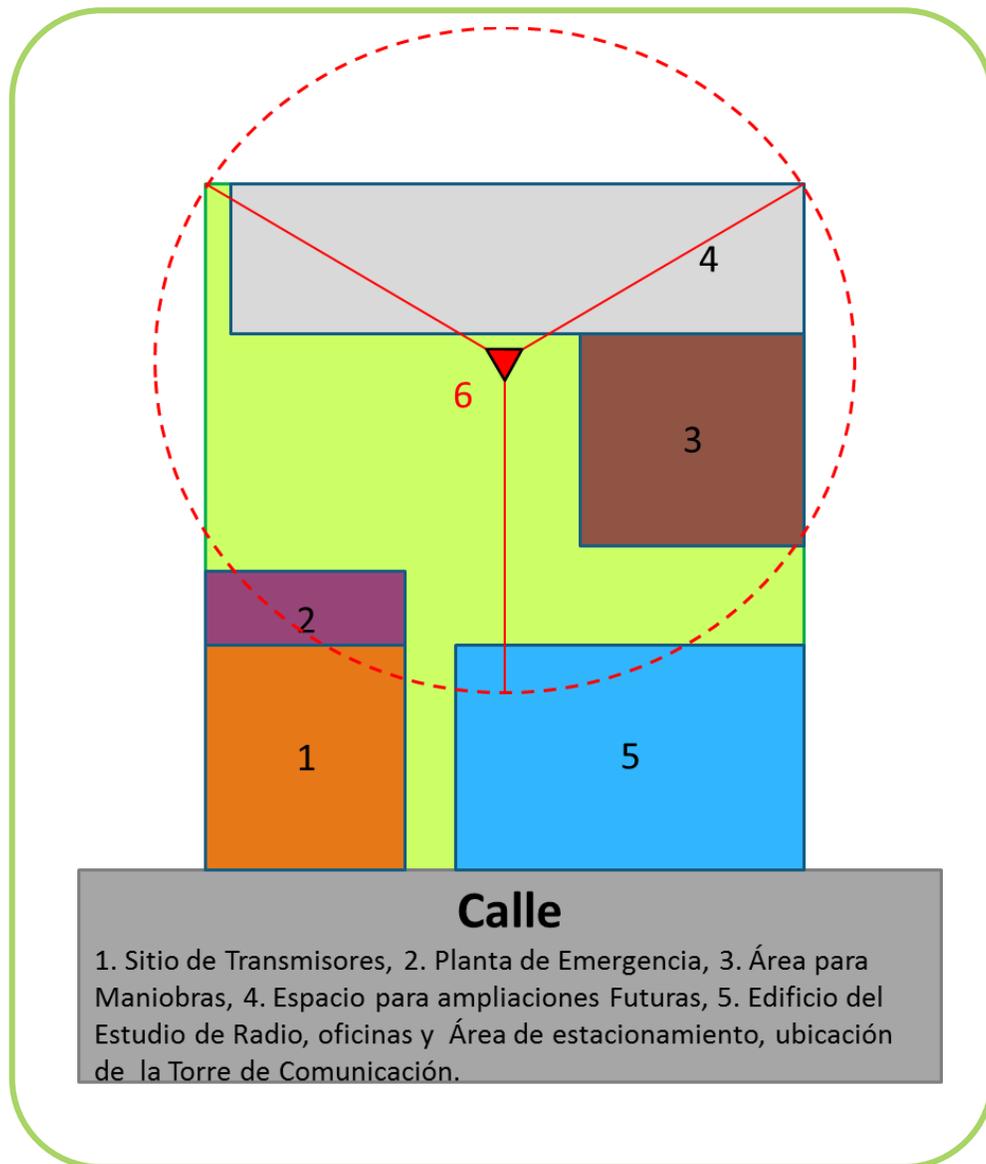
A partir de esta suma general, se despliega el total del área necesario para el Sitio de Transmisores (**A<sub>1</sub>**):

$$A_1 = A_{Trans1} + A_{Trans2} + A_{Trans3.....} + A_{Transn} \quad (3.2)$$

---

<sup>60</sup> Es opcional construir un edificio de oficinas y estudio de radio en este terreno. Algunas estaciones tienen sus oficinas en otro lugar

En la **Figura 64** se muestra un ejemplo de un terreno, donde se proyecta una estación de radio completa con torre arriostrada, la cual ocupa mayor espacio para su instalación que la autosoportada.



**Figura 64.** Estación de radio completa.

A continuación se presenta el siguiente criterio para seleccionar el terreno, sin considerar los estudios de radio.

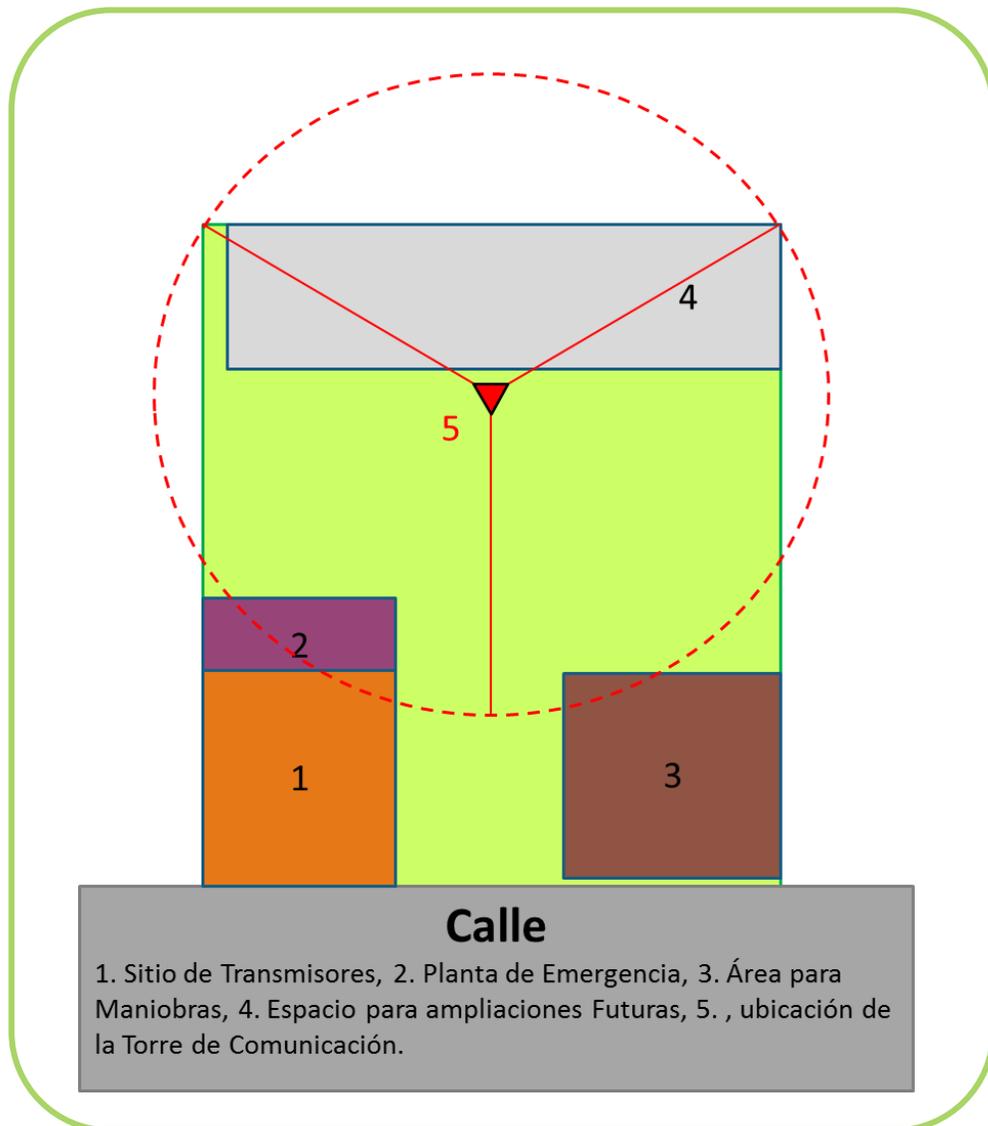
### **b) Sitio de Transmisores y Torre.**

En el caso de que el terreno se sitúe en un lugar de difícil acceso para todos los trabajadores de la estación, o que el terreno sea pequeño para albergar todos los espacios mencionados en el apartado anterior, se procede a elegir un terreno con una superficie mínima para albergar un sitio de transmisores y la torre, como se presenta en la **Figura 65**:

- 1. Sitio de transmisores.*
- 2. Área para planta de emergencia.*
- 3. Área de maniobras.*
- 4. Espacio para ampliaciones futuras y seguridad (opcional).*
- 5. Área para torre arriostrada.*

En este criterio, el estudio de radio y las oficinas de administración, se sitúan en un lugar accesible de la ciudad, y envían la programación al sitio de transmisión por medio de enlaces punto a punto de microondas, de radiofrecuencia o satelitalmente.

A continuación se plantea el siguiente subproceso, en el cual se presenta el diseño del *Estudio de Radio*.



**Figura 65.** Terreno usado para construir un sitio de transmisores y torre.

### 3.3.2 Estudio de Radio.

---

Según **SAPOSHKOV (1983)**, un *estudio de radio* es un local acoplado acústicamente, donde van a generarse las transmisiones de audio; estas cabinas pueden ser de diversas características acústicas.

En caso de que los administradores de la estación de radio vean conveniente situar el *estudio de radio* dentro del terreno donde se va a realizar la transmisión, se procede a seguir con las siguientes especificaciones.

El edificio que aloja el estudio de radio y las oficinas de administración, se deben ubicar lo más próximo al camino principal, esto con el fin de hacer más fácil el acceso del personal administrativo, locutores, personal de controles y los visitantes, con el objetivo de que éstos no atraviesen la zona de la torre, sitio de transmisores y planta de emergencia, que pueden resultar peligrosos de cruzar sin el equipo de protección adecuado **(PLAZOLA, 1994)**.

Antes de diseñar y situar el edificio que aloja el estudio de radio y las oficinas de administración, es necesario hacer una lista de ciertos espacios, que son necesarios integrar al proyecto. A esto se le conoce como *partido arquitectónico*.

El *estudio de radio* consta de las siguientes cabinas:

- **Grabación.**
- **Locutores.**
- **Operadores.**

Las oficinas de administración y complementos están compuestos por:

- *Área de recepción/ vestíbulo.*
- *Caseta de vigilancia.*
- *Gerencia.*
- *Ventas.*
- *Administración y contabilidad.*
- *Producción.*
- *Baños.*
- *Estacionamiento.*

Se recomienda establecer un esquema flexible con planta<sup>61</sup> libre, de preferencia de ángulos ortogonales, y muros divisorios que puedan modificarse. En la estructuración de la planta se deben considerar el menor número de columnas, y dejar prevista la expansión futura. En el planteamiento general se prevén ductos para redes de instalaciones (eléctrica, sanitaria, telefónica, computación, hidráulica, aire acondicionado, entre otros), de tal manera que puedan modificarse en el futuro.

Para efectos de este trabajo de investigación sólo se diseñará y proyectará la planta del Estudio de Radio, que es el Subproceso que importa describir, el cual contiene las diferentes cabinas (grabación, locutores y operadores).

---

<sup>61</sup> **Planta:** Es la representación de un cuerpo (un edificio, un mueble, una pieza o cualquier otro objeto) sobre un plano horizontal. Se obtiene mediante una proyección paralela, perpendicular al plano proyectante horizontal, por tanto, sin perspectiva. Es una de las representaciones principales del sistema diédrico, junto con el alzado. También se denomina planta a la representación de la sección horizontal (**Plazola, 1994**).

Anteriormente se mencionó que el *estudio de radio* está conformado por tres cabinas, las cuales se recomienda que deben estar situadas de manera contigua. Enseguida se describirá la manera en que pueden ser diseñados las cabinas.

#### **a) Grabación.**

La *cabina de grabación* es un espacio aislado sonoramente y es usado para producir comerciales comunicados, spots y notas informativas, los cuales se transmiten en el transcurso de los programas en vivo.

Es construido con materiales especiales (los cuales se explicarán a detalle en el inciso a) que no permiten la entrada de ruido externo, con el objetivo de no contaminar la producción con sonido ajeno. Además, este espacio se acondiciona acústicamente, permitiendo grabaciones con calidad sonora.

Este espacio puede variar en sus medidas, puede ser diseñado de  $3 \times 3 m^2$  hasta  $5 \times 3 m^2$ , dependiendo de la superficie del terreno, y una altura estándar de  $3 m$ .

La cabina es dotada con los mismos equipos de la *cabina de operadores*, ya que con ellos se van a realizar las grabaciones **(PAYÁ, 2004)**.

#### **b) Locutores.**

La cabina de locutores es el espacio cerrado y aislado del ruido exterior donde participan los locutores con sus programas de radio.

Este espacio puede alojar de 1 a 10 locutores, dependiendo de su diseño. Las medidas de este espacio pueden variar de  $2 \times 2 m^2$  hasta  $4 \times 7 m^2$ , con una altura estándar de  $3 m$  **(HAUSMAN, 2001)**.

En este espacio se recomienda colocar una mesa redonda ajustada a las medidas de la cabina, donde será colocado el micrófono, o en su defecto, puede no haber mesa central y el micrófono se puede ubicar en el aire, de tal manera que los locutores puedan mirarse entre ellos, y a su vez tengan contacto visual con la ***cabina de operadores***, que es el sitio contiguo a la ***cabina de locutores***. Ambas cabinas están conectadas a través de una ventana con características especiales que no permiten el intercambio de sonido. Esta ventana está construida con dos cristales que tienen un grosor de entre **6 y 8 mm**, los cuales tienen una separación de **5 cm**. Estos cristales están sujetos a un marco de madera y sellado herméticamente con silicón para evitar vibraciones molestas. Esto permite que en el medio quede una cámara de aire para evitar el paso del sonido de un lado al otro. En esta cápsula se colocan bolsas con bolitas de sílice, para evitar tanto la humedad como que se empañen los vidrios. También se puede rociar arroz dentro de la cápsula para este mismo fin.

Es indispensable que una cabina de locutores esté muy bien aislada, para evitar la entrada de sonidos indeseables a la programación. Para asegurar una buena calidad del sonido que se graba o emite, es necesario realizar dos operaciones:

- ***Aislamiento o insonorización:*** su función principal es evitar el paso del sonido. Es decir, que no ingresen ruidos desde el exterior de la cabina y que tampoco se escape hacia fuera lo que estamos grabando. Todos los materiales impiden el paso del sonido y pueden ser útiles, sin embargo, el ladrillo y el hormigón son los más recomendables. Para divisiones internas podemos usar madera o corcho.

- **Acondicionamiento o acústica:** su función es evitar sonidos o efectos molestos producidos por nuestras propias grabaciones. Consiste en la colocación de material acústico para evitar o desviar rebotes de sonido los cuales son mostrados en la **Figura 66**: Panel de espuma, Sheetblok<sup>62</sup>, Rockwool<sup>63</sup> (**ROUGERON, 1997**).

Es recomendable la colocación de alfombra gruesa para cuidar los rebotes de sonido que pueden producir la loseta o tablones del piso. La puerta debe ser de madera maciza o estar rellena con arena o fibra de vidrio.

Hay que tener en cuenta que no se quiere eliminar todos los rebotes, sino que es importante saber desviarlos para evitar que el sonido se concentre en un solo lugar, para ello se utilizan materiales de formas irregulares, como el panel acústico que puede ser en forma de pirámide, casillero, diente de triángulo por mencionar algunos.

Es importante recordar que las ondas de sonido rebotan en paredes, piso y techo, por lo que se necesita colocar espumas para disminuir los rebotes.

La cabina de locutores debe ser climatizada, para proporcionar un ambiente de confort. El aire acondicionado debe ser seleccionado tomando en cuenta que sus niveles ruido sean menores a **25 dBs (PAYÁ, 2004)**.

Enseguida se describe la cabina en la que se concentran todos los sistemas de reproducción y enviar la señal hacia el sistema de transmisión.

---

<sup>62</sup> **SheetBlok** es un material de vinilo con una densidad tan especial que le permite ser 6 db más efectivo que el plomo sólido del mismo grosor a la hora de detener la transmisión del sonido (**Hall, 1980**).

<sup>63</sup> **Rockwool** es un aislante fabricado a base de roca volcánica que proporciona protección contra el fuego y la acústica exterior (**Hall, 1980**).



**Figura 66.** Panel de espuma, Sheetblok y Rockwool.

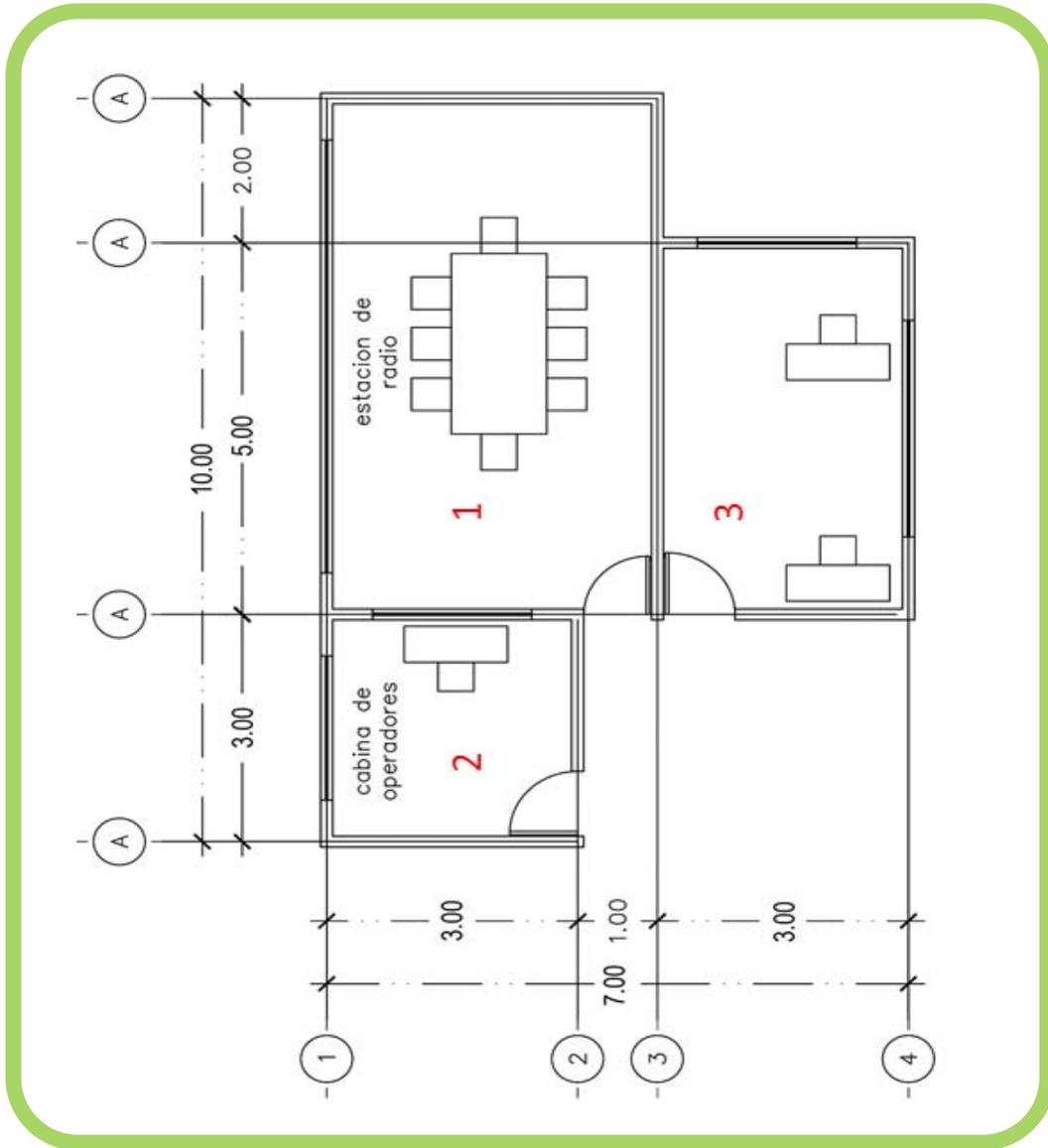
### **c) Operadores.**

La *cabina de operadores* es el sitio en el que se gestiona y producen los programas generados en la *cabina de locutores*, ya sea emitido en vivo, recibido por satélite, por internet o previamente grabado en el *estudio de grabación (HAUSMAN, 2001)*.

En esta cabina se controlan todas las fuentes sonoras que generan en una estación de radio, y es donde se encuentran los equipos de audio y donde el operador hace su trabajo. Aquí se localiza la consola, la computadora, reproductores de CD, receptor satelital, grabadoras de audio, etcétera. La distribución de la mayoría de las cabinas de operadores es en forma de "U", o en alguna variante de ésta, pues todo el equipo debe encontrarse a una distancia suficiente para que el operador pueda alcanzar con sólo estirar el brazo desde su asiento, situando frente a la consola de audio.

Tomando en cuenta lo anterior, las medidas mínimas necesarias para proyectar una cabina de operadores varían, pueden ser de  $2 \times 1 m^2$ , hasta los  $3 \times 3 m^2$ , dependiendo del espacio con el que se cuente en el terreno. También, es conveniente contar con un ambiente climatizado, en este espacio **(SAPOSHKOV 1983)**.

A continuación en la **Figura 67** se muestra la proyección de las tres cabinas antes mencionadas, con las medidas sugeridas ideales:



**Figura 67.** 1. Locutores, 2. Operadores y 3. Grabación.

### 3.3.3 Sitio de Transmisores.

---

El *Sitio de Transmisores* es el espacio diseñado para contener los equipos de transmisión de radio, además de otros equipos de soporte que son parte fundamental del *Macroproceso de instalación de una señal de FM*.

Por esta importancia, es preciso que este sitio sea diseñado de acuerdo a estándares que puedan brindar una óptima seguridad a los dispositivos de transmisión ante cualquier inclemencia meteorológica.

La *Comisión Federal de Electricidad* (CFE) cuenta con experiencia en cuanto a estos sitios, ya que tienen un departamento exclusivo para las comunicaciones. Ellos han evaluado una serie de características convenientes que debe tener el sitio para el buen alojamiento de equipos de telecomunicaciones (Radio Frecuencia, OPLAT<sup>64</sup>, Ethernet, Fibra óptica) y han realizado el diseño de un sitio ideal tomando en cuenta el material de fabricación, medidas, instalación eléctrica y climatización. A continuación se explica cada una de ellas **(CFE, 2014)**.

La caseta debe ser diseñada de modo que pueda ser ensamblada en sitio, el cual conlleva un tiempo estimado de una semana. El sitio debe estar acondicionado anticipadamente, con el propósito de que la caseta quede firmemente cimentada, apta para soportar vientos de hasta **240 km/h** por al menos 24 horas continuas.

---

<sup>64</sup>**OPLAT:** Onda Portadora de Alta Tensión, es una tecnología de comunicación, donde se envía información través de las líneas de alta tensión por medio de la Modulación en Amplitud **(Linder, 2001)**.

## **a) Proyecto Arquitectónico.**

El sitio de Telecomunicaciones propuesto por la CFE será usado en este caso particular para alojar equipos de transmisión de radiofrecuencia FM, y tiene como medidas  $7 \times 8 \text{ m}^2$ , siete metros en el frente y ocho metros de profundidad, teniendo una superficie funcional de  $54.52 \text{ m}^2$  (esta medida puede ser reducida a proporción dependiendo de las medidas del terreno y de la inversión que se desea hacer). Se proponen estas dimensiones pensando en el crecimiento futuro e instalación de nuevas frecuencias **(CFE, 2014)**.

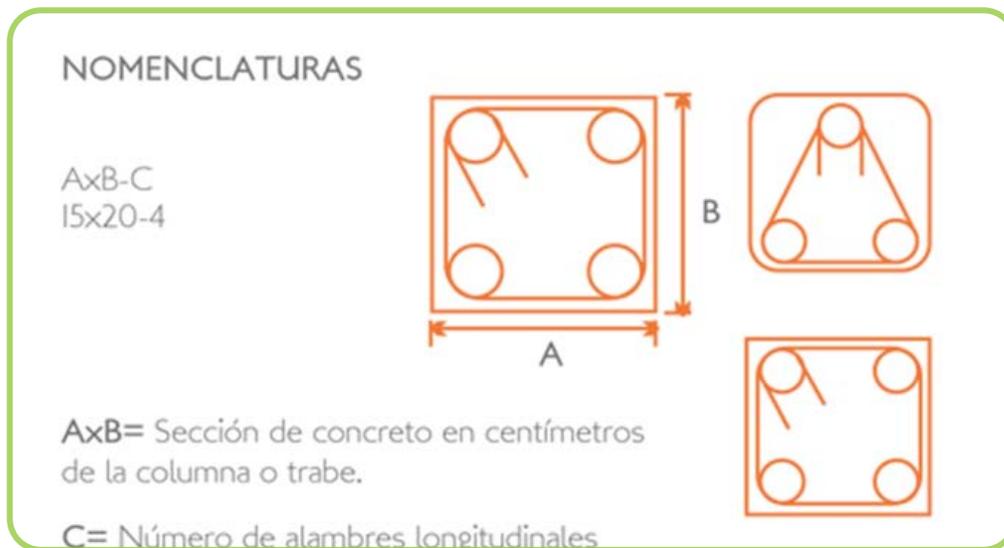
El sitio está dividido en tres secciones:

1. **Sala de Operaciones:** Es el espacio donde se sitúan los racks y los transmisores. Cuenta con una dimensión de  $5 \times 8 \text{ m}^2$  con un área efectiva de  $38.71 \text{ m}^2$  como mínimo.
2. **Sala de Fuerza:** Es el espacio destinado para los equipos que proveen de corriente al sitio en general, a los racks, a los transmisores y otros equipos de soporte. Se encuentra a la derecha de la sala de operaciones. Tiene una dimensión de  $4 \times 2 \text{ m}^2$ .
3. **Área de maniobras:** Es el área de trabajo dentro del sitio. Si se desea instalar un nuevo equipo, este espacio es el indicado para preparar todo lo necesario para la instalación. El área de maniobras se sitúa al fondo del sitio junto a la sala de operaciones, y cuenta con un área de  $4 \times 2 \text{ m}^2$ .

El sitio se debe desplantar a **30 cm** sobre el nivel del terreno natural, mediante una plataforma de material inerte compactado, confinado mediante muros de tabique o tabicón que eviten la dispersión del material relleno. Esta plataforma tiene como dimensiones  $8.9 \times 9.9 \text{ m}^2$ , donde el sitio debe

situarse de manera centrada a la plataforma, brindando una banqueta alrededor de sitio de **95 cm** con una pendiente del **2%** hacia afuera.

La cimentación debe ser protegida con una membrana de vapor que cubrirá el terreno, donde se tenga contacto con el concreto. Sobre esta plataforma compacta y cubierta con plástico negro, se desplantarán contratraves formadas por Armex<sup>65</sup> con estas dimensiones: **15 x 30 – 4**, que ligarán a la malla electrosoldada **6 x 6 8/8**. Se deben colocar anclas de varillas de acero del #3 de refuerzo vertical, a cada 66 cm en el desplante de muros, en los arranques y términos de muros, así como en las esquinas de los muros. Estas anclas deben tener una escuadra de **40 cm** ligada al acero de refuerzo inferior de la contratrabe, en la siguiente **Figura 68** se describe gráficamente la nomenclatura de las contratraves.



**Figura 68.** Nomenclatura para medidas de contratraves.

<sup>65</sup> **Armex** o alambre para castillo es utilizado como refuerzo en estructuras de concreto como muros, mampostería, dadas (vigas), etc. En el proceso de fabricación se utilizan de tres a cuatro varillas formando secciones de diferente forma, de acuerdo con el trabajo para el cual esté pensada (triangulares, cuadradas o rectangulares).

El concreto que se requiere para hacer los cimientos con un esfuerzo máximo de compresión<sup>66</sup> ( $f'c$ ) de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ , y debe de colarse con todos los elementos de la cimentación, conjuntamente con la losa en un sólo evento, dejando la superficie horizontal sin ondulaciones. Pueden valerse de aditivos autonivelantes en el concreto. No se deberá utilizar ninguna membrana de curado en la losa y se recomienda curar con una cama de arena y agua durante siete días.

### **b) Muros, Cubierta y Piso.**

Los muros y cubiertas deben estar conformados por paneles prefabricados con PVC<sup>67</sup>, extruidos en una sola pieza por sección transversal con una cara útil de  $100 \times 193 \text{ mm}^2$ , y conectores de PVC extruido en una sola pieza con sección transversal útil de  $100 \times 140 \text{ mm}^2$ . Estos deben contar con una tecnología que permita el ensamble mediante el deslizamiento machi/hembrado de panel/conector, para conformar de manera modular los muros y cubierta de acuerdo al *Proyecto Arquitectónico*.

Los muros deben colarse con concreto armado de  $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$  con recubrimientos y estructura interna de PVC; libre de mantenimiento en caras interiores y exteriores de manera que no se tenga que pintar ni impermeabilizar durante la vida útil del sitio. El único mantenimiento deberá ser limpieza con agua y jabón. Además, los muros deben ser

---

<sup>66</sup>  $f'c$  es el esfuerzo máximo de compresión en el concreto, medido en carga por unidad de área. Se estima en cilindros de concreto (28 días de fabricación) sometidos a carga de compresión y está indicado por la carga que hace fallar los cilindros.

<sup>67</sup> **PVC** es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo. Es el derivado del plástico más versátil. Este se puede producir mediante cuatro procesos diferentes: Suspensión, emulsión, masa y solución. Se presenta como un material blanco que comienza a reblandecer alrededor de los 80 °C y se descompone sobre 140 °C. Es un polímero por adición y además una resina que resulta de la polimerización del cloruro de vinilo o cloroetano. Tiene una muy buena resistencia eléctrica y a la llama.

recubiertos por filtros UV que permitan que el sitio pueda tener una vida duradera en la intemperie.

Para reforzar el concreto en muros, es necesario empalmar los refuerzos verticales preparados en la losa de cimentación, con varillas de acero al interior de los paneles o conectores, según sea el caso. Debiendo deslizar los conectores hacia arriba una vez armado el muro, permitiendo el acceso al empalme de varillas en la base del muro, con el muro ensamblado. El empalme de acero se debe efectuar mediante dos amarres con alambre recocido, en una distancia no menor a **40 cm**.

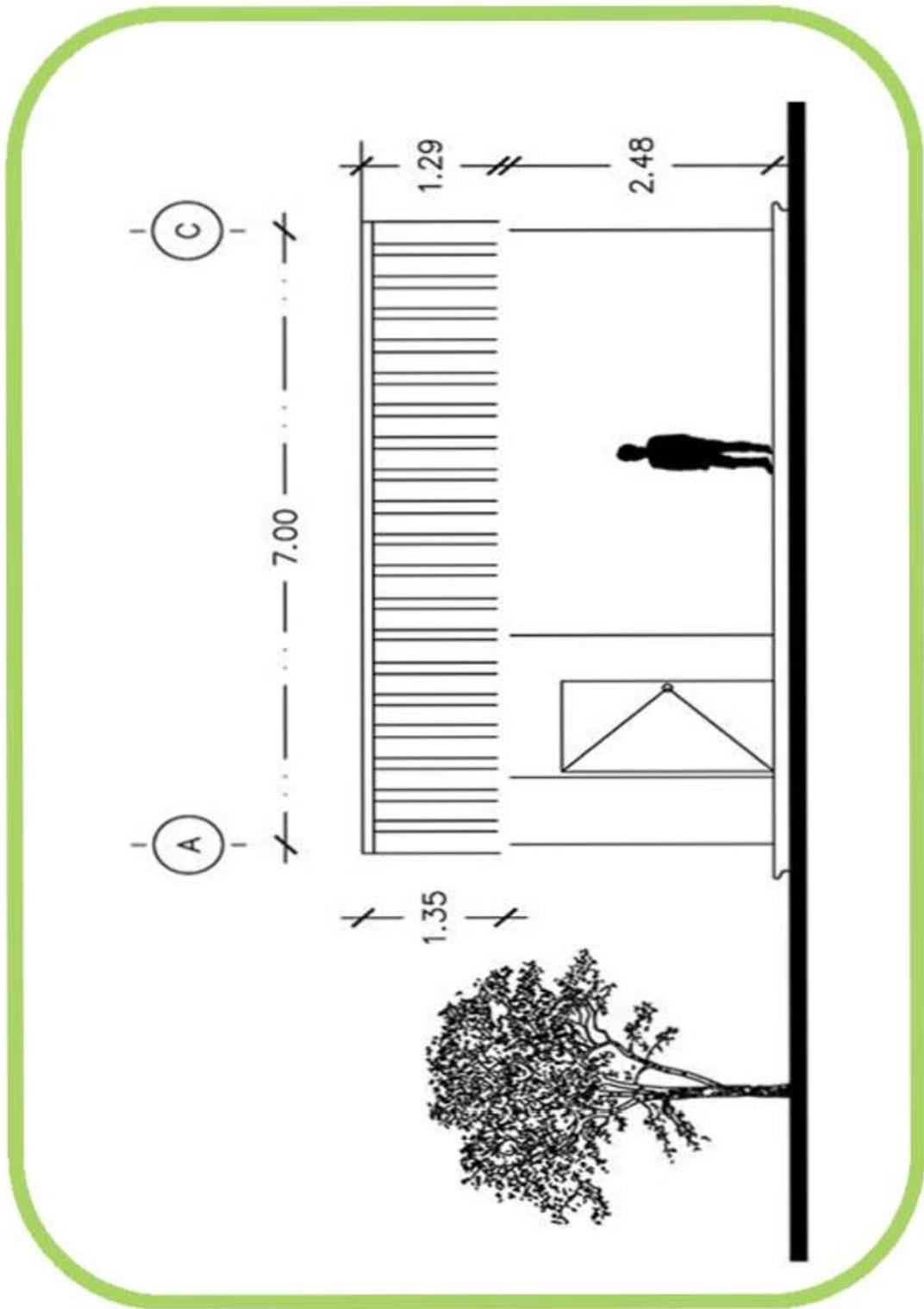
El sistema constructivo para muros y cubierta deberá cumplir con el reglamento de construcciones para edificaciones del tipo A (que es el reglamento de alta seguridad estructural) contra sismos, fuego y viento.

El techo debe de ser de dos aguas, con una inclinación del **25%** que permita el flujo rápido de agua en temporada de lluvias. El piso del sitio debe ser epóxico<sup>68</sup> conductivo, con una resistividad eléctrica entre 103 y 106 Ohms. Debe de tener un terminado sin ondulaciones ( $\pm 5 \text{ mm}$ ).

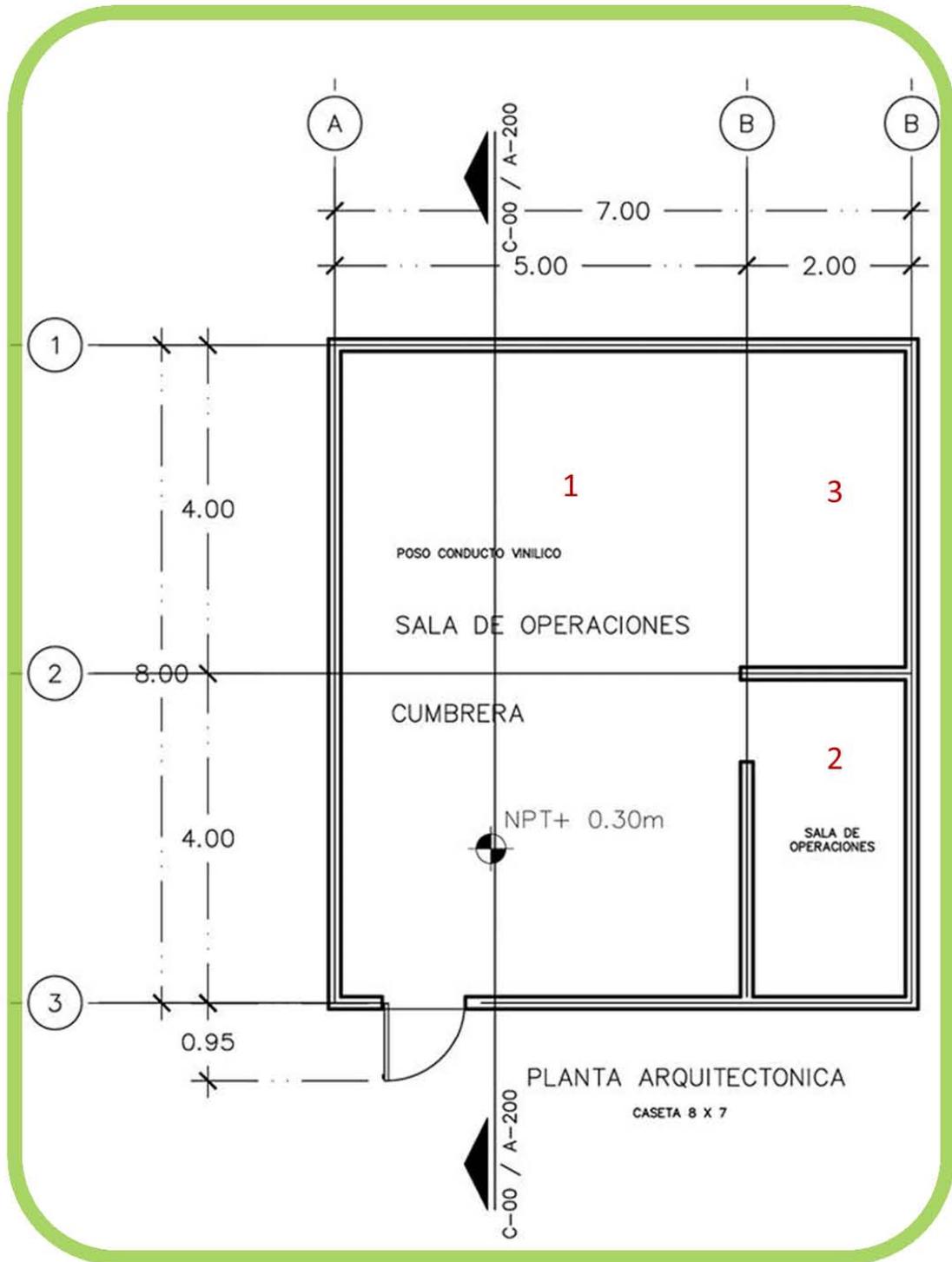
En la **Figura 69** se puede apreciar la fachada, en la **Figura 70** se muestra la vista superior del *Proyecto Arquitectónico* y en la **Figura 71** se presenta la planta de azotea.

---

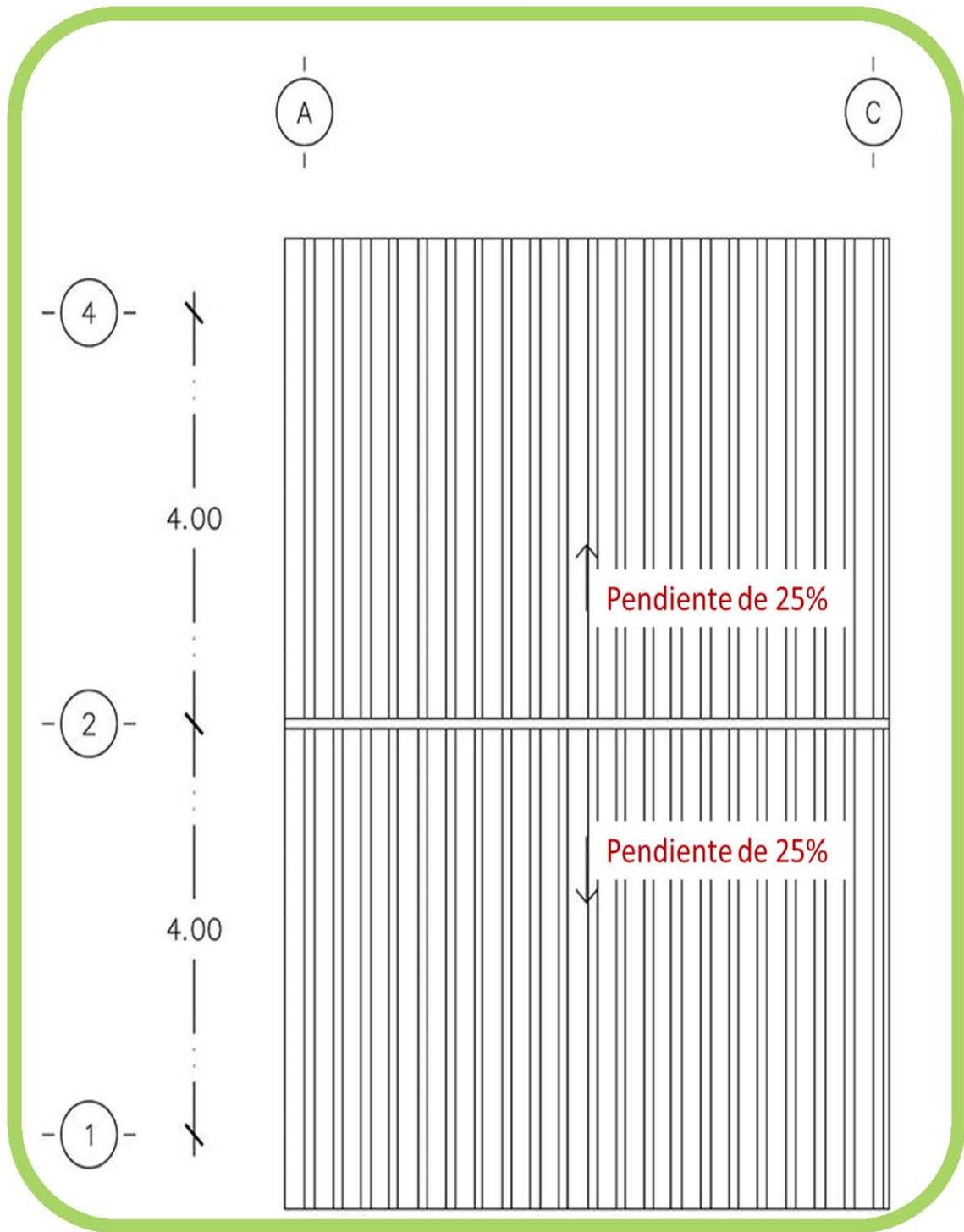
<sup>68</sup> Un piso **Epóxico** es un material usado especialmente para la industria (principalmente metalmecánica, farmacéutica, de alimentos y química), conformado por Resina epoxi, por sus características califica como un piso industrial (**Plazola, 1994**).



**Figura 69.** Alzado Arquitectónico (fachada).



**Figura 70.** 1) Sala de Operaciones. 2) Sala de Fuerza. 3) Área de Maniobras.



**Figura 71.** Planta de azotea.

### **c) Escalerilla.**

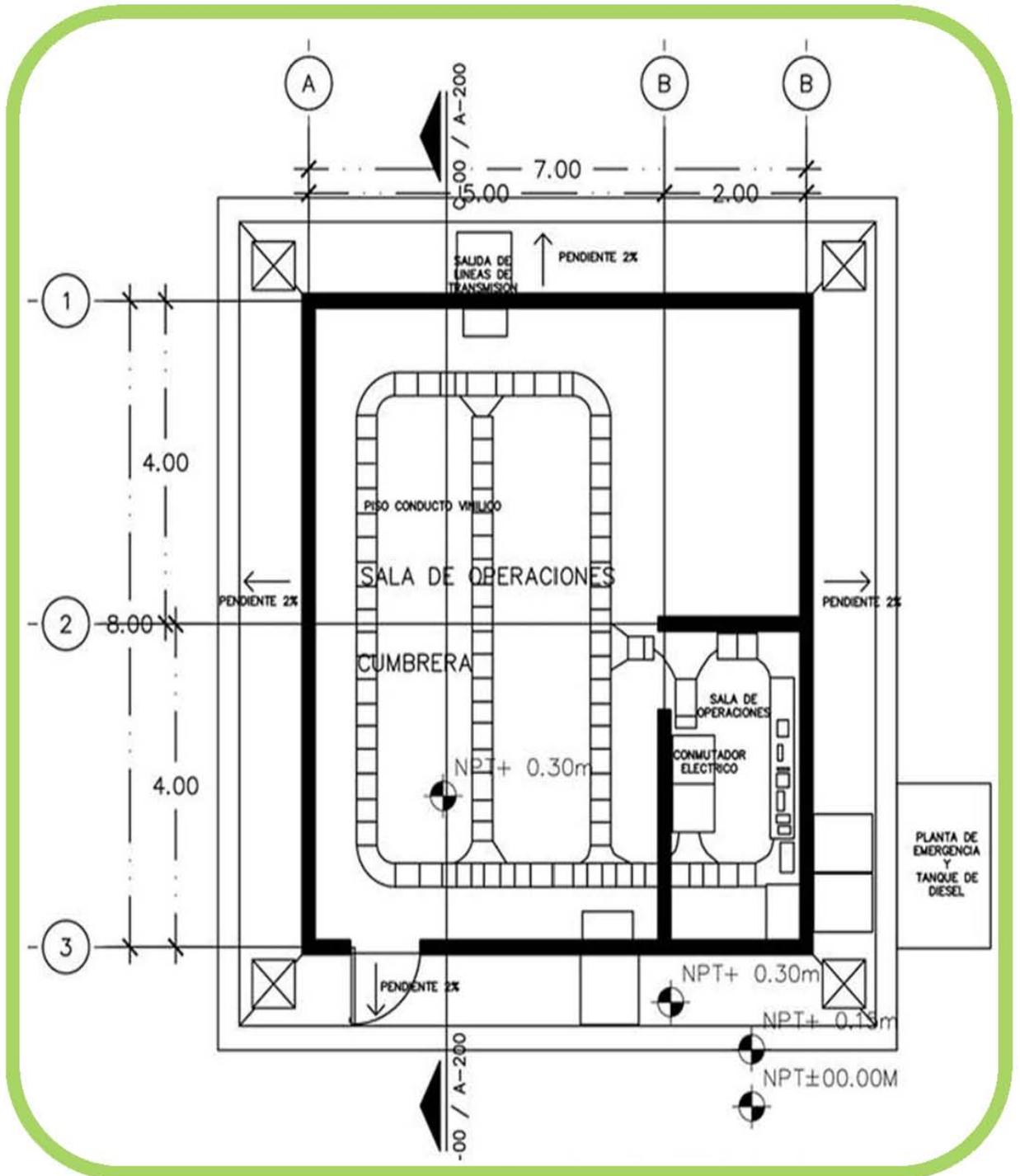
Para alimentar los racks, los transmisores y la carga fantasma en la *Sala de Operaciones*, es necesario instalar una escalerilla de aluminio de doce pulgadas de ancho con paso de 2 pulgadas y 4 pulgadas de peralte en Z, y por medio de esta escalerilla se lleve el cableado que los conecta a la corriente.

La escalerilla debe tener tres hileras a lo profundo en la *Sala de Operaciones*, la primera a **60 cm** del muro del fondo, la segunda hilera deberá ubicarse a **2.31 m** del mismo muro del fondo, la tercera hilera deberá instalarse a **4.03 m** del mismo muro. Estas tres hileras deberán interconectarse en los muros cabeceros a **64 cm** de separación entre los muros y las escalerillas.

En la *sala de fuerza* deberán instalarse dos hileras de escalerillas de **2.62 m** a lo profundo de la *Sala de Fuerza*, debiéndolas interconectar en los cabeceros y prolongando dichas interconexiones hasta la tercera hilera de la *Sala de Operaciones*.

Estas mismas escalerillas servirán para llevar las líneas de transmisión entre equipos, e incluso hasta la *Torre de Comunicación*. Este punto se tocará más adelante.

En la **Figura 72** se muestra la planta con las escalerillas.



**Figura 72.** Planta con escalerillas.

### **3.3.4 Torre de Comunicación.**

---

Las *Torres de radiocomunicaciones* o simplemente *Torres de Radio*, se utilizan para dar altura y librar obstáculos que impidan la correcta transmisión de las ondas hertzianas, y su estructura alta proporciona un espacio favorecedor para el montaje de antenas de radio AM y FM. En este trabajo, cuando se mencione el término "*torre*", se referirá exclusivamente a las *Torres de Radio (NOM-02, 1993)*.

Los estándares estructurales ANSI/TIA222-F, para torres metálicas y estructuras de soporte para antenas, fueron aprobadas en marzo de 1996 por el TIA (*Telecommunications Industry Association*). El objetivo de estas normas fue el de proveer un conjunto de criterios mínimos para especificar y diseñar torres metálicas de antenas, y estructuras para torres de antenas. Dicho documento ayudará con la instalación de la torre (**TIA/EIA-222-F, 1996**).

Las *Torres* están compuestas por perfiles y ángulos de acero unidos por tornillos, pernos o remaches, o por medio de soldadura. Dichas estructuras podrán ser de diversas alturas, dependiendo de las necesidades específicas para poder suministrar un correcto funcionamiento, o del área del terreno donde se ubicarán dichas torres (**NMX-H-004-2008- SCFI**).

Actualmente existen diversas compañías a nivel nacional e internacional dedicadas a la construcción e instalación de torres, por mencionar algunas: Antenas Torres Y Accesorios Para Radio Comunicación, S. A. de C. V., Zhaowei, Elenos y Jampro Antennas Inc., que se dedican a fabricar estas estructuras y muchas de ellas tienen sus modelos optimizados para que se tenga un correcto funcionamiento de la estructura, donde los perfiles y ángulos varían de tamaño y espesor

dependiendo de la altura de la estructura, y del lugar donde se va a construir, considerando principalmente la velocidad del viento que exista en el lugar en cuestión.

El *ingeniero civil* es el encargado de hacer los cálculos pertinentes para la correcta instalación de la torre de comunicación, con respecto al terreno obtenido. Los factores que inciden en dichos cálculos son: dimensión, forma, desnivel del terreno, tipo de suelo y dirección del viento.

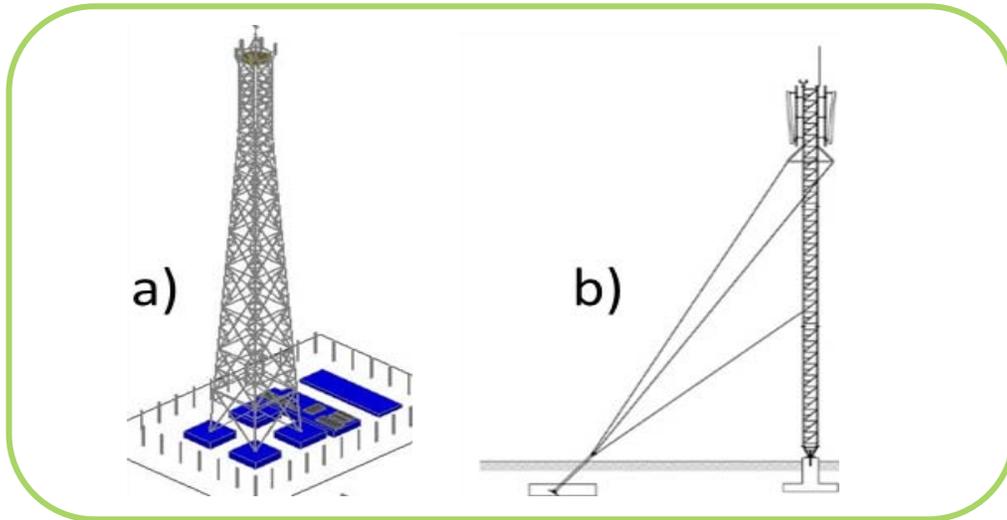
Con respecto a la determinación de la altura de una torre, la Dirección General de Aeronáutica Civil<sup>69</sup> de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), es el organismo encargado de validar la altura máxima según el terreno donde se sitúen. El constructor de la torre, debe solicitar a este órgano que provea la altura máxima en que debe ser construida la torre. Este organismo procesará la solicitud conjuntamente con el Instituto Federal de Telecomunicaciones y determinarán dicha altura **(AERONÁUTICA, 2015)**.

Para la transmisión de radio existen dos modelos de *Torres* comúnmente usadas:

- **Torre Autosoportada:** Se caracterizan por necesitar poco espacio para su instalación, pero son costosas. Se muestra un ejemplo en la **Figura 73a**.
- **Torre Arriostrada:** Son baratas, pero necesitan un área más grande que las autosoportadas. En la **Figura 73b** se aprecia un ejemplo.

---

<sup>69</sup> Página oficial de la dirección General de Aeronáutica Civil:  
<http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/aeronautica-civil/inicio/>.



**Figura 73.** Tipos de torres: a) Autoportada. B) Arriostrada.

Para fines de esta investigación, el tipo de torre que será descrita es la **Arriostrada**, y el motivo de su elección es su bajo costo, e igual eficiencia con respecto a las **autoportadas**.

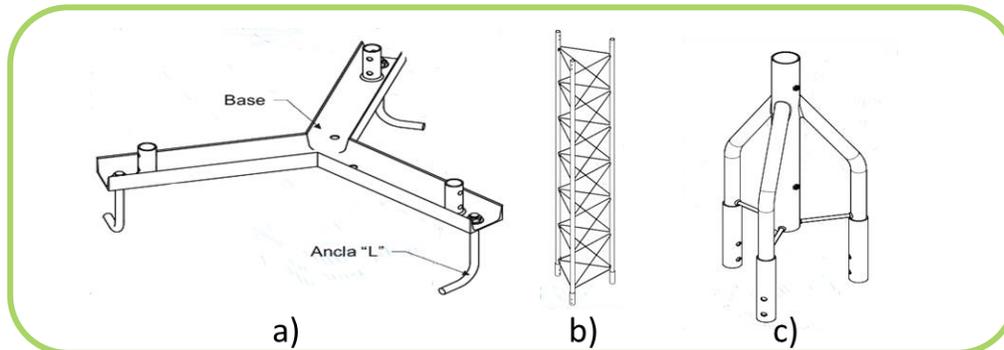
Es verdad que el tipo de torre **Arriostrada** necesita más espacio, pero este es justificable, puesto que pueden ser instaladas en el centro y los límites del terreno, ocupando el mismo espacio donde se sitúe la estación completa o el sitio de transmisores, según sea el caso.

A continuación se presentan puntos importantes que se deben conocer de manera general sobre las torres **Arriostradas**:

- a. Partes.
- b. Cálculos:
  - b.1 Ubicación de la torre.
  - b.2 Altura.
  - b.3 Cimientos.
  - b.4 Anclas.
- c. Instalación.

### a) Partes.

Antes de describir la instalación de la torre, se presentarán cada una de las partes de una torre arriostrada (**Syscom, 2013**):

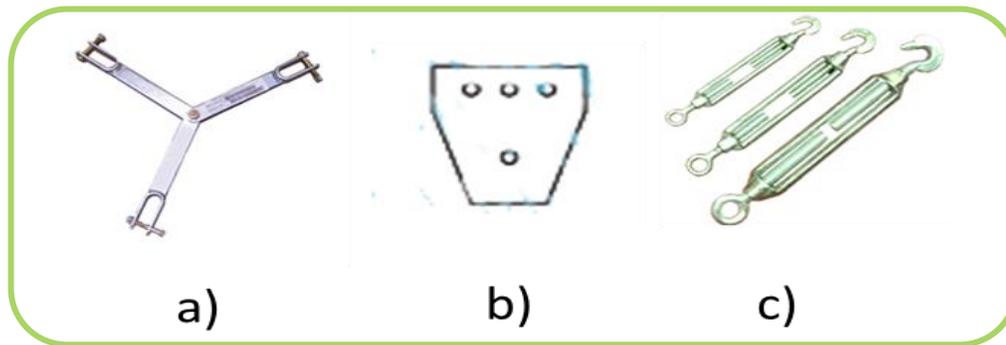


**Figura 74.** a) Base tipo pata de gallo. b) Tramo de torre. c) Remate de torre.

- **Base:** Fabricado en acero galvanizado que proporciona solidez a la estructura. Existen de varios modelos (**Figura 74a**).
- **Tramos de Torre:** Cada sección de la torre es triangular (la medida de los lados puede variar según el modelo y la marca de la torre) y tiene una longitud útil por tramo de  $3\text{ m}$  generalmente. Cada tramo de torre está galvanizado por inmersión en caliente, esto como protección al óxido (**Figura 74b**). Los tramos son instalados con tornillería especial, dada por el fabricante.
- **Remate de Torre:** El remate de torre está hecho del mismo tipo de tubo que el de la torre, en el cual las partes están soldadas mediante el proceso MIG<sup>70</sup>.

<sup>70</sup> La soldadura **MIG/MAG** es un proceso de soldadura por arco, bajo gas protector con electrodo consumible, el arco se produce mediante un electrodo formado por un hilo continuo y las piezas a unir, quedando éste, protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte (soldadura MIG) o por un gas activo (soldadura MAG). La soldadura MIG/MAG es

También cuenta con tornillos opresores para sujeción al igual que los tramos de torre. Esta pieza está totalmente galvanizada por inmersión caliente (**Figura 74c**).



**Figura 75.** (a) Retenidas. (b) Placas igualadoras. (c) Templadores.

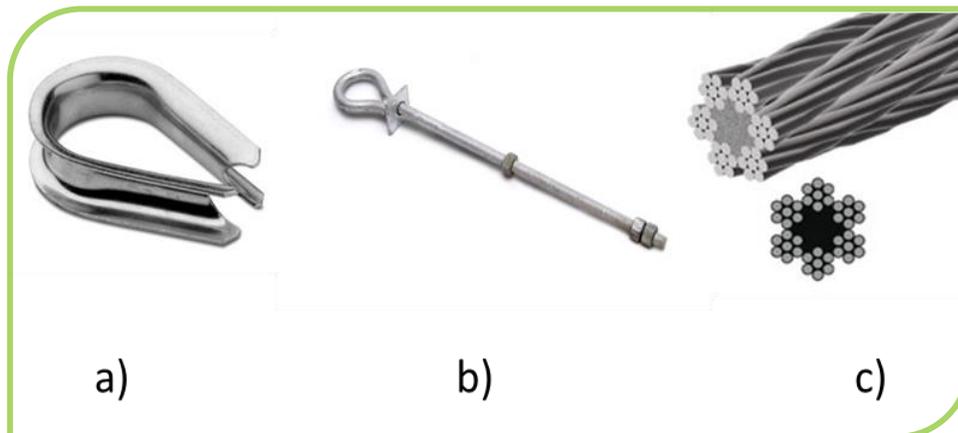
- **Retenidas:** Elaborado en acero galvanizado, son parte del sistema de tensión. Vea la **Figura 75a**.
- **Placas Igualadoras:** Las placas igualadoras de tensión son fabricadas con placas de acero<sup>71</sup> ASTM-A36 y tornillería ASTM-A307, todo esto galvanizado por inmersión en caliente. Las Placas Igualadoras incluyen: dos placas, tornillos para tensor y tornillo para perno ancla (**Figura 75b**).
- **Templadores:** Los templadores son utilizados para dar torsión a los cables que van sujetos a las retenidas de la torre (**Figura 75c**).

---

intrínsecamente más productiva que la soldadura MMA, donde se pierde productividad cada vez que se produce una parada para reponer el electrodo consumido. El uso de hilos sólidos y tubulares han aumentado la eficiencia de este tipo de soldadura hasta el 80%-95%.

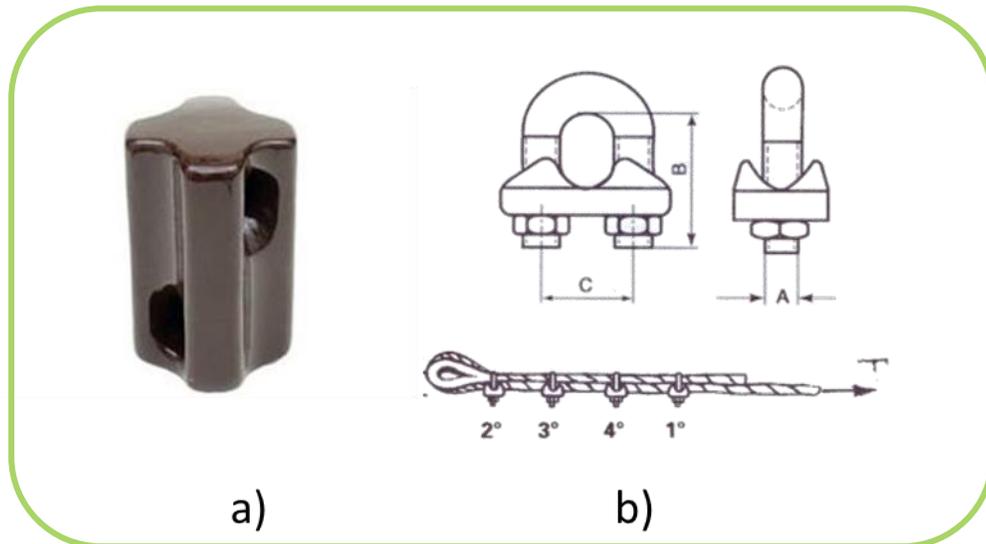
<sup>71</sup> **ASTM:** Especificación Normalizada para Acero al Carbono Estructural.

- **Guardacabos:** Estos guardacabos son de material galvanizado en caliente y se utilizan como protectores del cable y evitan desgaste entre estas (**Figura 76a**).



**Figura 76.** a) Guardacabos. B) Perno ojo. C) Cable para retenida.

- **Perno Ojo:** Se implementa al momento de ir colocando los cables para retenidas en la placa de tensión, esto para evitar movimientos al momento de ir tensando la torre. Este también es galvanizado en caliente para evitar el óxido. Observe la **Figura 76b**.
- **Rollo de Cable para Retenidas:** Se refiere a cable de acero galvanizado desnudo grado común, certificado bajo las especificaciones ASTM-A-475 Zinc-Coated Steel Wire Strand (Cables de acero galvanizado). Se utilizan en retenidas para la postería de redes eléctricas y en **Torres de Comunicación**. Estos cables se fabrican en construcción concéntrica, con diámetros de **6.35 a 12.7 mm** y adquieren en empaques de rollos y carretes. Los alambres de acero galvanizado son resistentes a la corrosión, ofrecen una gran resistencia mecánica y brindan mayor flexibilidad por su construcción. En la **Figura 76c** se ilustra la estructura del cable.



**Figura 77.** a) Aisladores. b) Tornillos "perro".

- **Aisladores:** Elaborados en porcelana compacta de alta resistencia, sirven para aislar la torre, permitiendo que si cae un rayo en la estructura, este se conduzca por el cable de tierra física. Van colocados entre la torre y el cable para retenida. Observe la **Figura 77a**.
- **Tronillo "perro":** Son usados para sujetar el cable galvanizado. Son fabricados con un acabado galvanizado en caliente. El cuerpo tiene un asiento con la curvatura correspondiente a cada diámetro de cable, así como ondulaciones para evitar el deslizamiento. En **Figura 77b** se muestra una ilustración del tornillo.

## **B) Cálculos.**

Después de conocer las partes básicas de la *Torre Arriostrada*, se continuará realizando los cálculos pertinentes, previos a la colocación de la torre en el suelo. Estos son los cálculos que se realizarán:

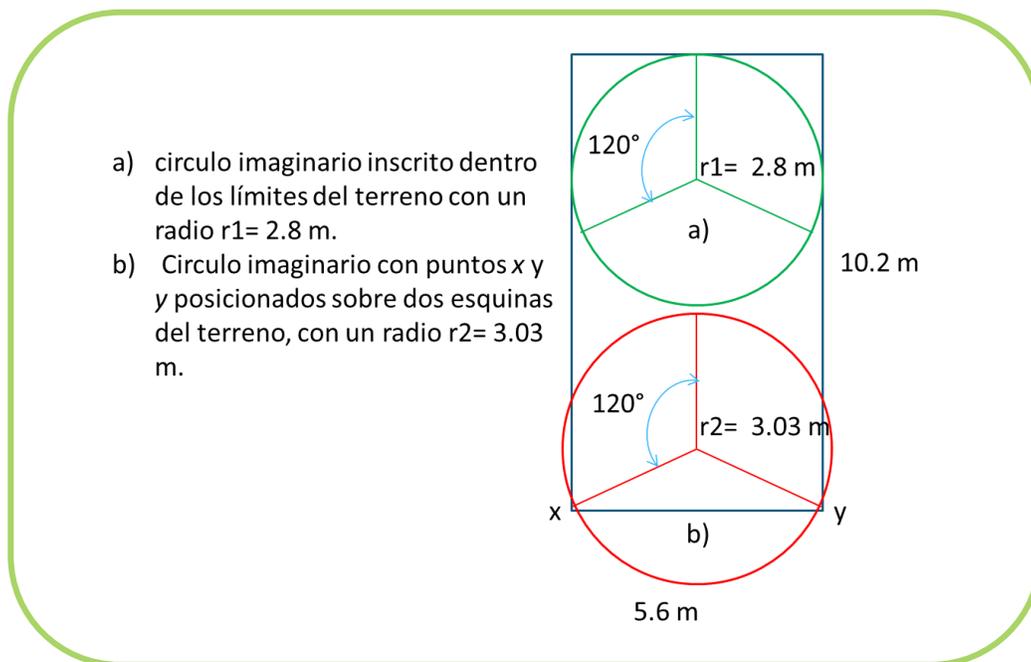
- b.1 Ubicación de la torre.
- b.2 Altura.
- b.3 Cimientos.
- b.4 Anclas.

A continuación se describen cada uno de los cálculos.

### **b.1) Ubicación de la torre.**

Anteriormente, en la **Sección 3.3.1** del presente capítulo, se habló acerca de la obtención de un terreno con características especiales para la ubicación de una estación de radio o sitio de transmisión. Una de estas características es la dimensión del terreno, de la cual se determinará la altura de la torre, por lo cual, primero se debe ubicar un punto central dentro del terreno donde se instale la torre, de modo que se pueda sacar la máxima ventaja para establecer la altura para la torre, que se calculará en el **Inciso b.2**.

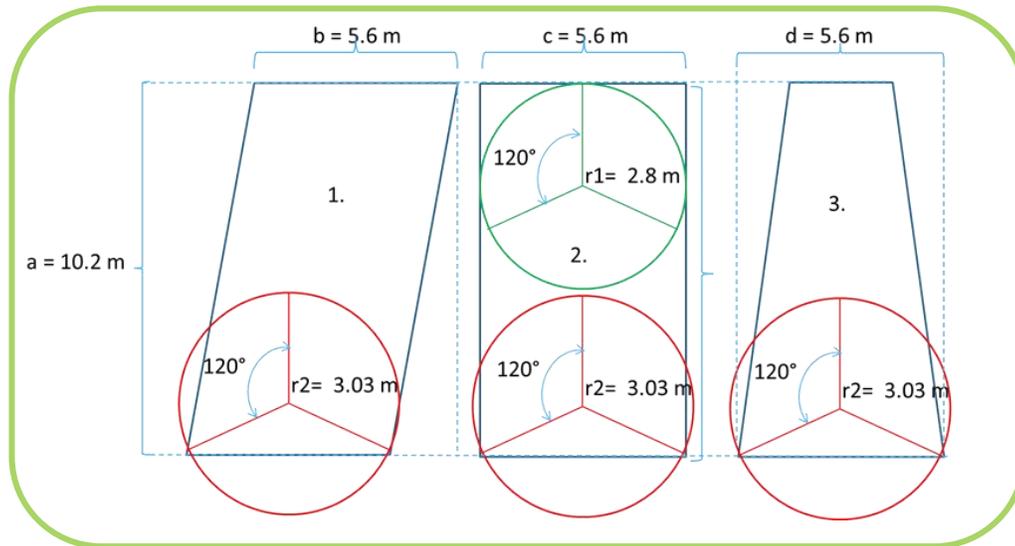
Se puede ubicar el centro del terreno inscribiendo un círculo imaginario dentro de él, este será el lugar donde se instalará la torre como se muestra en el ejemplo de la **Figura 78a**. Los tres radios que se presentan en la figura, representan la distancia de los 3 tensores de la torre, que están separados por  $120^\circ$ , con respecto del vértice, de esta manera el círculo está dividido en tercios (**NMX-H-004-2008- SCFI**).



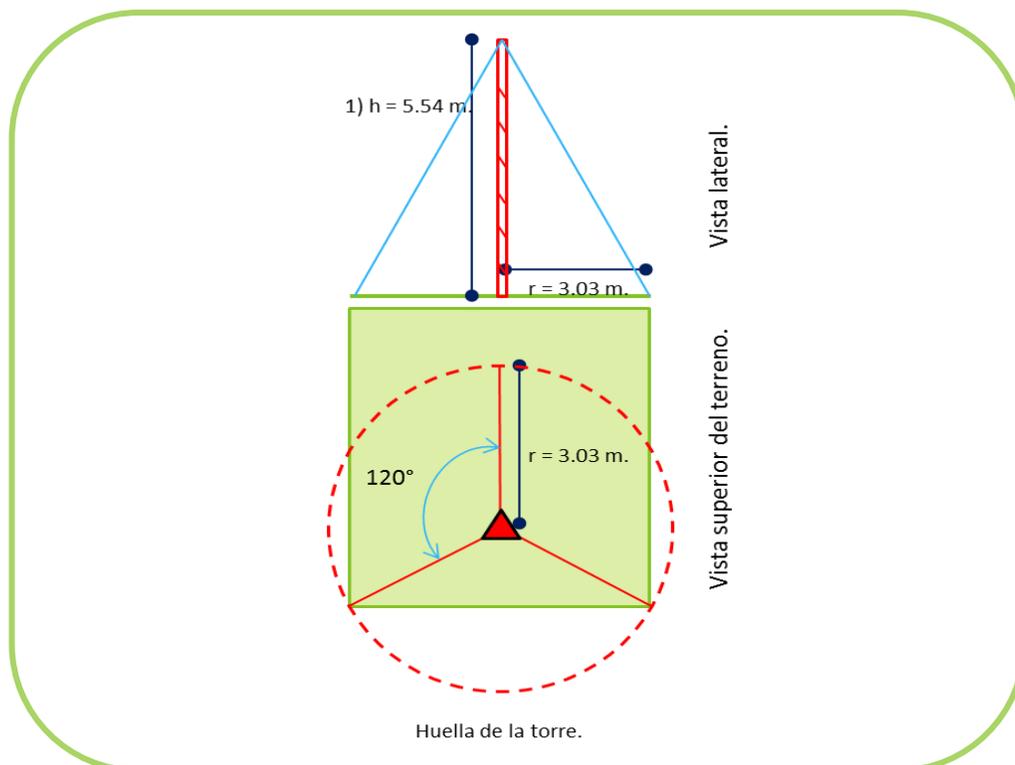
**Figura 78.** Terreno rectangular de 10.2 x 5.6 m.

Otra manera de ubicar el centro de la torre, es ubicando el punto **x** y **y**, como se muestra en la **Figura 78b**. De este modo, se saca más ventaja del terreno obteniendo un radio más grande que ayudará a determinar la altura de la torre en el siguiente inciso.

En la **Figura 79** se muestran diferentes formas de terreno en las que se puede dibujar la huella de la torre; y en la **Figura 80** se muestra la vista superior y lateral de la instalación de la torre de comunicación.



**Figura 79.** Ubicación de la torre para diferentes formas de terreno.



**Figura 80.** Vista superior y lateral de la instalación de la torre.

## b.2) Altura de la torre.

Una vez ubicada la torre dentro del terreno, se procede a calcular la altura. Este cálculo se realiza a partir de la medida del radio que se haya establecido en el círculo inscrito en el cálculo anterior.

Para que la instalación de la torre sea sólida, esta debe ser anclada a  $2/3$  de la altura de la torre, por lo que la altura de la torre queda establecido mediante a la **Ecuación 3.3:**

$$h_{torre} = \frac{3r}{2} \quad (3.3)$$

donde

$h_{torre}$ : Altura de la torre.

$r$ : Radio.

**Ejemplo:** Si se tiene un terreno donde se puede dibujar un círculo con radio de  $3.03 \text{ m}$ . ¿Qué altura máxima podrá tener la torre?

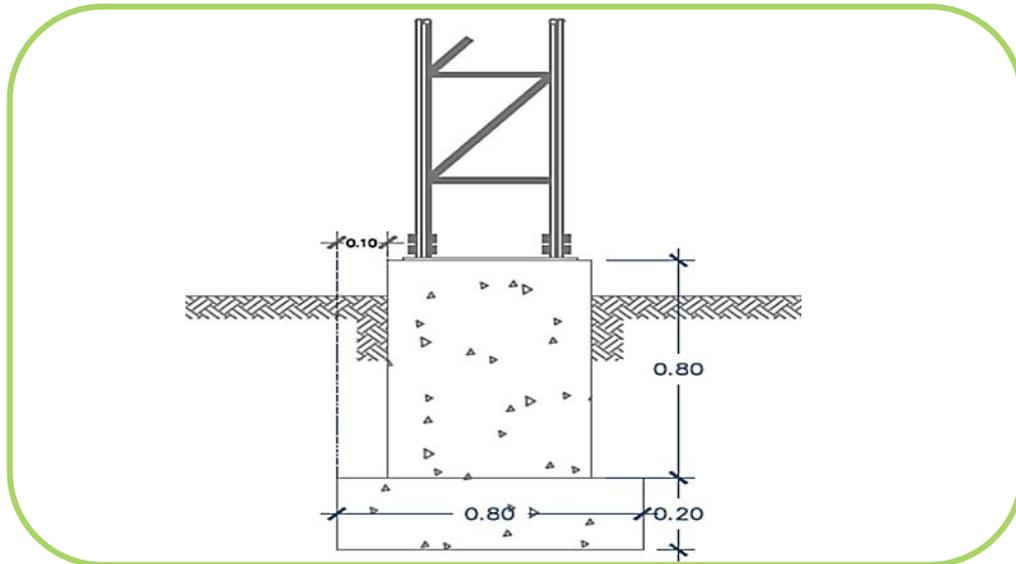
$$h_{torre} = \frac{3(3.03)}{2} = 4.54 \text{ m}$$

En la **Figura 80** se muestra gráficamente el ejemplo dado. Es importante recordar que la altura de la torre será validada por la Dirección General de Aeronáutica Civil<sup>72</sup> de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), y con el Instituto Federal de Telecomunicaciones.

---

<sup>72</sup> Página oficial de la dirección General de Aeronáutica Civil:  
<http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/aeronautica-civil/inicio/>.

### b.3) Cimientos.



**Figura 81.** Cimiento de la Torre: zapata y dado.

Una vez posicionada la torre y calculada su altura, se procede a realizar los cálculos de los cimientos.

La cimentación de la torre se debe elaborar por personal calificado. El ingeniero civil debe realizar los cálculos debidos sobre estudio de suelo.

Esta investigación propone emplear una cimentación típica, pero si los estudios geotécnicos realizados por el ingeniero, determinan el uso de una cimentación específica, se deben seguir los estándares correspondientes para ese caso, donde el constructor debe cumplir o exceder con dicho estándar **(AZTECA, 2014)**.

Los tipos de cimentación de torres comúnmente utilizadas son los siguientes:

- Dados y zapata.
- Zapata armada.
- Dados de anclaje.
- Barrenado para zapatas.
- Cimentación trapezoidal de concreto ciclópeo o concreto hidráulico.
- Anclas de bloques enterrados.

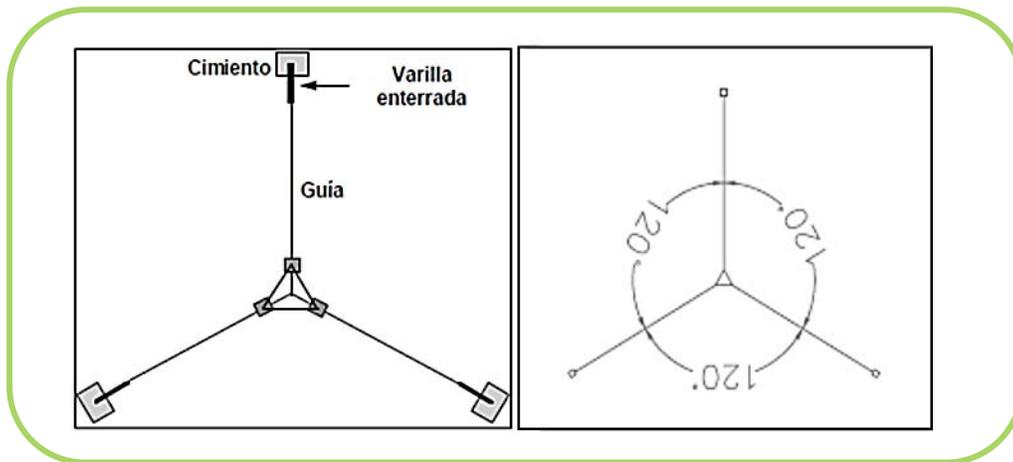
Esta investigación sugiere la cimentación de dado y zapata, donde la zapata es construida a **1.10 metros** de profundidad. Esta tendrá una medida de **0.80 x 0.80 m<sup>2</sup>** y una altura de 0.20 m. Sobre ella se armará un dado de **0.60 x 0.60 m<sup>2</sup>** con una altura de **0.80 m** y se colará con concreto a proporcionalidad 1-2-3 (cemento, arena, grava). Sobre el dado se fijará la **base** de la torre como se muestra en la **Figura 81**.

#### **b.4) Anclas.**

En el **Inciso b.1** se trató acerca de la ubicación de la torre dentro del terreno. En el cual se dibujó imaginariamente un círculo con tres radios separados por 120°. El cruce de los tres radios con la circunferencia corresponde a la posición de las tres anclas que darán sostén a la torre.

En la **Figura 82** se muestra la separación de 120° entre anclas, que asegura una distribución de fuerzas que le da solidez a la estructura, haciéndola resistente a los vientos.

De igual manera que con el cimiento de la torre, el instalador debe realizar el cálculo de suelo debido y ajustarse a este para construir la cimentación de las anclas.

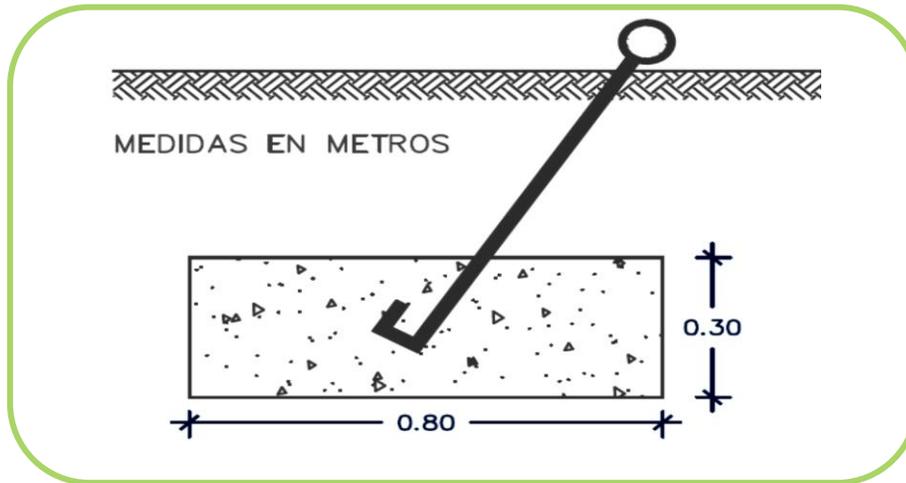


**Figura 82.** Alineación de anclas.

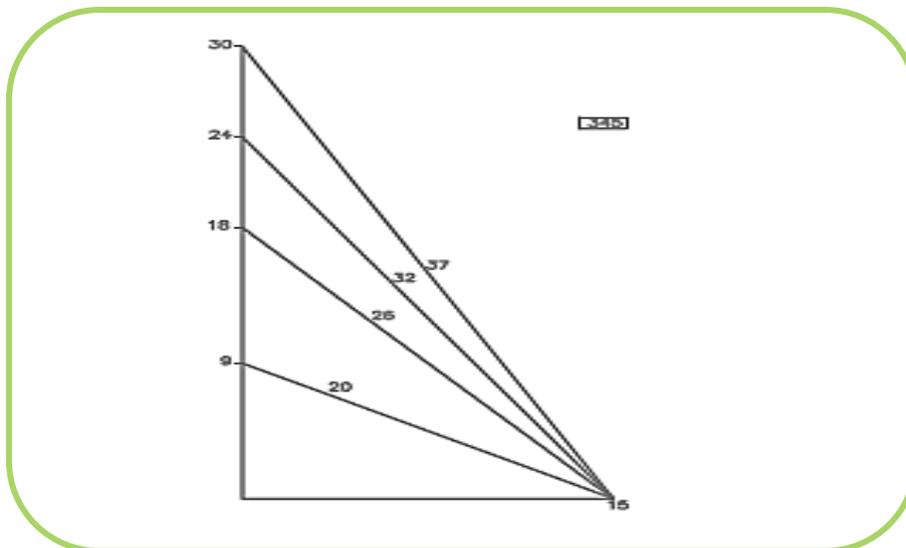
Esta investigación sugiere un modo típico para la construcción de los cimientos de las anclas. Un armado de zapata de  $0.80 \times 0.80 \text{ m}^2$ , con una altura de  $0.30 \text{ cm}$ , al cual se le amarrara un *perno tipo ojo*, como se muestra en la **Figura 83**, donde todos los elementos ensamblados funcionan como un ancla que lleva que sostiene a la torre, y así mantenerse firme ante el viento. La elaboración del concreto es de igual proporcionalidad al del cemento de la torre: 1-2-3 (cemento, arena, grava).

Una vez calculados la posición y los cimientos de las anclas, se procede a revisar la cantidad de retenidas que llevará la torre, lugar donde se sujetará la torre con las anclas.

La cantidad de puntos de sujeción depende de la altura de la torre, para lo cual cada compañía dedicada a la construcción de torres marca diferentes puntos y la distancia entre ellos. Además, la cantidad de retenidas dependen también de la velocidad del viento de la zona. Es importante que el cable sea tensado conforme al instructivo del fabricante para que puedan ser efectivas **(ZHAOWEI, 2012)**.



**Figura 83.** Ancla: Zapata y perno ojo.



**Figura 84.** Torre arriostrada con 4 tensores en un ancla en vista lateral.

La **Figura 84** muestra una torre con una altura de  $30\text{ m}$ , sujeta con 4 tensores en uno de sus lados. Dando a la torre, soporte y resistencia.

En el apartado **b) cálculos**, se prepararon las bases para ensamblar la torre. Se concluye destacando los siguientes puntos:

1. Se dibuja un círculo imaginario dentro del terreno, donde la circunferencia rose el borde del terreno, y el origen del círculo es usado para posicionar la base de la torre.
2. Se calcula la altura máxima en función del círculo imaginario dibujado dentro del terreno. Recuerde que la altura final se debe gestionar con Dirección General de Aeronáutica Civil<sup>73</sup> de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT),
3. Se realiza el cálculo de suelo para construir la base de la torre.
4. Se determina el número de anclas necesarias para sostener la torre. Generalmente son 3 anclas para una torre triangular, y entre ellas hay una separación de 120° con respecto al origen. La distancia entre la base de la torre y el ancla es la misma del radio del círculo que se usó para posicionar la torre dentro del terreno. Las anclas se construyen según el tipo de suelo que abunde en el terreno.
5. El número de retenidas, depende de la altura de la torre y de lo que especifique el fabricante.

El siguiente inciso tratará sobre la instalación de la antena de comunicación.

---

<sup>73</sup> Página oficial de la dirección General de Aeronáutica Civil:  
<http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/aeronautica-civil/inicio/>.

### **c) Instalación.**

Una vez construida la base de la torre y cimentadas las anclas, se procede a armar la torre. Cada fabricante propone una manera diferente de realizar la instalación, pero en esta sección indicaremos en términos generales como debe ser el ensamble.

**c.1 Tramos:** En el **Inciso b.3**, se llevó acabo el cálculo y construcción de los cimientos. En los cimientos se colocó la base de la torre, la cual queda fija en el armado del dado y fraguado con cemento, como se muestra en la **Figura 85**.

A partir de la base se empiezan a fijar los tramos, uniendo las piezas con tornillería. El montaje se realiza escalando los tramos ya colocados e izando posteriormente el tramo que se va a colocar, ayudándose de barras de elevación con poleas adecuadas para este tipo de trabajos, como se ilustra en la figura **(ZHAOWEI, 2012)**. Al finalizar la instalación de los tramos, se procede a colocar el remate de la torre.

La escalada deberá realizarse con los medios de seguridad adecuados (cinturón de seguridad, anclajes, casco, etc.) y no se dejarán más de dos tramos seguidos sin fijar, cuando coincidan dos tramos sin retenidas, se utilizarán cuerdas auxiliares para el ensamblado de los tramos durante el montaje.

**c.2 Retenida:** Según la altura de la torre, se instalarán el número de retenidas necesarias dentro de los tramos, a la distancia que marque el cálculo o que mocione el fabricante.

**c.3 Sujeción:** Mientras colocan los tramos de la torre, se van instalando las tres placas igualadoras, correspondientes a cada perno ojo, de las tres anclas. Se instala la placa igualadora con la cantidad de orificios necesarios, dependiendo del número de retenidas que necesita la torre.



**Figura 85.** a) Base de torre. B) instalación de torre tramo a tramo.

En cada orificio se coloca un templador, el cual proveerá la tensión necesaria para soportar la torre. En la **Figura 86** se muestra un ejemplo.

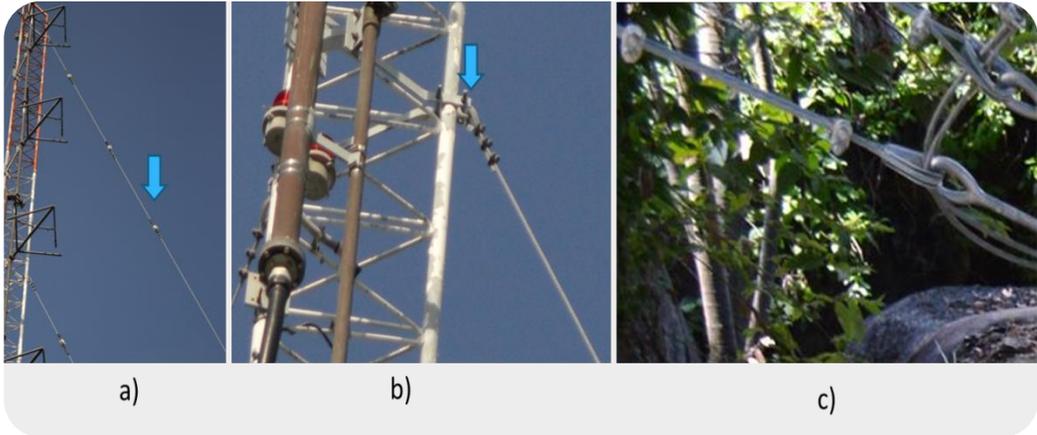
Después de instalar el sistema de sujeción, se procede a amarrar la torre a los templadores. Es necesario que estos tirantes no conduzcan a tierra, por eso, se debe usar una serie de aisladores de porcelana por cada tirante, como se muestra en la **Figura 87a**. La cantidad de aisladores es dada por el fabricante

En la parte de la torre se realizará un amarre en las retenidas como se muestra en la **Figura 87b**, con los tornillos "perro"; el cable galvanizado se recubre con el guardacabo, en la parte que se sujeta con la retenida, el cual le ofrece

protección. En la parte de las anclas se realizará un amarre como el correspondiente en la **Figura 87c**, en el cual se hace uso de los tornillos perro y los guardacabos. La cantidad de tornillos "perro" depende del fabricante, la fuerza del aire y la altura de la torre.



**Figura 86.** Instalación de sujetadores.



**Figura 87.** a) Aisladores. b) Amarre en retenida. c) Amarre en ancla.

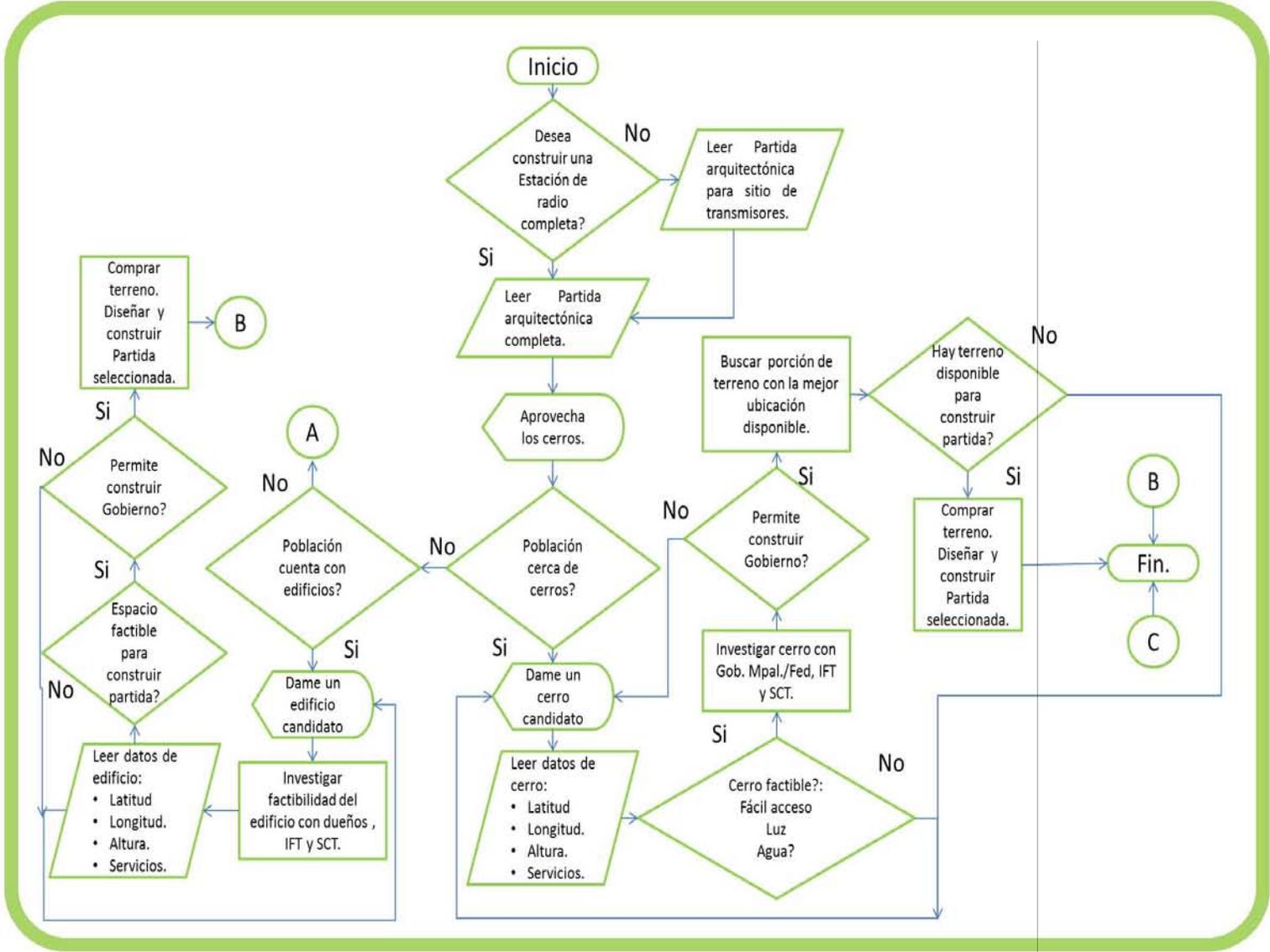
**C.4 Recomendaciones:** Los tramos deberán pintarse alternativamente en colores blanco y rojo aeronáuticos, siendo de este último color los extremos, con el fin de ser fácilmente distinguidos durante el día y de acuerdo con las normas de la O.A.C.I. (Organización Internacional de Aviación Civil). En torretas de altura superior a los 45 m deberá colocarse además una señalización nocturna, consistente en luces rojas dobles cada 15 m.

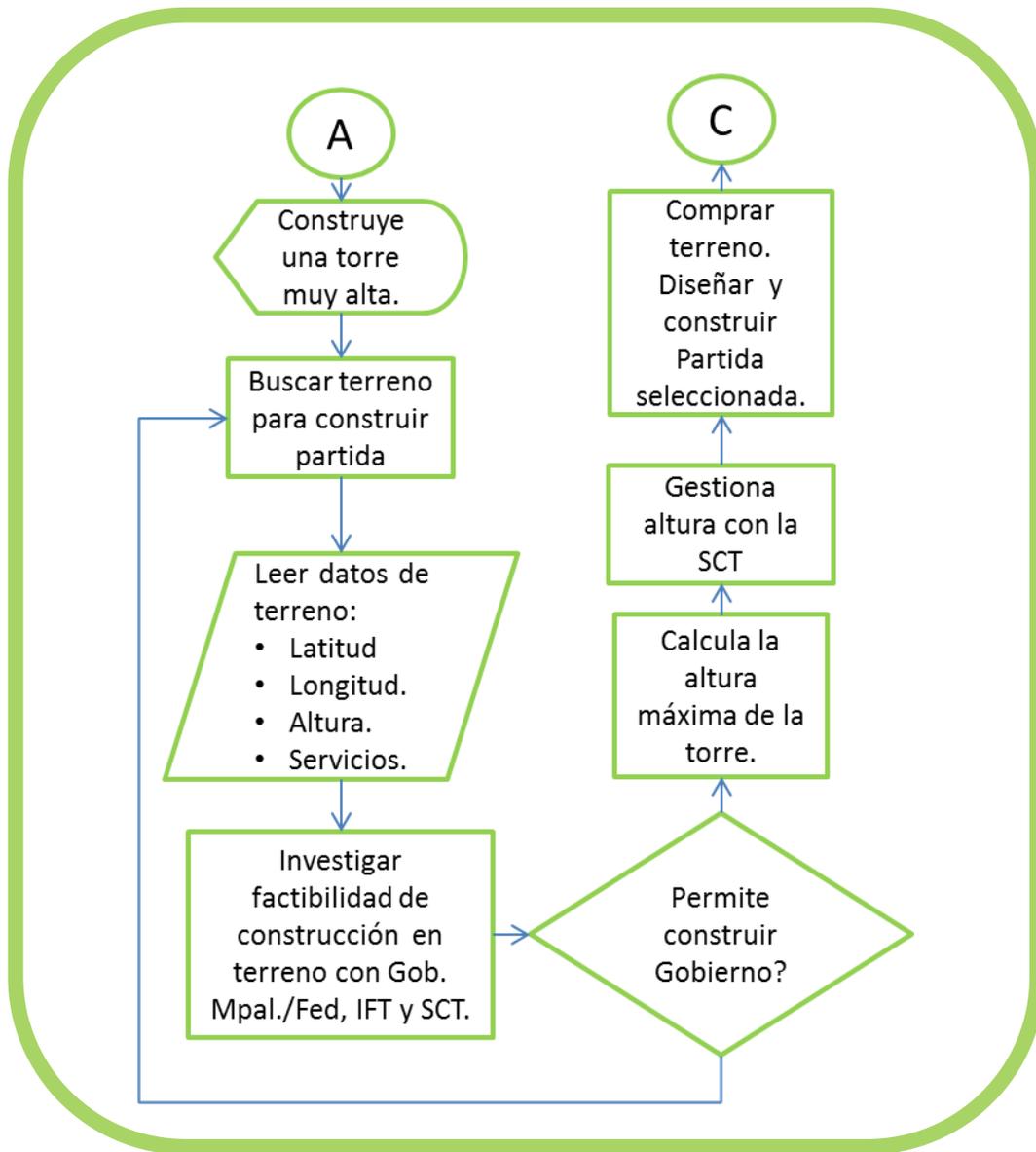
Es recomendable comprobar una vez al año el estado de las uniones y la tensión de las retenidas para garantizar el correcto funcionamiento de la estructura.

Para poner en claro lo desarrollado en este subcapítulo, se ha diseñado una metodología que se presenta en forma de diagrama de flujo en la **Figura 88**, sirviendo de guía al lector. De esta manera es más fácil comprender y llevar a cabo la construcción de una *Estación de Radio*

En la siguiente sección se desarrollará el proceso de *Instalación Eléctrica* para los equipos de transmisión dentro del *Sitio de Transmisores* y del *Estudio de Radio*, proponiendo una metodología práctica.

Figura 88. Metodología del Proceso de Obra Civil. Parte 1.





**Figura 87.** Metodología del Proceso de Obra Civil. Parte 2.

### 3.4 Sistema Eléctrico y Subprocesos.

---

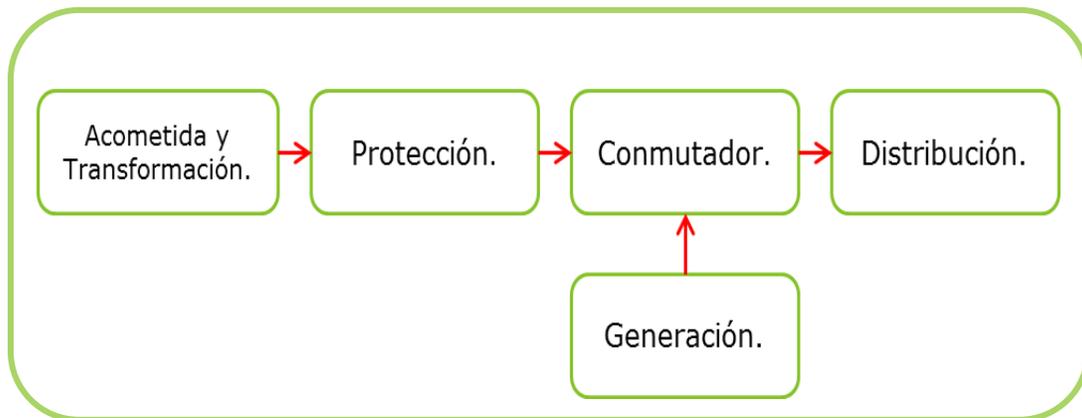


**Figura 89.** Midiendo flujo de corriente en un centro de carga.

Un *Sistema Eléctrico* comprende un conjunto de medios y elementos útiles para la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica (**ENRÍQUEZ, 2004**). Este conjunto está dotado de mecanismos de control, seguridad y protección.

Dentro de la estación de radio, debe existir un sistema eléctrico capaz de regular la electricidad que proviene de la red eléctrica comercial, y en caso de que haya ausencia de ésta, el sistema debe proporcionar otra entrada de energía proveniente de una planta de emergencia o generador eléctrico. Esta energía debe ser distribuida hacia los equipos encargados de realizar el *Proceso de Radiodifusión*; así como la distribución de corriente a las oficinas (si lo requiere el caso), sistemas de aires acondicionados y luminarias.

En la **Figura 90** se presenta el diagrama general del *Sistema Eléctrico*:



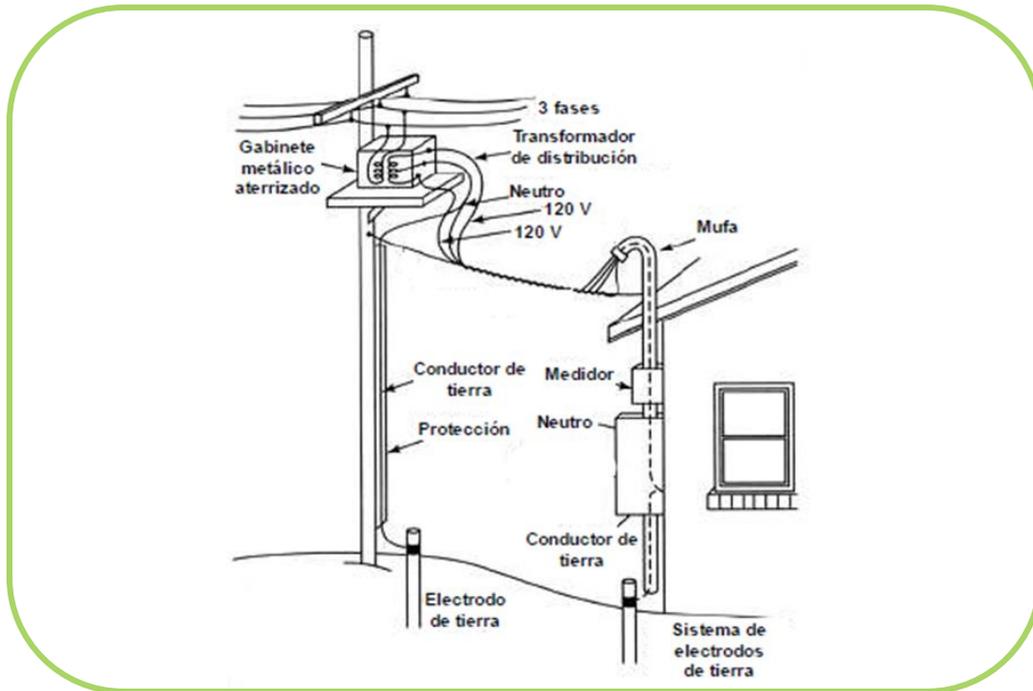
**Figura 90.** Diagrama del Sistema Eléctrico de la estación de radio.

El proceso correspondiente al Sistema Eléctrico, incluye los siguientes subprocesos:

1. Acometida.
2. Protección.
3. Conmutación.
4. Generación.
5. Distribución.

Este proceso debe realizarse a cargo de un Ingeniero Eléctrico (proveedor), el cual es el encargado de realizar los estudios del consumo de carga del **Sistema Eléctrico**, y es quién determina la elección del transformador, la planta de emergencia, el conmutador eléctrico y sistema de tierras, con el fin de evitar daños a los equipos del proceso de Radiodifusión.

### 3.4.1 Acometida.



**Figura 91.** Acometida con voltaje menor a 600 V.

Se denomina ***Acometida*** en las instalaciones eléctricas, a la derivación desde la red de distribución de la empresa suministradora (servicio eléctrico) hasta la edificación o propiedad donde se hará uso de la energía eléctrica **(ENRÍQUEZ, 2004)**.

Las acometidas en baja tensión (de 0 a 600/1000 Volts dependiendo del país) terminan conectadas en la caja de interruptores térmicos de protección; mientras que las acometidas en alta tensión (a tensión mayor de 600/1000 Volts) se conectan en un Centro de Transformación del usuario, donde se define como el comienzo de las instalaciones internas.

En la **Figura 91** se muestra un ejemplo de una acometida clásica que cumple con el estándar de la CFE.



**Figura 92.** Logotipo de la CFE.

Es importante mencionar que el usuario debe solicitar a la compañía que provee el servicio eléctrico, la revisión del transformador particular, para verificar que cumpla con las normas establecidas por dicha compañía.

Después de llevar a cabo la revisión por parte del personal de la compañía eléctrica, se indicará al usuario si es necesario realizar alguna modificación. Una vez que todo esté reglamentado, se procederá a solicitar el servicio trifásico de alta tensión que es necesario para energizar los equipos de la estación de radio.

### 3.4.2 Protección.

---



**Figura 93.** Interruptores de protección termomagnéticos.

Como parte integral del medio de desconexión principal, se debe instalar un dispositivo de protección contra sobrecorrientes. Este dispositivo de protección puede ser un juego de fusibles o un interruptor automático (térmico o termomagnético), ambos de capacidad interrumpida adecuada al cortocircuito máximo que se pueda presentar.

Se deben instalar medios de protección de los equipos contra **fallas a tierra en las cometidas en sistemas en "Y"** (estrella), sólidamente puestos a tierra de más de 150 V a tierra, sin exceder de 600 V entre fases, cuando los medios de desconexión de cada acometida tengan una capacidad de 100 A o más **(MORENO, 2007)**.

El sistema de protección contra fallas a tierra debe actuar sobre los medios de desconexión de acometida para abrir

todos los conductores de fase del circuito en falla. El ajuste máximo de protección será de 1200 A, y el retardo máximo de acción será de un segundo para corrientes de falla a tierra iguales o mayores a 3000 A.

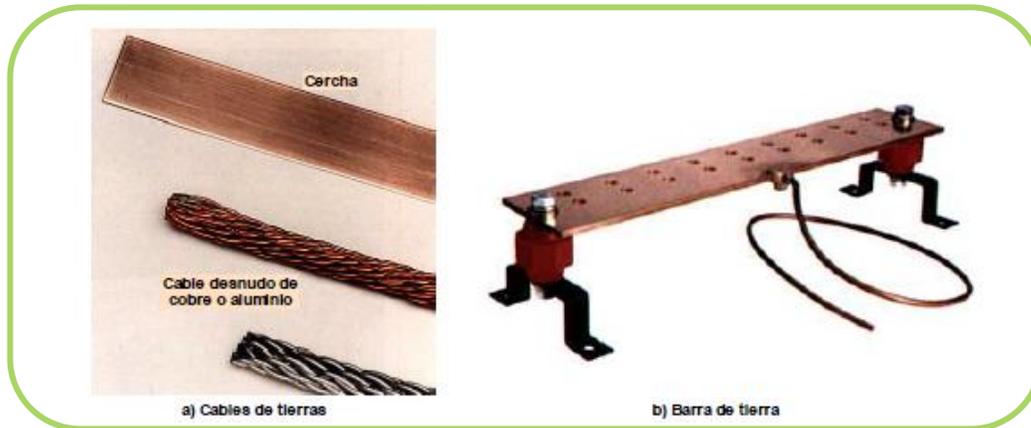
Se usan fusibles cuando se usa una combinación de interruptores. Los fusibles utilizados deben ser capaces de interrumpir cualquier corriente mayor que la capacidad de interrupción de carga, antes de que el sistema de protección contra fallas a tierra provoque la apertura del interruptor principal.

#### **a) Sistema de tierra física.**

Para una mayor protección es indispensable colocar un sistema de tierra física, que proporcione un aterrizaje inmediato de una descarga eléctrica generada por un alto voltaje en el sistema principal o en su defecto una sobrecarga atmosférica generada por un rayo incidiendo sobre la torre **(GILBERTSON, 2000)**.

El material de los conductores de puesta a tierra deberá ser como a continuación se describe:

- **Conductor de electrodo de puesta a tierra.** El conductor de electrodo de puesta a tierra debe ser de cobre, aluminio, o aluminio revestido de cobre. El material elegido será resistente a toda corrosión. El conductor puede ser sólido o cableado con cubierta o desnudo y deberá ser instalado en un solo tramo, sin uniones ni empalmes.



**Figura 94.** Partes de la tierra física: a) Cable de tierras. b) Barra de tierra.

- **Tipos de conductores de puesta tierra de equipos:** El conductor de puesta a tierra de equipo instalado con los conductores del circuito será una o más de las siguientes opciones o una combinación de ellas.

Un conductor de cobre u otro material resistente a la corrosión. Este conductor puede ser sólido o cableado, aislado, recubierto o desnudo, y en forma de barra o alambre de cualquier forma:

- Tubería rígida metálica.
- Charolas para cables.
- Una solera o barra.

En la **Figura 94** se muestra un ejemplo de los cables y barra de tierra. Los conductores de puesta a tierra se deben instalar como se especifica a continuación:

- **Conductor de electrodo de puesta a tierra.** Un conductor de puesta a tierra, o su cubierta, debe estar fijado de manera segura a la superficie que los soporta. Los conductores de puesta a tierra de aluminio con cubierta de cobre o aluminio no se deberán usar cuando estén en contacto directo con obras de albañilería, con la tierra o cuando estén sujetos a condiciones corrosivas. Cuando se use en el exterior, los conductores de cobre o de aluminio cubierto con cobre no se instalarán a una altura menor de 457 mm (18 pulgadas) de la tierra.
- **Cubierta para los conductores de puesta a tierra.** La cubierta metálica de los conductores de puesta a tierra deberá ser eléctricamente continua desde el punto de fijación a los gabinetes o equipo hasta el electrodo de puesta tierra.
- **Conductores de puesta a tierra del equipo.** El conductor de puesta a tierra del equipo, se instalará de la siguiente manera:

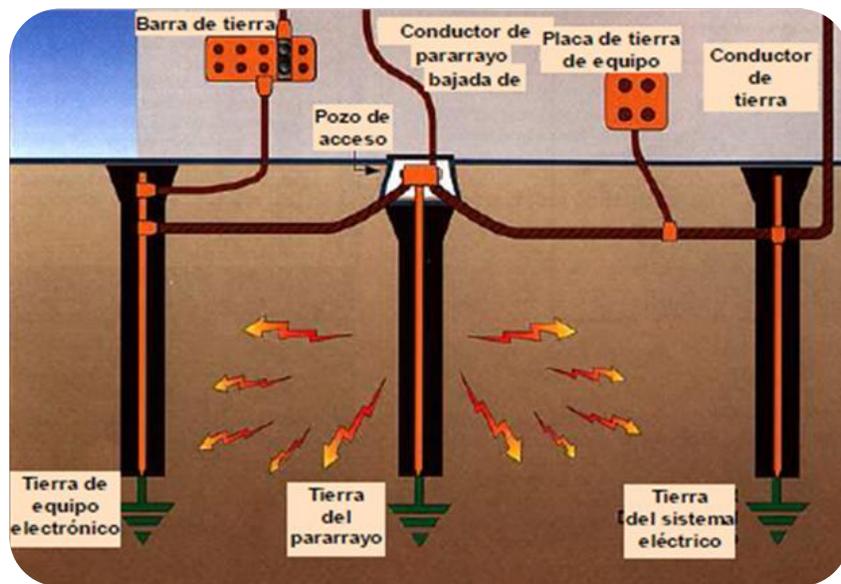
El conductor de puesta a tierra para una torre de transmisión o pararrayos, se debe instalar en línea recta tanto como sea factible, desde el mástil hasta el electrodo de puesta a tierra.

Las conexiones a los electrodos deben ser accesibles y todas las conexiones deberán realizarse mediante soldadura *cadweld*<sup>®</sup>.

La puesta tierra de la torre se deberá realizar a un electrodo diferente al del electrodo del pararrayos. Todas las conexiones de la torre al electrodo se deberán realizar mediante soldadura *cadweld*<sup>®</sup>.

- **Puesta a tierra de equipo y gabinetes.** Las señales que se emplean en los sistemas de control de los transmisores tienen una duración de unos pocos microsegundos y niveles de menores que 500 microvolts, los que las hace susceptibles al ruido en los cables de tierra o cables adyacentes. Por tanto, todos los cables de aterrizado deben ser baja impedancia sin uniones, y lo más directos posibles.
- Las conexiones de los gabinetes a tierra se deben realizar a través de barras de tierra mediante soldadura *cadweld*<sup>®</sup>. Las conexiones de los equipos a la barra de tierra se deben realizar mediante algún medio mecánico que provea una sujeción firme (tornillo, tuerca y roldana) los gabinetes se deben colocar sobre soportes aislantes.
- **Tierra de corriente alterna.** Los métodos de aterrizado consisten en dos alambres que corren en forma separada pero que se unen en el punto de tierra. El cable de tierra de alimentación de corriente alterna se debe conectar al panel de alimentación y a las tiras de aterrizado de los gabinetes de los equipos. El chasis del transformador de aislamiento, si es que se emplea, se debe conectar al neutro de corriente alterna ya que en el evento de una falla del primario del transformador, la corriente de falla se regresará directamente a la alimentación de CA en lugar de ir al sistema de tierra común, el neutro de la corriente alterna se debe conectar a tierra en la acometida.

La tierra de corriente directa de los transmisores, es un bus de tierra que le distribuye por todos los gabinetes y después se conecta a tierra. El uso de buses de tierra separados evita el cruce de señales. Estos buses de tierra se conectan a la tierra del gabinete de aquí a la tierra principal.



**Figura 95.** Sistema de tierra.

### **b) Aparta rayos.**

Las estructuras metálicas altas, atraen con facilidad los rayos atmosféricos (**MONTAÑA, 2011**). Para esto la torre de radio es protegida con un apartarrayos o pararrayos, el cual es conectado en el punto más alto de la torre y es aterrizado a la base de esta, puesta a tierra. En la **Figura 96** se muestran varios modelos de aparta rayos.

En circuitos de menos de 1000 V, la tensión del apartarrayos será igual o mayor a la tensión máxima de fase a tierra interrumpida a frecuencia nominal que se pueda tener en el punto de aplicación.

En circuitos de 1 KV o más, la capacidad nominal de un apartarrayos de tipo carburo de silicio, no será menor que el 125 % de la máxima tensión de fase a tierra que se pueda tener en el punto de aplicación.



**Figura 96.** Tipos de aparta rayos.

Las capacidades nominales de los apartarrayos de óxido metálico se basan en la tensión máxima de operación continua, y la magnitud y duración de las sobretensiones en el apartarrayos, cuando es afectado por fallas de fase a tierra, ondas por maniobras de interruptores y otras causas.

La instalación de estos apartarrayos se puede realizar en interiores y exteriores, y deberán estar inaccesibles a personal no calificado. Los conductores utilizados para conectar el apartarrayos, no serán más grandes de lo necesario y deberán evitarse curvas innecesarias.

### 3.4.3 Conmutación.

---



**Figura 97.** Conmutador marca Ottomotores.

El sistema de conmutación como su nombre lo indica es el encargado de realizar el cambio del sistema energético. En caso de generarse una falla en el suministro principal, el sistema de conmutación se encarga de *switchear* al sistema eléctrico alternativo (planta de emergencia) (**SANZ, 2009**).

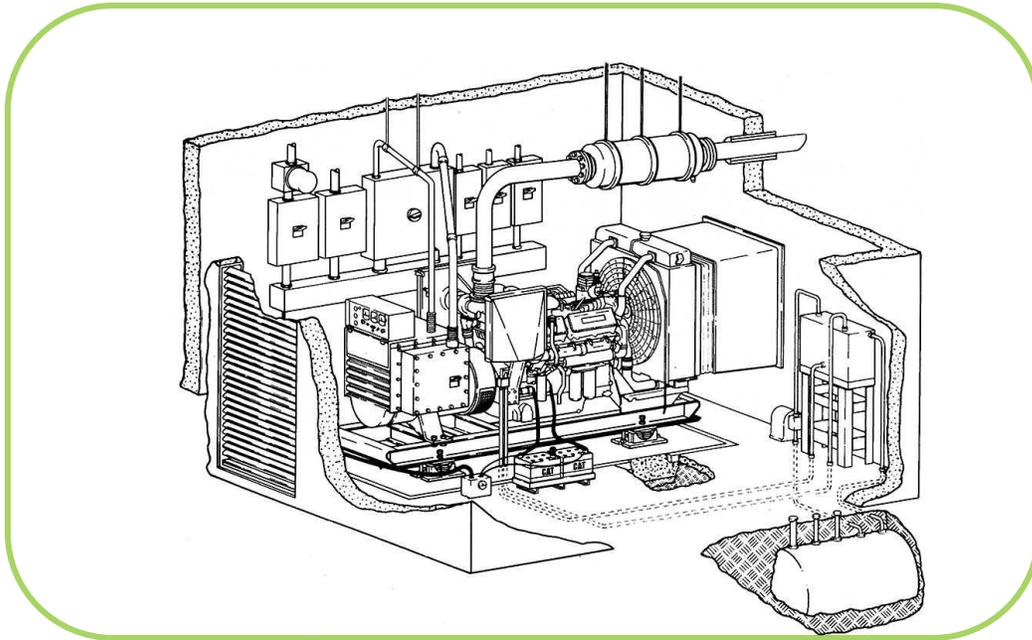
La tarea del sistema de conmutación, monitorea los voltajes de la red principal, controlando automáticamente las funciones de la unidad de transferencia. Este conmutador está equipado con un *display*, en el cual se aprecian las lecturas en tiempo real de ambos suministros (principal y alternativo); con este sistema se pueden realizar las siguientes operaciones:

1. Paro/desbloqueo.
2. Operación manual.
3. Modo de prueba.
4. Operación automática.
5. Arranque.

El sistema de conmutación por lo general se encuentra integrado a la planta de emergencia la cual se describirá en el siguiente subproceso.

### 3.4.4 Generación.

---



**Figura 98.** Vista interior de una Planta de Emergencia.

La planta de emergencia, ilustrada en al

**Figura 98**, es la encargada de la generación de corriente eléctrica, siendo este el sistema de energía alternativo al cual están conectados los sistemas de radiodifusión, en caso de un fallo en el sistema eléctrico principal (**ENRÍQUEZ, 1994**). Es muy importante que las plantas de emergencia sean capaces de manejar la carga requerida. Esto es, que puedan proporcionar la alimentación sin alteraciones en el nivel de voltaje ni en la frecuencia.

Para seleccionar la planta de emergencia, se deberán especificar los siguientes parámetros:

1. Número de fases.
2. Capacidad en KVA.  
Normalmente se debe calcular toda la carga e incrementar un 40% o más como protección. También se deben considerar las expansiones futuras de la estación de radiocomunicación.
3. Altura de operación.  
La eficiencia de la planta de emergencia está en proporción inversa a la altura de operación sobre el nivel del mar.
4. Características mecánicas.
5. Dimensiones y peso.
6. Equipo complementario o auxiliar.

La planta de emergencia debe ser capaz de arrancar, acelerar y tomar la carga dentro del tiempo requerido por la carga.

El voltaje y la frecuencia se deben mantener durante la secuencia de toma de carga, donde la frecuencia debe ser mayor a 57 Hz y el voltaje ser mayor al 90% del voltaje nominal, el voltaje y la frecuencia nominal se deben conservar durante operación normal más 10% o menos 2% **(ENRÍQUEZ, 1994)**.

Se recomienda que la planta de emergencia se ubique en el exterior del sitio de transmisores por seguridad, a continuación se presentan algunas características que se deben tomar en cuenta:



**Figura 99.** Planta de emergencia marca Ottomotores.

- Debe ser instalada en un lugar que permita su operación y mantenimiento.
- Se deberá colocar sobre amortiguadores de vibración.
- El interruptor de transferencia y el panel de control podrán estar también juntos en el mismo gabinete.
- Se debe calcular el peso total del equipo para la construcción de la base de concreto.
- La altura máxima de la base es de 30 cm y la mínima es de 10 cm.
- Para la solidificación completa de la mezcla se debe dejar secar durante 28 días y aplicar una presión de 3000 lb/in<sup>2</sup> **(AZTECA, 2014)**.

### 3.4.5 Distribución.

---



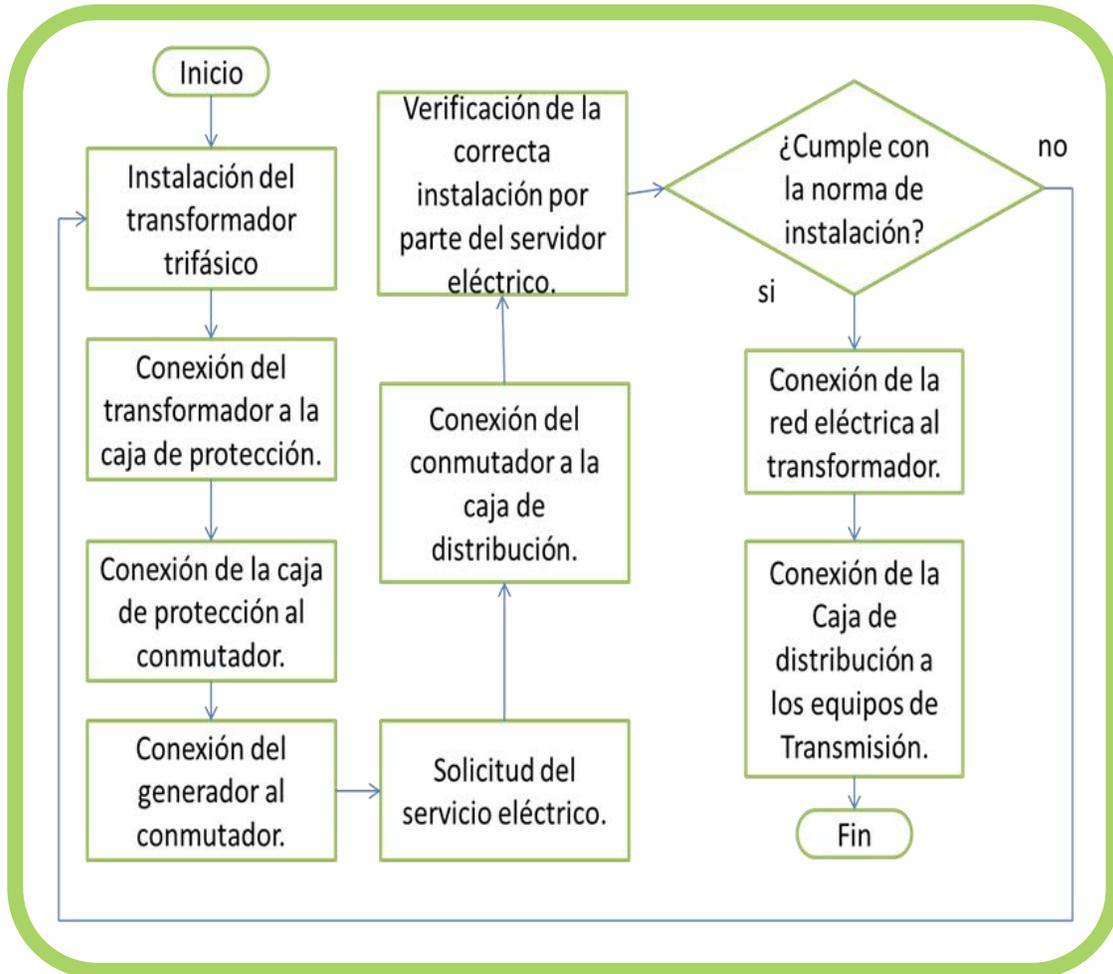
**Figura 100.** Centro de carga.

En este subproceso se desarrolla la distribución de las líneas que suministrarán voltaje a los equipos del sistema de transmisión, concentrando todo en un centro de carga el cual es segmentado por pastillas termomagnéticas, las cuales tienen que ser etiquetadas para su identificación, como el centro de carga mostrado con sus pastillas, de la **Figura 100 (AZTECA, 2014)**.

El ingeniero Eléctrico es el encargado de hacer los cálculos necesarios para la distribución de cargas, es importante hacer hincapié en esto, ya que una sobrecarga puede generar un mal funcionamiento del sistema eléctrico.

Con lo anteriormente realizado y analizado, se propone el método presentado por el siguiente diagrama de flujo de la

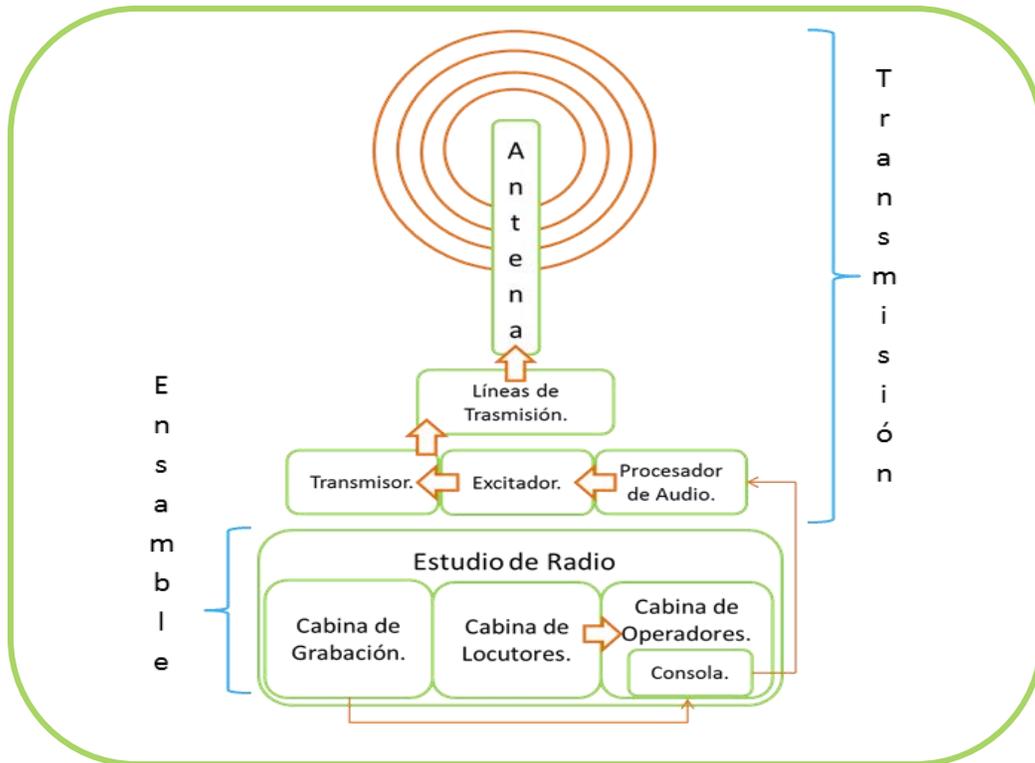
**Figura 101**, que presenta la logística para la instalación del sistema eléctrico en el siguiente orden:



**Figura 101.** Metodología para la instalación del Sistema Eléctrico.

En el siguiente apartado se tratará el proceso de *Radiodifusión* que es el proceso central de esta investigación.

### 3.5 Radiodifusión y Subprocesos.



**Figura 102.** Diagrama general del Proceso de Radiodifusión.

La *Radiodifusión* es el proceso que engloba la transmisión de señales de radio, que abarca desde la obtención de la información (fuente), hasta la radiación realizada por la antena **(SMITH, 1998)**.

Es un proceso complejo que tiene que ser realizado por personal calificado para obtener buenos resultados. En la

**Figura 102** se presentan los subprocesos que lo conforman:

1. Ensamble.
2. Transmisión.

Estos serán descritos en los siguientes apartados.

### **3.5.1 Ensamble.**

---

En esta etapa del proceso se empiezan a distribuir los espacios dedicados a las cabinas de grabación, locución y operación; las características de cada una de estas cabinas las describiremos a continuación.

#### **3.5.1.1 Grabación.**

---

En la cabina de grabación se llevan a cabo todas las grabaciones de *spots* (comerciales, notas informativas, ediciones de audio, música, identificación de la frecuencia, entre otros). Para esto, se requiere de un equipo básico y una cabina aislada de ruido, como se especificó en el apartado de obra civil. A continuación se sugiere un listado del equipo básico, el cual se ilustra claramente en la **Figura 103**:

- 1 Consola de audio (profesional o semiprofesional).
- 1 Computadora (4 Gb RAM, 500Gb HD, Windows o Apple, Tarjeta de Audio).
- 1 Reproductor de CD.
- 1 Amplificador de Audio.
- 2 Bafles monitor.
- Micrófonos de estudio
- 1 Software de edición de audio (Adobe Audition).
- Conectores RCA.
- Conectores Canon hembra.
- Conectores Canon macho.



**Figura 103.** Diagrama esquemático una estación de radio.

### 3.5.1.2 Locutores.

---



**Figura 104.** Cabina de Locutores.

En este tipo de cabinas se realizan programas de todo tipo, en donde locutores, comentaristas, realizan entrevistas, mesas de debates, información de contenido, etcétera; todo esto a través de micrófonos.

Las cabinas de locutores se diseñan de tal manera que sean aisladas de ruido tal y como se hace para una cabina de grabación solo que en esta por lo general en su interior llevan una mesa central u ovalada para los locutores y entrevistados con sus respectivos micrófonos y audífonos para monitoreo propio (**IDEAS, 2014**).

### 3.5.1.3 Operadores.

---

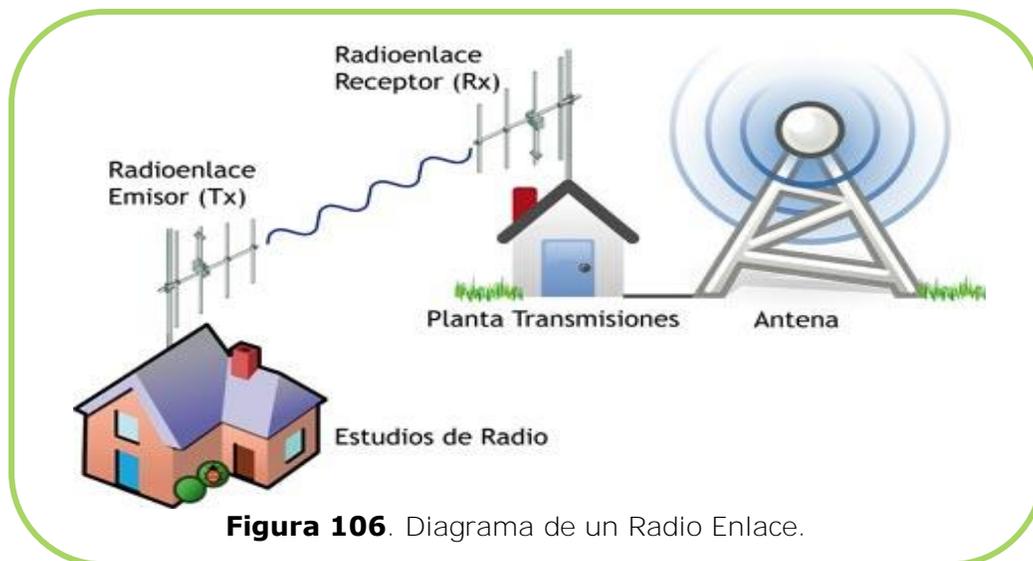


**Figura 105.** Cabina de Operadores.

La cabina de operadores o producción, como su nombre lo indica; en ella se realiza toda la producción que se lleva a cabo durante los programas y cortes comerciales. El técnico de audio se encarga del manejo de todas las señales de audio que entran a la consola ya sean los micrófonos de la cabina de locutores, reproductores de CD, computadora, receptor satelital, distribuidores de audio, puertos USB, y todo aquello que genere una señal de audio; es también el encargado de insertar los cortes comerciales.

Toda señal de audio inyectada a los canales de la consola es emitida a una señal de salida llamada *master out*. Esta señal producida es dirigida mediante cableado estereofónico o bien un enlace punto a punto, mejor conocido como, enlace estudio-plantas (**MONTOTO, 2000**). En el siguiente subtema describiremos este proceso.

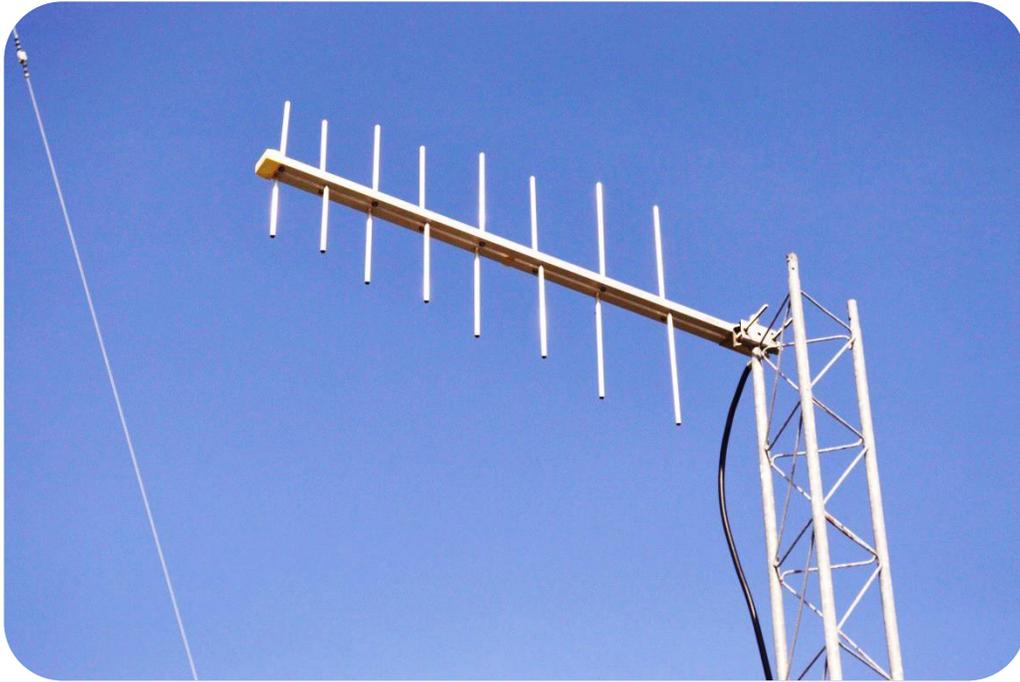
### 3.5.2 Transmisión FM.



**Figura 106.** Diagrama de un Radio Enlace.

El siguiente subproceso es el de Transmisión y Radiación. La señal de salida que se genera desde la cabina de operadores tiene que ser transmitida para poder ser sintonizada por los radioescuchas, para esto requiere de un proceso de transmisión, el cual se encarga de convertir la señal de audio en señal electromagnética **(HABERLE, 1980)**.

La ubicación del sistema de transmisión en ocasiones se encuentra ubicado en el mismo terreno que el de las cabinas, en estos casos sólo se manda un cable estereofónico hasta la caseta de transmisión. Por lo general la planta de transmisión es ubicada en terrenos altos y lejanos a los estudios, para esto se requiere de un equipo de enlace directo estudio-planta, al cual se le entrega la señal de salida de audio de la consola al transmisor de enlace, y éste la convierte en señal electromagnética y la radia por medio de una antena *yagui*, como se presenta en la **Figura 106**. Para esto se requiere línea de vista con el equipo receptor del enlace el cual se ubica en la planta transmisora **(PÉREZ, 2007)**.



**Figura 107.** Antena tipo Yagi.

Una vez que la señal es recibida en la planta transmisora se inicia con el subproceso de transmisión, para llevarlo a cabo es indispensable requerir del siguiente equipo:

- Procesador.
- Excitador.
- Transmisor.
- Línea de transmisión.
- Torre de radio.
- Antena.

En la siguiente sección se describirán las etapas del subproceso de *Transmisión*.

### 3.5.2.1 Procesador.



**Figura 108.** Procesador de audio con canales L, R y canales MPX.

Esta es la primer etapa del procesamiento de la señal de audio, la cual se compone por una señal analógica o bien que es continua en el tiempo, el medio de conexión a esta señal se da a través de una conector tipo XLR, el cual al ser de características balanceadas, reduce la probabilidad de inducción de ruido en la señal que se desea transmitir **(HABERLE, 1980)**. Una vez conseguida la señal desde su fuente (cabina de operador), se ingresará a una etapa en la cual la señal es digitalizada a valores discretos para poder ser interpretada por el sistema.

Con este dispositivo la señal de audio llega a la etapa de pre-énfasis, donde los criterios óptimos hacen su aparición para reducir la tasa de ruido que se puede inducir en la señal de interés, ya que sea por el mismo medio que la transporta o por las diversas etapas en las que se ve envuelta la señal durante su transmisión. En la **Figura 108** se presenta un Procesador con los canales Izquierdo y derecho.

Estos procesadores de audio manejan un filtro de 15 kHz el cual permite eliminar el ruido que puede llegar a exceder el tamaño de la señal de audio y evita que llegue a la frecuencia

piloto o de corte de 19 kHz, además de ser la parte que ocupa el 50% de la calidad de un transmisor. Una vez procesada la señal, se puede distribuir de dos maneras; la primera es inyectando la señal compuesta o multiplexada (MPX), y la segunda, es entregando los canales izquierdo y derecho (L y R, de sus siglas en inglés Left y Right, respectivamente). Esta señal se entrega a la entrada del excitador FM (**HERBET, 1980**).

### 3.5.2.2 Excitador.



Este equipo está compuesto por un oscilador y un amplificador; el oscilador como su nombre lo indica, oscila o vibra generando una señal constante de alta frecuencia que se usa como portadora (**LIMAN, 1989**).

Como la señal que genera el oscilador es muy pequeña, se requiere aumentarla con un amplificador de radiofrecuencia (RF). Y así se obtiene la señal portadora la cual servirá como carril para la señal de audio. La señal resultante, será una portadora con una frecuencia entre 88 y 108 MHz en FM. La salida del excitador se inyecta en el transmisor FM.

Existen transmisores que esta etapa de amplificación ya la traen incluida en su sistema, por lo general se maneja en los Tx de 1 KW a 5 KW FM.

### 3.5.2.3 Transmisor.



**Figura 110.** Transmisor de 50 W a 1 KW.

El transmisor tiene como función codificar señales ópticas, mecánicas o eléctricas, amplificarlas, y emitirlas como ondas electromagnéticas a través de una antena **(LIMAN, 1989)**.

Para obtener una transmisión correcta es necesario conocer cómo se clasifican los transmisores según el rango de potencia que manejan.

En transmisión de radio, el rango de potencia más común va de los 50 W a los 10 KW, por lo que los equipos son diseñados para trabajar dentro de estos valores y así clasificarlos de la siguiente manera:

- Compactos (50 W a 1 KW), transmisores de baja potencia, que incluyen el excitador así como la etapa de amplificación, estos equipos son enfriados por aire, en la **Figura 110** se muestra un ejemplo **(NAUTEL, 2014)**.
- Compactos modulares (1 KW a 5 KW), equipos que al ser necesaria una potencia mayor a 1 KW es necesaria una etapa de amplificación aparte, por lo que se requieren módulos externos por separado, estos transmisores tienen un sistema de enfriamiento de aire o bien por líquidos. Aparece un ejemplo en la **Figura 111 (ELENOS, 2014)**.



**Figura 111.** Transmisor de 2.5 KW a 5 KW.

- Modulares separados (5 KW a 10 KW o más), este tipo de transmisores están diseñados para potencias mayores a 5 KW los cuales requieren de un módulo de excitación, etapas de amplificación, y bulbos el cual maneja altas corrientes para producir la potencia requerida, el sistema de enfriamiento empleado puede ser de aire o bien líquido. Se puede contemplar un ejemplo en la **Figura 112 (BROADCAST, 2014)**.

#### **a) Sistema de Respaldo.**

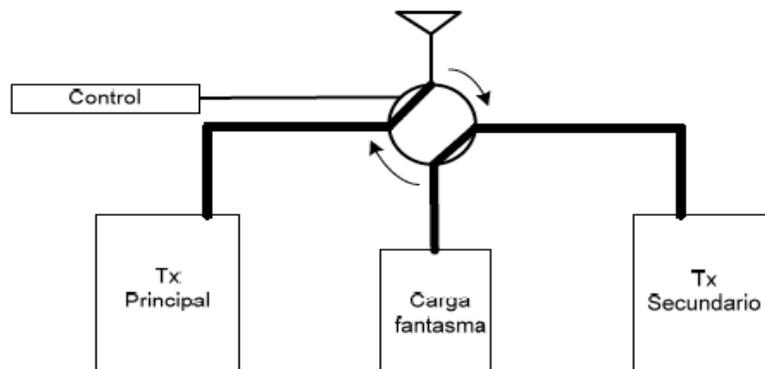
Para una radiodifusora es importante mantener la transmisión de su señal las 24 horas, los 365 días del año, por lo que es necesario tomar medidas como el establecimiento de sistemas de respaldo. Uno de los sistemas puede ser de tipo N+1, donde N es el número de equipos de respaldo que se pueden tener **(LIMAN, 1989)**.

Para ejemplificar, si se tuviera un Tx de RF principal y uno de respaldo (1+1), es necesario tener un sistema de control que se encargue de vigilar que cuando el transmisor principal sufra de algún tipo de falla y quede fuera de funcionamiento, haga el cambio al transmisor emergente por medio de una llave coaxial, así mismo puede servir para realizar la conexión del transmisor con una carga fantasma para realizar

reparaciones o pruebas. En la **Figura 113** se muestra un diagrama del sistema de respaldo.



**Figura 112.** Ejemplo de Transmisor de 10 KW a 40 KW.



**Figura 113.** Sistema de respaldo de Planta Transmisora.

## **b) Telecontrol.**

Es prácticamente la manera de tener comunicación con el transmisor de manera remota. Se puede tener acceso al transmisor remotamente aun cuando no esté encendido, sólo debe estar conectado a la corriente eléctrica. El Tx cuenta con opciones de modo local o remoto, el modo remoto se refiere a tener acceso a todas las funciones del Tx para poder ser manipuladas a larga distancia y el modo local ignora las funciones que se le mandan vía remota, en este modo sólo se puede monitorear el Tx, esto con la finalidad de seguridad. Algunos de los ajustes que se pueden hacer de manera remota son: cambio de frecuencia, impedancia, preénfasis, mode, sensibilidad, activar memoria, interlock, actualización de software, entre otros **(EGATEL, 2014)**.

Los protocolos que se pueden utilizar para la conexión remota son:

- File Transfer Protocol (FTP).
- Telecommunication Network (TELNET).
- Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP).
- Simple Network Management Protocol (SNMP).
- Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP).
- Internet Protocol (IP).

Para tener comunicación remota con el Tx, se tiene que conocer el web server del Tx en el que está dado de alta, mediante una conexión IP asignada al equipo, para ello se necesitan los conectores RS232 y RS485, mediante una conexión serial **(TX-FM, 2013)**.



**Figura 114.** Fabricantes de transmisores.

En la actualidad existen diversos fabricantes de transmisores para radio difusión FM. A continuación se da mención de las tres empresas más reconocidas a nivel mundial como *Nautel Broadcast* (1969), *Energy ónix* (1987) y *RVR Electrónica* (1979).

La conexión de un transmisor FM varía dependiendo el proveedor y a su vez la potencia a la que está configurado el equipo. Solo se recomienda seguir ampliamente las instrucciones del proveedor y sobre todo verificar el cableado y las tarjetas de control, que estén bien aisladas y no tengan juego, ya que esto es un factor de posibles fallas en el sistema.

El transmisor nos da a la salida una señal electromagnética (RF), la cual tiene que ser enviada a la antena radiadora, para esto requerimos de líneas de transmisión **(HUIDROBO, 2004)**.

### 3.5.2.4 Líneas.

---



**Figura 115.** Línea rígida con dieléctrico de aire.

En el *Capítulo 2* se mostraron los fundamentos teóricos que sirven de base para el desarrollo del proceso de radiodifusión, y en el **Apartado 2.2.2.1**, se trató de las *líneas de transmisión*. A continuación se tratará este concepto de manera práctica.

En el mercado se encuentra una gran variedad de líneas de transmisión enfocadas a múltiples aplicaciones. Las líneas pueden ser rígidas o flexibles, con dieléctrico de aire o dieléctricos sólidos, de perfil liso o corrugado.

Dependiendo de la potencia que deben manejar, se encuentran líneas de diámetros que van desde unos cuantos mm hasta más de 15 cm **(ICTP, 2014)**.

Las líneas flexibles o semiflexibles son atractivas en el sentido de que pueden doblarse dentro de ciertos límites, para adaptarse a la forma de las estructuras de soporte. Por otra parte, las líneas rígidas pueden soportar potencias muy grandes y emplean el aire como dieléctrico, lo que redundaría en pérdidas menores que en las líneas con dieléctrico sólido. En cualquier caso, tanto unas como otras tienen ventajas y desventajas **(BORIA, 2002)**.



**Figura 116.** Línea de transmisión flexible.

Las *líneas rígidas* con dieléctrico de aire consisten de un conductor interior y otro exterior, concéntrico, con separadores de dieléctrico de baja pérdida, como PVC (Cloruro de polivinil), espaciados uniformemente para mantener rígida la separación entre los conductores, el conductor exterior de las líneas rígidas suele estar desnudo, si bien en algunas puede estar recubierto de material plástico para evitar la posibilidad de corrosión (**ERI, 2014**). En la **Figura 115** se ilustra una línea rígida con dieléctrico de aire.

En la **Figura 116** se muestra un ejemplo de líneas o cables coaxiales flexibles o semiflexibles se utilizan extensamente en todos los sistemas de comunicaciones de potencias medias y altas. Pueden ser de dieléctrico de aire o sólido y tanto el conductor interior como el exterior están corrugados y suelen estar recubiertas de hule o plástico para evitar la corrosión. Tienen la ventaja de poderse transportar en carretes, con más facilidad que las líneas rígidas y su montaje, al ser de una sola pieza, resulta relativamente más fácil que el de las rígidas (**HERNÁNDEZ, 1999**).

### a) Conectores.

El uso de los conectores en las entradas y salidas de los transmisores, antenas y líneas de transmisión depende mucho de la potencia de salida. A continuación se muestra la **Tabla 3**. Calibre de los conectores y su potencia asignada. con las medidas y las potencias correspondientes:

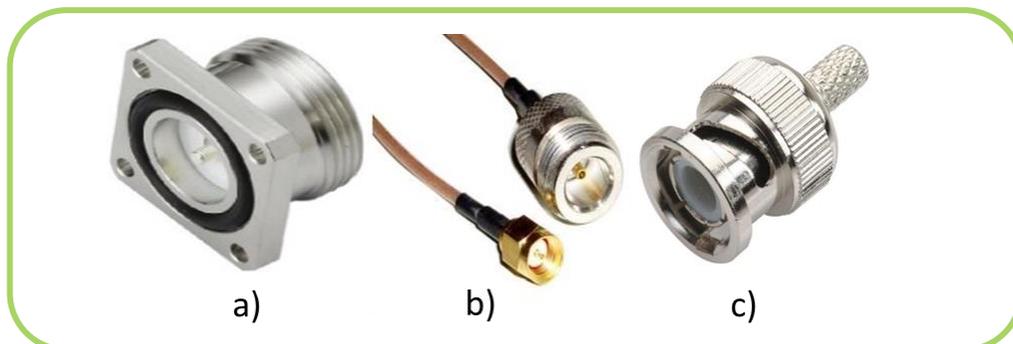
| Calibre      | Potencia |
|--------------|----------|
| <b>7/8</b>   | 6 KW     |
| <b>1 5/8</b> | 1.5 KW   |
| <b>3 1/8</b> | 50 KW    |
| <b>4 1/2</b> | 80 KW    |

**Tabla 3.** Calibre de los conectores y su potencia asignada.

Anteriormente se habló de la variedad de líneas de transmisión en tipo y tamaño, estas líneas requieren de diversos tipos y medidas de conectores, dependiendo en que sistema se utilizarán.

A continuación se presentan las más comunes:

- **Conectores 7/16:** reciben su nombre de las dimensiones del conector, ya que el contacto exterior tiene un diámetro de 16 mm y el diámetro exterior del contacto interior es de 7 mm. Son conectores diseñados para trabajar con potencias de hasta 100 W por canal (vea la **Figura 117a**).
- **Conectores N:** reciben su nombre del ingeniero Paul Neill, de los prestigiosos Laboratorios de Bell. Entre sus características destaca su durabilidad y resistencia a los agentes meteorológicos. Tienen un tamaño medio y un buen rendimiento para frecuencias hasta 11 GHz. Este tipo de conectores están disponibles para medidas de coaxial de 1/4", 3/8", 1/2", 7/8", 1 1/4" y 1 5/8". (vea **Figura 117b**).



**Figura 117.** Conectores: a) Tipo 7/16 , b) Tipo N, c) Tipo BNC.

- **Conectores BNC:** su principal ventaja es que es un conector que se monta rápidamente y queda firmemente sujeto gracias al mecanismo de bayoneta. Se utiliza principalmente en aparatos de medida (osciloscopios) y en sistemas de UHF de baja potencia. (vea la **Figura 117c**).

Los conectores son uno de los factores principales que provocan la mayor parte de las averías debidas a un alto nivel de RF o pérdidas de potencia de transmisión. Por tal motivo, el montaje se debe realizar siempre siguiendo las instrucciones del fabricante. Dependiendo del tipo de conector, existirán modelos en los que su acoplamiento al cable se realiza mediante soldadura, mientras que en otros se realizará mediante tornillos (**SEYBOLD, 2005**).

En conectores situados en el exterior es muy importante que queden correctamente aislados. Para esto, se encintarán en primer lugar con cinta vulcanizada, estirándola hasta que su ancho se reduzca aproximadamente un 30% y sobreponiendo cada vuelta con la siguiente. Esta cinta se adhiere por si sola, creando una funda que protege al conector de la humedad. Sin embargo, su resistencia a los agentes meteorológicos y a la luz del sol es reducida, por lo que, es necesario cubrirla con

cinta aislante negra. Lo ideal es realizar un encintado hasta conseguir tres capas **(INTI, 2014)**.

## **b) Eficiencia.**

Todo lo que no se convierte en energía RF, se convierte en calor, tomando en cuenta lo anterior, surge la necesidad de cuantificar en qué medida se aprovecha la energía suministrada, para generar la potencia deseada para el caso de los transmisores, es decir, la eficiencia **(GOLIO, 2000)**.

Los KW que son transformados a calor y son "vaciados" al ambiente, se vuelven en el principal enemigo de los dispositivos hechos con silicio, por lo que deben ser disipados para evitar sobrecalentamiento a los equipos que estén alrededor o al mismo transmisor, es por eso que se implementa un sistema de enfriamiento por medio de equipos de aire acondicionado, así también como ductos de salida del aire **(Soto, 2006)**.

En la eficiencia ( $E_f$ ) se deben tomar en cuenta todos los equipos que están relacionados directamente con la generación y disipación del calor. Para calcular la eficiencia, se sigue la **Ecuación 3.4**.

$$E_f = \frac{\textit{potencia de salida}}{\textit{potencia absorbida}} \quad (3.4)$$

En la siguiente sección se tratará el tema de la radiación, la cual es efectuada a través de la antena.

### **3.5.2.5 Antena.**

---

Las antenas son parte de los sistemas de telecomunicaciones específicamente diseñadas para radiar o recibir ondas electromagnéticas **(COUCH, 1995)**.

También se pueden definir como los dispositivos que adaptan las ondas guiadas, que se transmiten por conductores o guías a las ondas que se propagan en el espacio libre.

En el caso de la radiodifusión sonora, la energía habrá de distribuirse por igual en todas las direcciones, hablándose de la existencia de una cobertura omnidireccional; por el contrario, en el caso de los radioenlaces fijos se dispondrán antenas que concentren la energía en una determinada dirección, diciéndose entonces que las antenas son direccionales. Además de radiar, toda antena ha de ser capaz de captar energía del espacio que le rodea, observarla y entregarla al receptor.

Las dos características básicas de una antena son las de transmitir y la de recibir energía, bajo condiciones particulares para cada aplicación. Estas condiciones están relacionadas con la direccionalidad, los niveles de potencia a soportar, la frecuencia de trabajo; todo esto conlleva a una gran variedad de tipos de antenas **(CRAWFORD, 1974)**.

Existen varios parámetros fundamentales que deben tomarse en cuenta para obtener una transmisión eficiente con la antena, los cuales se describieron en la **Sección 2.2.2.2** del **Capítulo 2**; mientras que en esta sección se mencionarán características prácticas para la instalación en el proceso de radiación.

Las consideraciones importantes para la selección e instalación de una antena de FM serán analizadas con el proveedor, ya que estas difieren en potencia, calibración, peso, cobertura por mencionar los principales aspectos.

En la actualidad, existen en el mercado de las telecomunicaciones empresas dedicadas a la elaboración de antenas, las cuales ya cuentan con tablas de datos con la información descriptiva de cada modelo en sus páginas de internet. Algunas de ellas son: *OMB*<sup>74</sup>, *Harris*<sup>75</sup>, *Andrews*<sup>76</sup> y *Jampro Antennas*, por mencionar algunas.

La empresa *Jampro Antennas* se caracteriza por tener una buena relación de precio/eficiencia, con respecto a las otras marcas, lo que la hace atractiva para quien va invertir en una estación de radio. Esta marca proporciona varios modelos de antena según la aplicación que se requiera. Cuenta con antenas de radiocomunicación para FM, que van desde los 500 W hasta los 80 KW, un margen muy amplio para seleccionar el mejor arreglo de antenas. En la **Figura 118** se muestra parte del catálogo de la empresa *Jampro Antennas*<sup>77</sup>. Para poder ver las especificaciones de cada modelo, se puede acceder a la página oficial de *Jampro Antennas*, proporcionado en las notas al pie.

---

<sup>74</sup> Página oficial de OMB: <http://www.omb.com/>.

<sup>75</sup> Página oficial de Harris: <http://harris.com/>.

<sup>76</sup> Página oficial de Andrews: <http://www.andrewscom.com.au/site-section-08.htm/>.

<sup>77</sup> Página oficial de Jampro Antennas: <http://www.jampro.com/fm.html>.

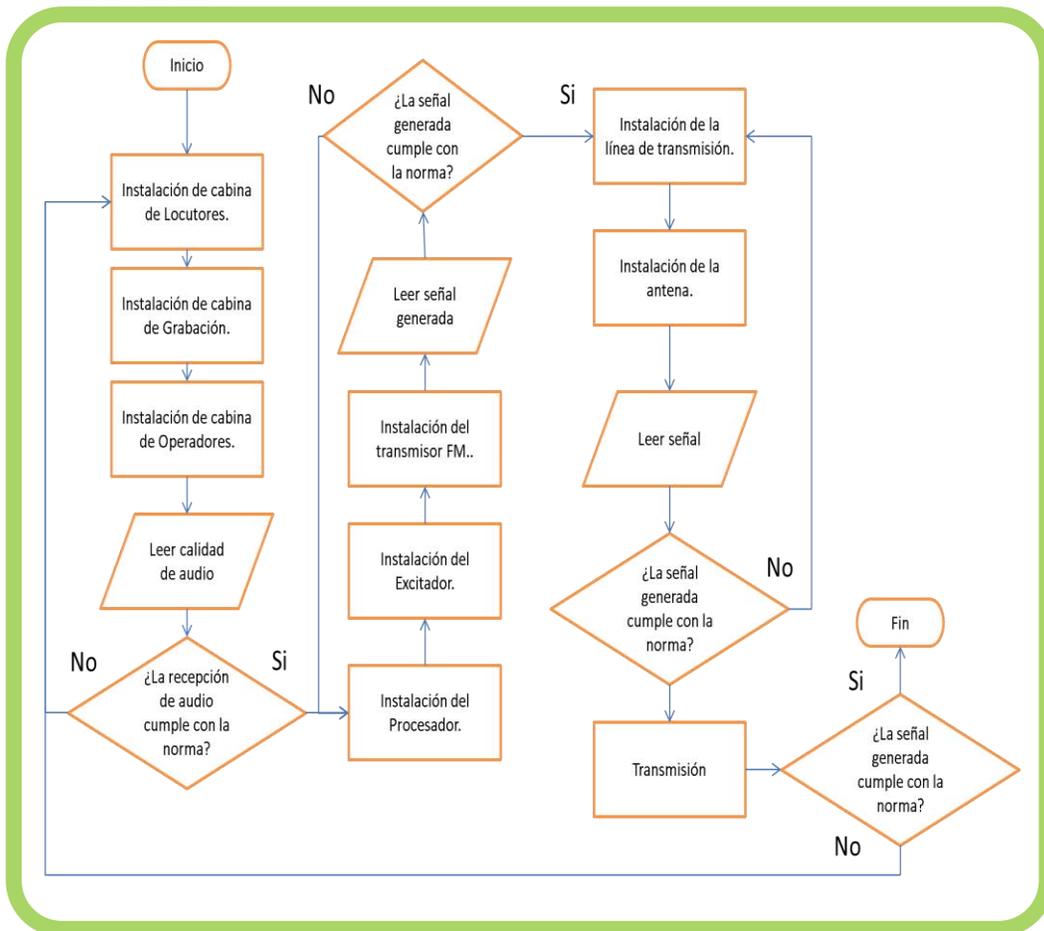
Como se mencionó anteriormente, la elección de la antena FM depende de ciertos parámetros que son necesarios conocer antes de elegir una antena o arreglo de antenas. En la **Sección 2.2.2.2.1** y **2.2.2.2.2** del **Capítulo 2** se describieron los parámetros que rigen las antenas de transmisión y recepción respectivamente. Es muy importante analizar y realizar ciertos cálculos para ser precisos al elegir una antena para la estación de radio.



**Figura 118.** Porción del catálogo Jampro Antenas.

El objetivo de esta sección, es dar a conocer algunos de los modelos comerciales que las empresas ofrecen, y que el lector haga sus propios cálculos, con respecto a las necesidades particulares de su proyecto.

En la **Figura 116** se presenta el diagrama de flujo que describe la metodología diseñada para el proceso de radiodifusión.



**Figura 119.** Metodología de Radiodifusión.

En la siguiente sección, se presentará una metodología donde se integran los procesos antes descritos.

### 3.6 Metodología DP-LGCD<sup>®</sup>.

---

En el **Capítulo 1, Sección 1.6**, se trató acerca de la aportación teórica de esta investigación: proponer un camino adecuado para describir el *Proceso de instalación de una señal de FM*, sintetizándose en la siguiente **Metodología<sup>78</sup> Dodecaédrica de Poncaré-LGCD<sup>®</sup>** o en forma más simple **Metodología DP-LGCD<sup>®</sup>**:



---

<sup>78</sup> El significado de las siglas de esta Metodología es el siguiente: D, de Dodecaédrica; P, en honor de Henri Poncaré (1854-1912); y LGC, por cada una de las siglas del apellido paterno de los autores de este trabajo, y por último, D, por la misma razón debido a la colaboración del asesor.

5. Esperar respuesta del IFT.

- Fallo a favor.
- Características de transmisión de la frecuencia autorizada.

6. Diseñar Obra civil:

- Caseta de Transmisores.
- Diseño de estudio de radio y oficinas.
- Selección de torre (arriostrada/autosoportada).

7. Diseñar Sistema Eléctrico:

- Carga requerida.
- Sistema de protección.
- Conmutador de cargas.
- Planta de Emergencia.
- Distribución de cargas.

8. Diseñar Estudios:

- Consolas.
- Micrófonos.
- Cable de audio.
- Conectores.
- Bocinas.
- Computadoras.

9. Diseñar el Sistema Transmisión.

- Transmisores.
- Procesador de audio.
- Excitador.
- Tipo de línea de transmisión.
- Tipo de antena.

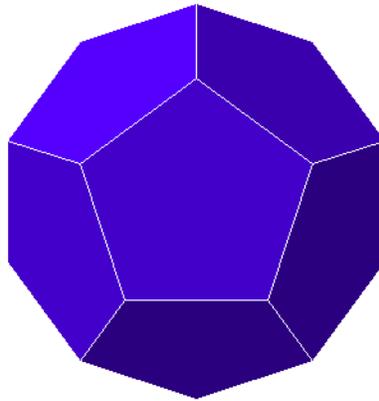
10. Implementar los puntos 6, 7, 8 y 9.



11. Evaluar con pruebas de funcionamiento:

- Voltajes.
- Corrientes.
- Potencia de salida.
- Potencia reflejada.
- Módulos de potencia.
- Prueba de sistema de emergencia.
- Diagrama de cobertura.
- Modulador FM.

12. Notificar a IFT el inicio de transmisión.



**Figura 120.** Dodecaedro.

El nombre de esta **Metodología** se inspira de la **conjetura de Poincaré**, propuesta por el francés Henri Poincaré<sup>79</sup> en el año de 1904, donde recientes investigaciones científicas exponen que el universo se asemeja al **espacio dodecaédrico de Poincaré**, también denominada esfera de homología de Poincaré (**ANEXO 7.3**).

<sup>79</sup> **Jules Henri Poincaré** (1854-1912) fue un prestigioso polímata: matemático, físico, científico teórico y filósofo de la ciencia. **Poincaré es conocido como el último "universalista"** (después de Gauss) capaz de entender y contribuir en todos los ámbitos de la disciplina matemática.



**Figura 121.** Jules Henri Poincaré (1854-1912).

En la **Figura 161** se presenta el diagrama esquemático de la metodología de este trabajo de investigación. En extenso, se presentan los diagramas de flujo de los procesos en la **Figura 160**.

Para una mejor comprensión de este capítulo, se lleva a cabo en el siguiente apartado la implementación del proceso planteado, el cual desarrolla de principio a fin el **Proceso de Instalación de una señal de FM mediante un caso de estudio**, dando respuesta a la pregunta antes generada:

*¿ dónde validar este proceso particular ? ...*



## 4. Caso de Estudio.

---



- 4.1 Selección.
- 4.2 Macroproceso.
- 4.3 Obra Civil.
  - 4.3.1 Predio: Cumbres.
  - 4.3.2 Estudio de Radio.
  - 4.3.3 Sitio de Transmisores.
  - 4.3.4 Torre Arriostrada.
- 4.4 Sistema Eléctrico.
  - 4.4.1 Acometida.
  - 4.4.2 Protección.
  - 4.4.3 Conmutación.
  - 4.4.4 Generación.
  - 4.4.5 Distribución.
- 4.5 Radiodifusión.
  - 4.5.1 Ensamble.
    - 4.5.1.1 Grabación.
    - 4.5.1.2 Locutores.
    - 4.5.1.3 Operadores.
  - 4.5.2 Transmisión FM.
    - 4.5.2.1 Procesador.
    - 4.5.2.2 Excitador.
    - 4.5.2.3 Transmisor.
    - 4.5.2.4 Líneas.
    - 4.5.2.5 Antena.
- 4.6 Síntesis.

## 4. Caso de Estudio.

---



En este capítulo se aplica la metodología desarrollada en un caso de estudio real, donde se validarán los procesos encontrados y se comprobará su viabilidad.

### 4.1 Selección.

---

Debido a que la ley de COFETEL, autorizó el cambio de frecuencia de AM a FM en el estado de Guerrero, varias empresas se dieron a la tarea de empezar a realizar este cambio. Coincidiendo en esas fechas con nuestra recién culminación de cursos en la universidad y la vinculación que tenía con el sector de las radiocomunicaciones, solicitó la empresa Grupo Fórmula Guerrero nuestros servicios profesionales para la migración de la señal de AM a FM, haciendo la instalación del equipo de transmisión y las pruebas.

Es en estas circunstancias fue donde nació la idea de este trabajo de investigación, por lo que también se aprovechó este proyecto laboral como un caso de estudio apropiado para validar la **Metodología DP-LGCD®**.

RADIO FÓRMULA S. A., es una empresa que opera en el Valle de México. Su fundador Rogerio Azcárraga Vidaurreta, padre del presidente actual, Rogerio Azcárraga Madero.

Esta emisora inicia sus transmisiones en el año 1968, con el nombre de Radio Distrito Federal, el cual cambió posteriormente. Sus frecuencias tenían una programación de corte musical, con el objetivo de introducir el Rock n' Roll en México (un ejemplo de ello es el programa "Vibraciones del

**Rock” que nace en 1985 con Humberto Cantú), objetivo que logra apoyándose de su empresa Discos Orfeón fundada en 1958.**

Dicha empresa, inició con la grabación de los grandes artistas del cine mexicano y de la época de oro de la música. Actualmente, se ha diversificado al comprar catálogos de España y Argentina, contando a la fecha con más de 80 mil grabaciones en estéreo digital.

Su logotipo mostrado en la **Figura 9**, el cual hasta la fecha se mantiene vigente, fue diseñado en Japón especialmente para la organización por Takiro Mizuyama. La imagen es una flor de loto que simboliza la expansión de las ondas hertzianas y dicho diseño ha sido el emblema distintivo de la organización.

Las frecuencias que en un principio formaban parte de esta empresa, eran: XERFR-AM 970, XEAI-AM 1470 y XEDF-AM 1500; y posteriormente se anexaron las frecuencias: XERFR-FM 103.3 y XEDF-FM 104.1.

Sin embargo, fue hasta 1987 cuando la historia de Radio Distrito Federal cambia radicalmente, debido a que el formato se modifica de musical ha hablado en las estaciones de AM (Amplitud Modulada), y empiezan a transmitir noticiarios conducidos por diversas personalidades.

La aceptación de los radioescuchas ante la programación de Radio Distrito Federal fue tan grande, que dio pie a la realización de un proyecto especial: la creación de una organización que se encargara de la transmisión a nivel nacional, surgiendo así RAMSA (Radio América de México S.A. de C.V.) en el año de 1994, (actualmente consta de 35

estaciones propias y 48 afiliadas aproximadamente, distribuidas en toda la República Mexicana).

Para dicho proyecto se crearon cuatro Cadenas Nacionales:

a) La Primer Cadena Nacional tenía en un principio una cobertura del 90.18% de la población urbana del país, sin embargo, la cadena continuó su ascenso y actualmente alcanza el 95% de cobertura.

b) La Segunda Cadena Nacional arrancó en 1997, actualmente alcanza un 90% a nivel nacional. Es importante destacar que durante el año (1998) Radio Distrito Federal da pauta a una nueva etapa de la organización, esto se debe, a que su nombre fue reemplazado por RADIO FÓRMULA, **adoptando el slogan: "su contacto con las grandes personalidades"**.

c) La Tercer Cadena Nacional, esta cadena se transmite en varias plazas del interior de la República, cubriendo actualmente 30 de las ciudades más importantes.

d) La Cuarta Cadena transmite a cuatro estados de la Unión Americana que colindan con México: California, Arizona, Nuevo México y Texas, y en México a: Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.

Por otra parte, al realizarse estudios sobre la demografía de la audiencia entre la estaciones de AM y comparándolas con las de FM, se obtuvo el resultado que la demografía de 25 a 44 años escuchaba la Frecuencia Modulada; en cambio la de la Amplitud Modulada era de 35 a 55 años. Basándose en lo anterior, Radio Fórmula actualmente trasmite simultáneamente la programación hablada en las frecuencias 970 AM y 103.3 FM, las cuales tienen cobertura nacional.

La suma de los dos ratings de Radio Fórmula AM y FM, la convirtió y hasta la fecha la mantiene como la radiodifusora con el primer lugar en todo el cuadrante en programación hablada con su barra noticiosa.

El crecimiento de la organización dio paso a la conquista de nuevos horizontes y a la necesidad de cubrir diferentes ámbitos como lo era la creación de una página WEB donde los usuarios tuvieran un mayor acercamiento hacia la empresa y a las personalidades que forman parte de ella. La fecha en que se dio comienzo a esta nueva etapa fue el 1º de diciembre de 2000, año en que [www.radioformula.com.mx](http://www.radioformula.com.mx) quedó a disposición de los usuarios. El estado de Guerrero no fue la excepción para esta expansión.

Radio Fórmula Guerrero inicia sus transmisiones el 15 de julio de 2004, transmitiendo la Primer cadena por su frecuencia combo XHAGR-FM 105.5 y XEAGR-AM 810, teniendo cobertura en el puerto de Acapulco, Guerrero. Posteriormente en el año 2009, se incorpora la segunda cadena con una tercer frecuencia la XEACA-AM 950, y en el 2010 se vuelve combo con la XHACA-FM 106.3, obteniendo así un mayor impacto radiofónico tanto de la Primera y Segunda cadena; logrando una mayor audiencia en Acapulco, Costa Chica y Costa Grande, tres de las grandes Regiones en las que se divide el Estado de Guerrero **(FORMULA, 2014)**.

Radio Fórmula licita para poder hacer el cambio de la frecuencia concesionada en la banda 950 kHz de AM, a la banda de FM, para lo cual la COFETEL el 3 de noviembre de 2010 autoriza se realice el cambio conforme a las disposiciones **establecidas en el "Acuerdo por el que se establecen los requisitos para llevar a cabo el cambio de frecuencias autorizadas para prestar el servicio de radio y que operan en la banda de Amplitud Modulada, a fin de optimizar el uso,**

aprovechamiento y explotación de un bien del dominio público **en transición a la radio digital**", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de septiembre de 2008 **(DOF, 2008)**.

Las características técnicas registradas de la estación se muestran en la **Tabla 4**:

|   |   |
|---|---|
| Frecuencia:   | <b>106.3 MHz.</b>   |
| Distintivo de llamada:  | XHACA-FM.   |
| Ubicación de equipo transmisor:   | Acapulco, Gro.  |
| Área de cobertura: Acapulco, Gro. y localidades comprendidas dentro del contorno de:                        | <b>60 dBu.</b>  |
| Potencia:   | <b>25.0 KW</b> Radiada aparente (Comunicación).           |
| Sistema radiador:   | No Direccional.   |
| Horario de funcionamiento:  | <b>24 horas.</b>  |
| Ubicación de la planta transmisora:   | Domicilio conocido Cumbres de Llano Largo, Acapulco, Gro. |
| Coordenadas Geográficas:  | L. N. : <b>16°49'29"</b> , L. W. : <b>99°49'55"</b> .     |
| Altura del centro de radiación de la antena sobre el nivel del terreno:                                     | <b>95 m.</b>  |
| Altura sobre el nivel del mar del lugar de instalación:   | <b>380 m.</b>   |
| Altura del centro de radiación de la antena con relación al terreno promedio entre <b>3 y 16 km</b> (AATP): | <b>408 m.</b>   |
| Potencia de operación del equipo:   | <b>9.4 kW.</b>  |

**Tabla 4.** Características técnicas registradas de la estación **106.3 MHz.**

En el siguiente apartado, se puntualizará la manera en que serán organizadas las etapas de instalación de la señal FM.

## 4.2 Macroproceso.

---

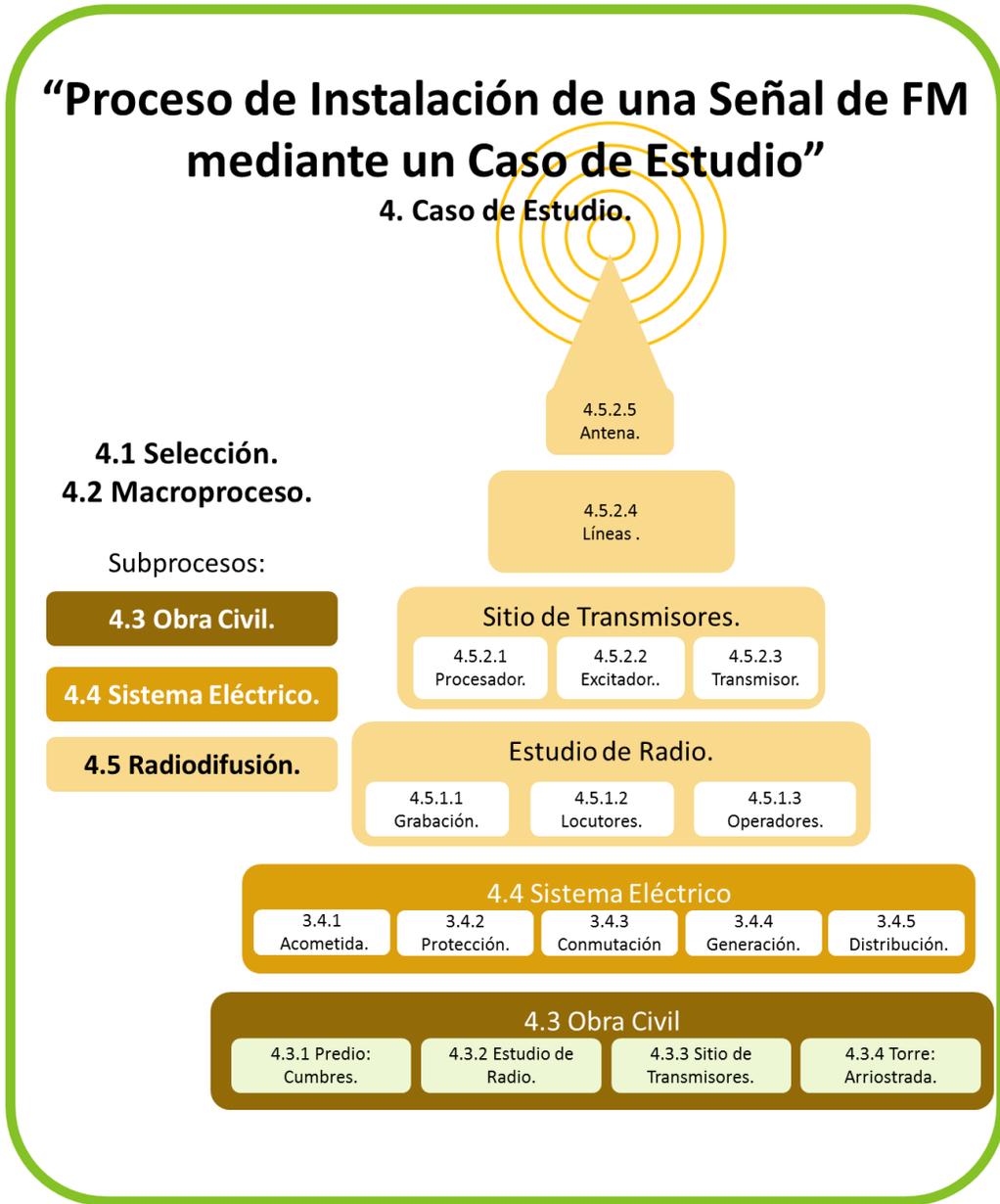
Con base en lo descrito en el *capítulo 3* de este trabajo de investigación, se justificará el macroproceso de **Instalación de una Señal de FM**, mediante un *Caso de Estudio*:

### **La Instalación de la Señal XHACA-FM 106.3 de Grupo Fórmula Guerrero.**

De acuerdo con la jerarquía de procesos, mencionado en el capítulo anterior, el macroproceso permite la distribución de los procesos particulares como se presenta en la **Figura 122**.

Ya que Radio Fórmula Guerrero inició en la ciudad de Acapulco en el 2004, con dos frecuencias, una en AM y la otra en FM, algunos procesos y subprocesos ya fueron construidos, como cabinas de operadores y locutores etc., pero serán contemplados en este capítulo para describir completamente la instalación de la nueva frecuencia 106.3 MHz.

Para presentar el *proceso de instalación* de este caso en particular, primeramente se debe partir revisando las instalaciones de Radio Formula Guerrero conforme al diagrama general del macroproceso de la **Figura 122**, y los requisitos expuestos por la IFT (antes COFETEL) Anteriormente mostrados, para después planear, construir e instalar los subprocesos restantes para transmitir en la frecuencia asignada. De esta manera se reduce considerablemente el tiempo de instalación, pago por materiales y mano de obra, arrojando un resultado favorable económicamente hablando.



**Figura 122.** Diagrama General del Macroproceso del Caso de Estudio.

A continuación se describirán cada uno de los procesos particulares realizados en el caso seleccionado.

### 4.3 Obra Civil.

---

En este apartado se verificarán cuáles son los subprocesos de la instalación de la señal **106.3 MHz (XHACA-FM)**, como lo especifica la **Sección 3.3**.

En la **Tabla 5** se despliega la lista de requisitos necesarios para la instalación de una señal, y en contraste se presentan las obras que ya han sido elaboradas:

| Subproceso            | Existencia | Cumplimiento |
|-----------------------|------------|--------------|
| Terreno               | ✓          | ✓            |
| Estudio de Radio      | ✓          | ✓            |
| Sitio de Transmisores | ✓          | ✓            |
| Torre de Comunicación | ✓          | x            |

**Tabla 5.** Requisitos de Obra Civil.

Como se destaca en la **Tabla 5**, este caso, la estación cuenta con un predio que cumple con las especificaciones requeridas, y contiene un Estudio de Radio, un Sitio de Transmisores y una Torre de Comunicación.

Sin embargo, la Torre de Comunicación no cumple con las especificaciones que pide la IFT, por lo que es necesario planear y construir una torre nueva dentro del predio.

A continuación se presentarán las características del terreno de Radio Fórmula Guerrero en Acapulco.

### **4.3.1 Predio: Cumbres.**

---

El terreno para este caso de estudio ya no tuvo que elegirse, pues la empresa Radio Fórmula Guerrero cuenta con un espacio en Acapulco de 3,222 m<sup>2</sup>, ubicado en Cumbres de Llano Largo en la Avenida Escénica, domicilio conocido.

Anteriormente, en este predio fue construida una casa habitación, donde los espacios libres fueron acondicionados para situar la partida arquitectónica de la Estación de Radio: Estudio de Radio, Oficinas Administrativas, Sanitarios, Estacionamiento, Caseta de Seguridad, Sitio de Transmisores, Sitio de Planta de Emergencia y Torre de Radio.

El terreno está ubicado en las coordenadas L. N.: **16°49'29"**, L. W.: **99°49'55"**, confirmadas por IFT (antes COFETEL) y está situado a 380 m sobre el nivel del mar. La ubicación de la torre y de su altura, posibilitan irradiar a mayor distancia.

Este predio cuenta con fácil acceso para sus trabajadores. En la siguiente figura se muestra el terreno de la estación de Radio Fórmula Guerrero.

En la **Figura 123**, se muestra una imagen aérea del predio de Radio Fórmula, y en la **Figura 124**, una imagen de la fachada.

El siguiente subproceso de la Obra Civil, para este caso de estudio, es lo concerniente al *Estudio de Radio*, y se presenta a continuación.

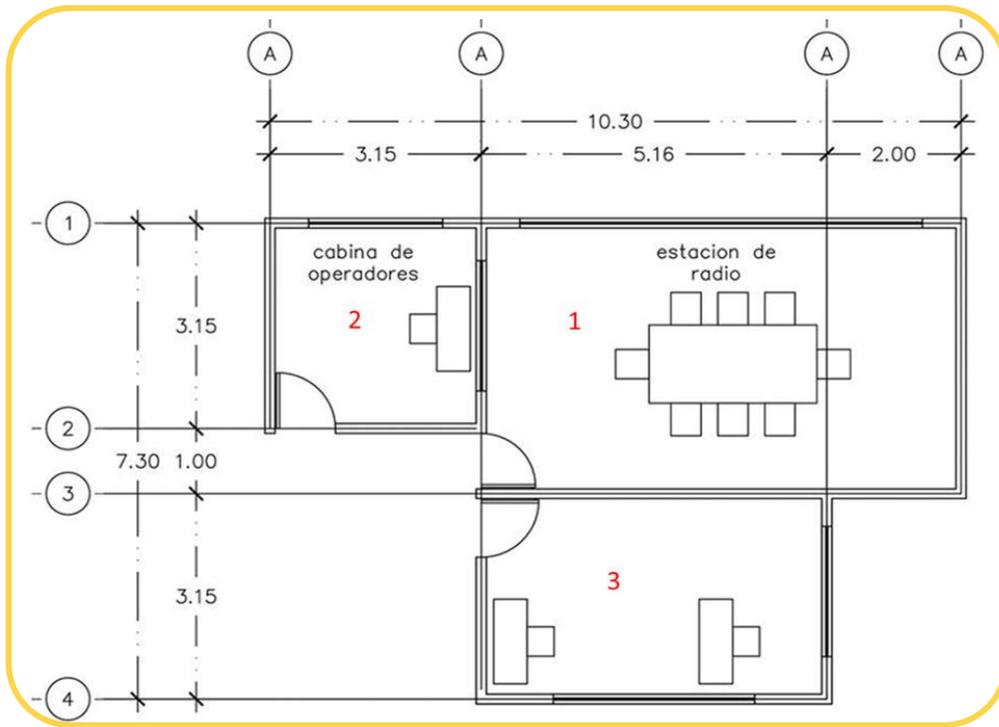


**Figura 123.** Terreno de Radio Fórmula Guerrero en Acapulco.



**Figura 124.** Vista desde la calle de Radio Fórmula.

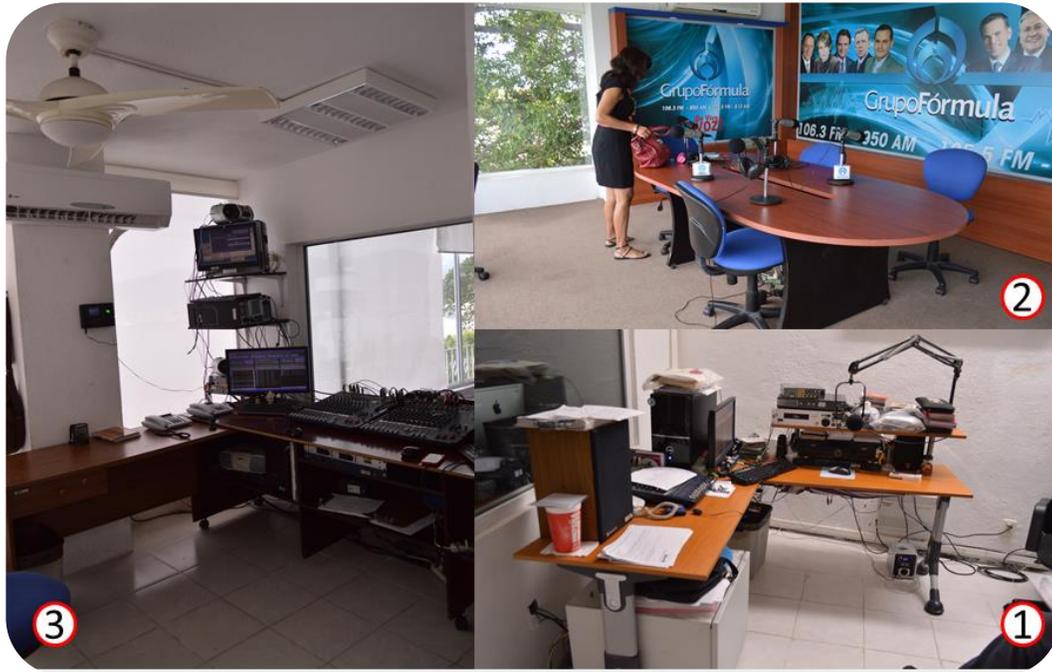
### 4.3.2 Estudio de Radio.



**Figura 125.** Planta de Estudio de Radio Fórmula.

Para sus primeras frecuencias, Radio Fórmula construyó un Estudio de Radio. Este consta de tres cabinas:

1. **Grabación.** El área asignada a esta cabina es de  $15 \text{ m}^2$ .
2. **Locutores.** Consta de un área de  $20 \text{ m}^2$ , acondicionado para usarse como estudio de radio y set de televisión.
3. **Operadores.** Esta cabina tiene un área de  $10 \text{ m}^2$ , con vista hacia la cabina de locutores separadas con dos cristales de un espesor de 8mm distanciados 5cm, sellados con silicón.



**Figura 126.** 1) Grabación. 2) Locutores. 3) Operadores.

Estas cabinas, fueron diseñadas, con los requisitos señalados en la **Sección 3.3.2**. En la **Figura 125** se muestra la planta arquitectónica del estudio, y en la **Figura 126** se presentan imágenes de cada cabina.

En el siguiente apartado, se tratará la Obra Civil concerniente al sitio donde serán instalados los equipos Transmisión y Planta de Emergencia.

### 4.3.3 Sitio de Transmisores.

---

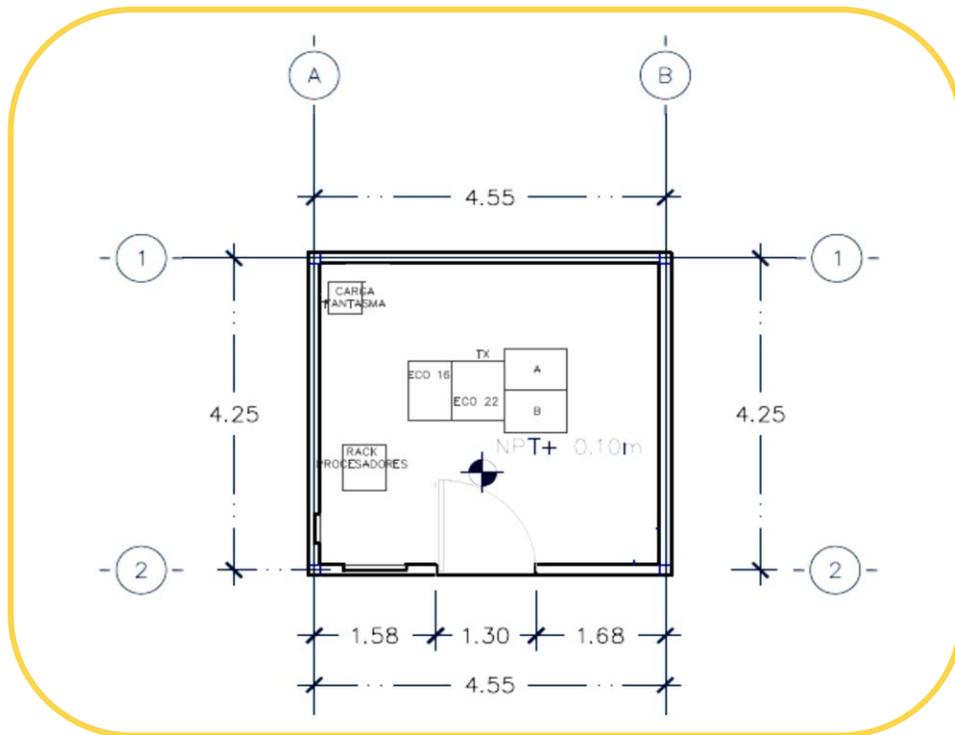


**Figura 127.** Sitio de Transmisores.

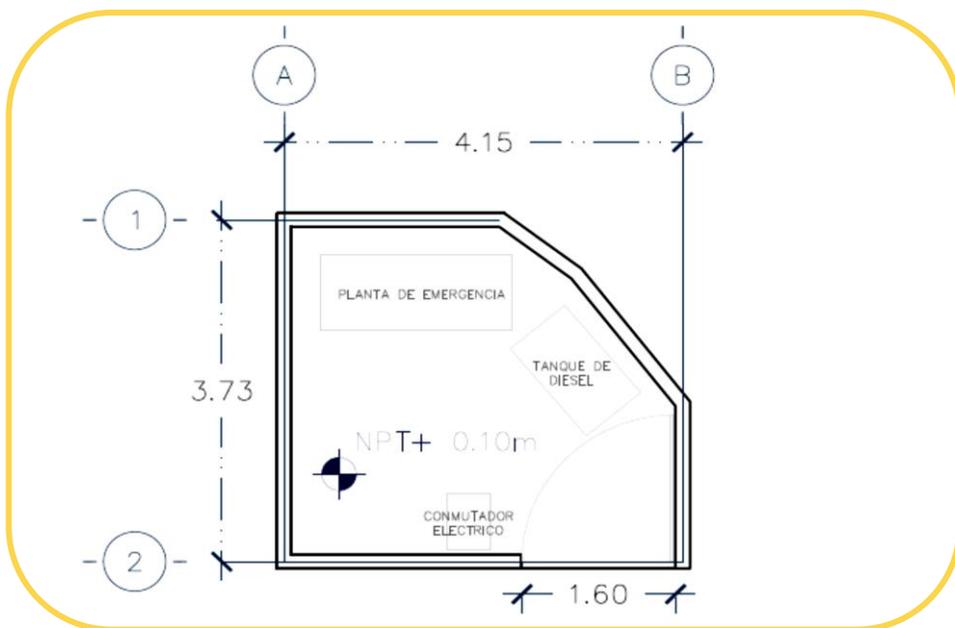
Dentro de las instalaciones de la estación, se encuentra un lugar destinado para los equipos de transmisión, las dimensiones de este espacio son  $4.55 \times 4.25 \text{ m}^2$ , dando un área total de  $19.33 \text{ m}^2$ . Este sitio fue acondicionado, con respecto a lo mencionado en la **Sección 3.3.3**, para albergar de manera eficaz los equipos de comunicación. En la **Figura 128**, se presenta la planta arquitectónica del *sitio de Transmisores*.

La *Planta de Emergencia* se sitúa una caseta independiente, a 20 m del *Sitio de Transmisores*. La caseta tiene forma irregular, y en la **Figura 129**, se presentan sus medidas y la disposición de los equipos que aloja.

Una vez detallado este sitio, se procede a describir el Subproceso correspondiente con la torre de comunicación, que en este caso particular será con tirantes.



**Figura 128.** Planta Arquitectónica del Sitio de Transmisores de Radio.



**Figura 129.** Planta Arquitectónica de la Planta de Emergencia.

#### 4.3.4 Torre Arriostrada.

---

Dentro de las Instalaciones de la estación, existe una torre de comunicación, pero esta no cumple con los parámetros presentados por la IFT, específicamente en la altura, es por esto que se debe calcular e instalar una torre especialmente, para transmitir la frecuencia 106.3 MHz. Esta implementación se realizará de acuerdo con la metodología sugerida en el *Capítulo 3*, conjuntamente con los parámetros que autorizó la COFETEL (ahora IFT) el 5 de Noviembre del año 2010, mostradas en la **Tabla 6**:

| <b>Parámetros para Instalación de la Torre</b>   |   |
|--|---|
| a) Ubicación de la planta transmisora:   | <b>Cumbres de Llano Largo, Acapulco, Gro</b>    |
| b) Coordenadas geográficas:  | <b>L.N.: 16° 49´ 29",<br/>L.W.: 99° 49´ 55"</b> |
| c) Altura del centro de radiación de la antena sobre el nivel del terreno:                       | <b>95 m.</b>                                    |
| d) Altura sobre el nivel del mar del lugar de instalación:                                       | <b>380 m.</b>                                   |
| e) Altura del centro de radiación de la antena con relación al terreno promedio entre 3 y 16 km: | <b>408 m.</b>                                   |
| f) Potencia de operación del equipo:   | <b>9.4 kW.</b>                                  |

**Tabla 6.** Parámetros autorizados por COFETEL.

De acuerdo con estos parámetros se va a realizar la instalación de la torre:

- Cálculos.
- Cimientos.
- Señalización.
- Instalación.

### a) Cálculos.

Antes de instalar la torre, es preciso calcular la posición de la base y de las retenidas que darán sostén a la estructura. Según la COFETEL, esta torre puede tener una altura de hasta 95 m, dependiendo de la superficie del terreno. Pero la superficie del terreno donde se posiciona Radio Fórmula Acapulco, sólo puede alojar una torre de 60 m. Este cálculo se elaboró de acuerdo con la fórmula presentada en la **Sección 3.3.4**:

$$h_{torre} = \frac{3r}{2} \quad (3.3)$$

donde:

$h_{torre}$ : Altura de la torre.

$r$ : Radio de la superficie.

Si situamos un círculo imaginario dentro de los límites del terreno, se podrá posicionar la torre al centro del círculo, y las retenidas serán ubicadas dentro de los límites del mismo.

Dentro del terreno de Radio Fórmula se puede ubicar un círculo con un radio de **40 m**, este dato lo podemos sustituir en la fórmula y así se obtiene que

$$h_{torre} = \frac{3(40m)}{2}$$
$$\frac{120 m}{2} = 60 m$$

De acuerdo con este resultado, se debe comprar el material necesario para instalar una torre de esta altura.

Se elige como opción una torre arriostrada modelo AT-60R, recomendada para terrenos amplios, muy poco accesibles, resistente a vientos fuertes y soporta perfectamente el peso de toda la antena **(Torre, 2012)**.

El modelo AT-60R se compone de los siguientes elementos:

- 1 Base para torre tipo pata de gallo.
- 15 Tramos de torre.
- Remate de torre.
- Placas igualadoras de tensión modelo D3.
- 9 Templadores.
- 9 Guardacabos.
- 9 Perno ojo.
- **Rollo de cable para retenidas de 1/2"**
- Tornillos tipo perro.

## **b) Cimientos y Anclas**

Las cimentaciones fueron elaboradas tomando en cuenta la **Sección 3.3.4**, en el apartado: *Cimientos*.

La construcción de los cimientos y las anclas fueron supervisadas por un Ingeniero Civil, quien realizó el estudio de suelo y los cálculos necesarios para levantar una torre que resista cualquier fenómeno natural.

Para este proyecto, donde la torre medirá **60 m**, se seleccionó la cimentación tipo dado y zapata. Haciendo los cálculos debidos, los resultados arrojaron que es necesario construir la zapata a una profundidad de **1.70 m**, con una altura de **0.20 cm** y con dimensiones de **1.20 × 1.20 m<sup>2</sup>**.



**Figura 130.** Armado de zapata y dado.

Sobre este armado, se amarrará un dado justo en el centro, con una altura de 1.80 m, sus dimensiones son de  $0.80 \times 0.80 \text{ cm}^2$ . Después de armado el dado, se amarrará la base de la torre. Este cimiento será colado con concreto a proporcionalidad 1-2-3 (cemento, arena y grava). En la **Figura 130** y **Figura 131**, se muestran imágenes del armado y acabado del cimiento.

Las anclas fueron calculadas y construidas de acuerdo al inciso b.4. En el cálculo realizado, resultaron 3 anclas a una distancia de 40 m de la base, y con una separación entre ellas de  $120^\circ$ . El armado de cada ancla consta de una zapata de  $1.20 \times 1.20 \text{ m}^2$ , y con una altura  $0.20 \text{ cm}$ . El ancla también consta de un dado de  $0.35 \times 0.35 \text{ cm}$ , inclinado a  $30^\circ$  con respecto a la zapata. En el dado es sujetado el *Perno Ojo*, del cual se sujetará la torre por medio del *cable galvanizado*.

En la **Figura 132** y **Figura 133** se muestran imágenes de su armada y acabado respectivamente.



**Figura 131.** Cimiento acabado.



**Figura 132.** Armado del ancla.



**Figura 133.** Acabado de zapata para retenida.

### **c) Señalización.**

Los tramos de la torre se pintaron alternativamente en colores blanco y rojo aeronáuticos, siendo de este último color los extremos, con el fin de ser fácilmente distinguidos durante el día y de acuerdo con las normas de la O.A.C.I. (Organización Internacional de Aviación Civil).

En torres de altura superior a los 45 m deberá colocarse además una señalización nocturna, consistente en tres pares de luces rojas cada 20 m. La torre de este caso de estudio tiene una medida de 60 m y se señaló debidamente. En la **Figura 134** se presenta una imagen de la aplicación de pintura a cada uno de los tramos.



**Figura 134.** Aplicación de pintura roja y blanca para señalización de torre.

#### **d) Montaje de la Torre.**

Una vez contruidos los cimientos, se procede a realizar el montaje de la torre. Se ancla el primer tramo a la base con tornillería, como se muestra en la **Figura 135**, después se ensambla tramo por tramo, colocándolos en posición vertical y nivelando cada parte. Posteriormente se van montando los tramos intermedios sucesivos, que estarán equipados con las retenidas correspondientes; el montaje se realiza escalando los tramos ya colocados e izando posteriormente el tramo que se va a colocar, ayudándose de barras de elevación con poleas adecuadas para este tipo de trabajos. La escalada deberá realizarse con los medios de seguridad adecuados (cinturón de seguridad, anclajes, casco, etc.) y no se dejarán más de dos tramos seguidos sin fijar, cuando coincidan dos tramos sin retenidas, se utilizarán cuerdas auxiliares para el ensamblado de los tramos durante el montaje (**PASCUAL, 2007**). En la **Figura 136**, se muestra el montaje de la torre.



**Figura 135.** Anclaje de la torre sobre la base de concreto.



**Figura 136.** A) Montaje. B) Ajuste de los tensores.

La torre se nivelará mediante el ajuste de la tensión en las retenidas.

### **e) Recomendaciones durante el montaje de la Torre.**

A efectos de conservar las características de la torre en un emplazamiento dado, se exigirá un control periódico del tensado de los tirantes y chequeo de apriete de tornillos, se aconseja realizarlo una vez por año, y también la revisión de toda la estructura después de fuertes tormentas u otras condiciones extremas.

Como la torre es instalada en una zona costera, la concentración de salinidad es mayor y es recomendable realizar revisiones periódicas y así evitar oxidación en tornillos, tuercas, y distintas partes de la torre.

Se desecharán tramos en los que se aprecie deformaciones producidas durante el transporte, montaje, desmontaje o vida útil de la torre.

Se procederá a revisiones anuales y reparaciones en su caso de todas las incidencias observadas.

- Desalineaciones y deformaciones.
- Revisión soldaduras.
- Revisión pintura.
- Revisión uniones de cables.
- Revisión cables.
- Tensión de los cables (medir\*).
- La tensión de los cables medida, está sujeta a pequeñas variaciones en función del viento y la temperatura.
- No medir o ajustar los cables en condiciones de fuerte viento.

Dado que todo equipo requiere de suministro eléctrico para funcionar, a continuación se describe el aplicado al caso de estudio.

## 4.4 Sistema Eléctrico.

---

El sistema eléctrico es planeado y puesto en marcha por personal calificado y especialista en el área, haciendo estudios de carga. A continuación se describen las partes que integran dicho sistema.

### 4.4.1 Acometida.

---

La implementación del sistema eléctrico principal, es suministrada por la empresa Comisión Federal de Electricidad CFE; los cuales llevaron a cabo la instalación de las acometidas hacia el transformador de 115 KVA y puesta del medidor. En la **Figura 137** se muestra una imagen del transformador.



**Figura 137.** Transformador con capacidad de 150 KVA.

#### 4.4.2 Protección.

---



**Figura 138.** Centro de Cargas principal.

Todo el sistema eléctrico cuenta principalmente con la protección de sistemas de tierra física, y a su vez, cuenta con un panel o centro de carga, en el cual en caso de sobrecorriente, están protegidas por pastillas térmicas o termo magnéticas variando su amperaje dependiendo del equipo al que están conectadas. La **Figura 138** muestra la imagen de centro de carga principal, en el cual se implementaron tres pastillas térmicas. La pastilla asignada a oficinas y estudio es de una capacidad de 600 V - 100 A, la que se asignó a los aires acondicionados es de 600 V - 125 A, y la que protege al cuarto de transmisores es de 600 V - 225 A.

### 4.4.3 Conmutación.

---



**Figura 139.** Conmutador marca Ottomotores®.

El sistema de conmutación está controlado por un monitor de arranque digital, el cual muestra las posibles fallas eléctricas tanto en el sistema principal o emergente. Así también indica voltajes, corrientes, interrupción de suministro eléctrico, permite el arranque y paro manual de la planta de emergencia. Este módulo está interconectado con la planta de emergencia de la marca Ottomotores® la cual se encarga de generar voltaje cuando se genera algún fallo en el suministro de energía principal. En la **Figura 139** se muestra el módulo *Conmutador* del *Sistema Eléctrico*.

#### 4.4.4 Generación.

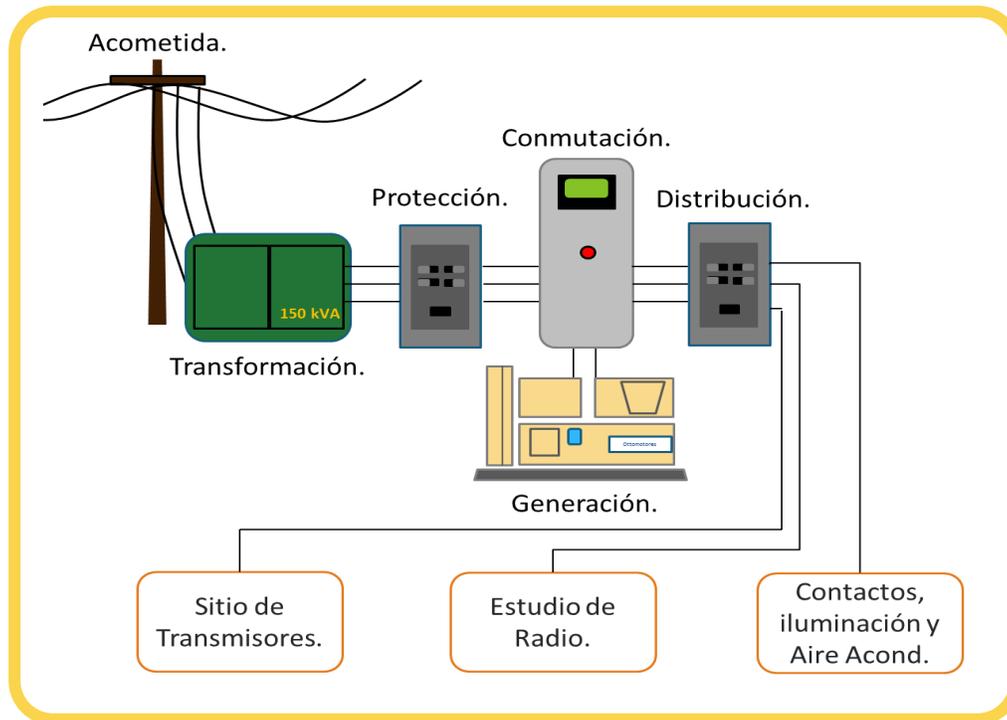
---



**Figura 140.** Generador con motor diésel.

Cuando falla el suministro eléctrico comercial, la estación de radio cuenta con una planta de emergencia marca Ottomotores®, modelo **DALE 3100**, con motor diésel de 300 l, con capacidad de 80 KV a 200V a 3 fases. Este funciona con el conmutador eléctrico. El equipo fue instalado por personal calificado, en este caso el proveedor es el encargado de realizar la instalación de la planta de emergencia. En la **Figura 140** se muestra el sistema completo de respaldo Eléctrico.

#### 4.4.5 Distribución.



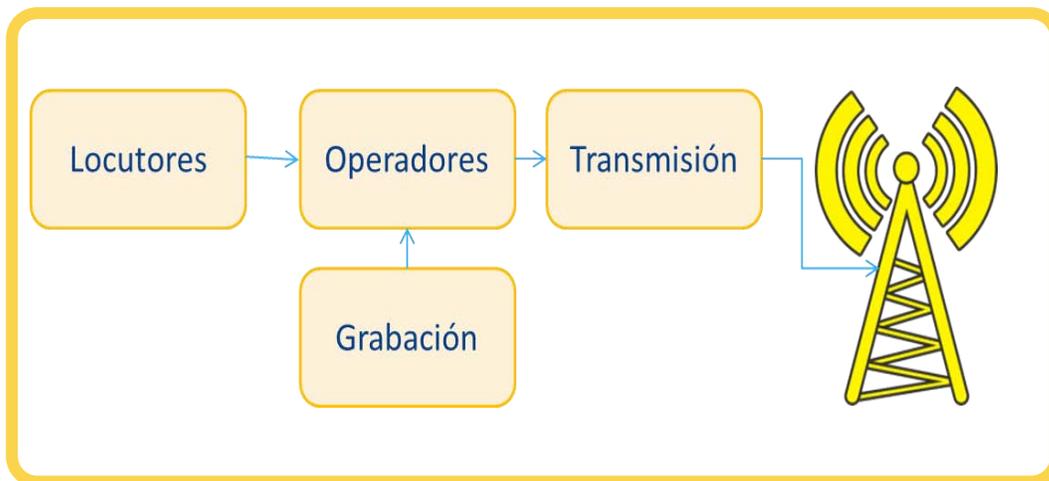
**Figura 141.** Diagrama General Eléctrico.

La distribución de la carga fue calculada por personal calificado (proveedor contratado), usando el material y la numeración adecuada del cableado para la energización de cada equipo, ya que cada equipo demanda diferentes cantidades de corriente y basándose según la **NOM-001-SEDE-1999**. El cableado utilizado para la instalación eléctrica de los equipos de mayor carga tales como el transmisor y aire acondicionado, fue el cable de la marca IUSA calibre # **0**, este se caracteriza por ser un conductor eléctrico flexible de cobre suave con cableado concéntrico normal, que permite manejarlo, instalarlo y acomodarlo con mayor facilidad, cuenta con un aislamiento de Policloruro de Vinilo (PVC), es resistente

a la flama y a la propagación de incendios, tiene excelentes características eléctricas y mecánicas, soporta tensiones de operación de 600 V, así también alcanza una temperatura máxima de operación para THHW-LS de 90 °C en ambiente seco y 75 °C húmedo y una temperatura máxima de operación en emergencia de 105 °C, a su vez alcanza una temperatura máxima de operación en corto circuito de 150 °C por mencionar. Para el resto de la instalación eléctrica se implementa el cable de la marca IUSA calibre # **8**, ya que los equipos que se instalaran son de bajo consumo eléctrico (**MUJAL, 2002**).

#### 4.5 Radiodifusión.

---



**Figura 142.** Diagrama general de conexión del Proceso de Radiodifusión.

En esta etapa se procede a interconectar las cabinas, el transmisor y la antena, tal y como lo muestra la **Figura 142**.

### 4.5.1 Ensamble.

---

Al *Estudio de Radio* ya existente, se agregó el equipo necesario para poder transmitir la frecuencia 106.3 FM. A continuación se detallará el listado de cada *cabina*.

#### 4.5.1.1 Grabación.

---



**Figura 143.** Diagrama de conexión de la Cabina de Grabación.

A la cabina de grabación se le anexó el equipo mostrado en la **Tabla 7**, para poder hacer la producción de los programas a transmitir.

| <b>Cantidad</b> | <b>Equipo</b>            | <b>Especificaciones</b>  |
|-----------------|--------------------------|--|
| 1               | Consola Yamaha®          | Modelo MG166g de 16 Ch-In/6 Ch-Out.  |
| 1               | Computadora DELL®        | Windows® XP SP 3, HD-C/100 GB, HD-D/368 GB, RAM 3.29GHz, 2.99GB.                         |
| 1               | UPS Koblenz® profesional | Modelo: 500-1.   |
| 1               | Amplificador Symetrix®   | 2Ch-In/2Ch-Out.  |
| 2               | Monitores amplificados   | JBL®.  |
| 1               | Híbrido telefónico       | Telos® 2 Line.   |
| 1               | Micrófonos Electrovoice® | Modelo <i>RE20</i> , tipo <i>Cardioid</i> , Rango de frecuencias: <b>45 Hz a 18 kHz.</b> |

**Tabla 7.** Listado de equipo para Cabina de Grabación.

Una vez generados los audios a transmitir, son enviados tanto a la cabina de operadores y a la de locutores, los cuales se describirán en el siguiente apartado.

#### 4.5.1.2 Locutores.

---

El cableado de los micrófonos y el distribuidor, se realizan con conectores XLR canon, conectados a la consola de la cabina de operadores. Ya que la cabina se utilizará como set de televisión, se usó escenografía de madera, para evitar el rebote del sonido producido en el interior. En la **Tabla 8**, se enlistan los equipos sugeridos, y en la **Figura 144** muestra un diagrama de conexión de la cabina de locutores.

| <b>Cant.</b> | <b>Equipo</b>                            | <b>Especificaciones</b>  |
|--------------|--|--|
| 1            | Mesa central                             | 2 m x 1 m.   |
| 5            | Micrófonos Electrovoice                  | Modelo <i>RE20</i> , tipo <i>Cardioid</i> ,<br>Rango de frecuencias:<br><i>45 Hz a 18 kHz.</i> |
| 1            | Distribuidor de Audio Symetrix           | Modelo 304 Amplifier Stereo,<br>in 4 out , control de volumen<br>individual de salidas.        |
| 5            | Auriculares Sony                         | Modelo MDR-7506<br>Professional Stereo.  |
| 1            | Escenografía e iluminación               | Debe ser a lo<br>largo de las paredes.   |
| 1            | Aire Acondicionado                       | 1 1/2 Toneladas.   |
| 1            | Ventana conectora a Cabina de Operadores | 3 x 1.5 m con doble vidrio<br>de 8 mm de espesor.  |

**Tabla 8.** Lista de equipos que conforman la Cabina de Locutores.

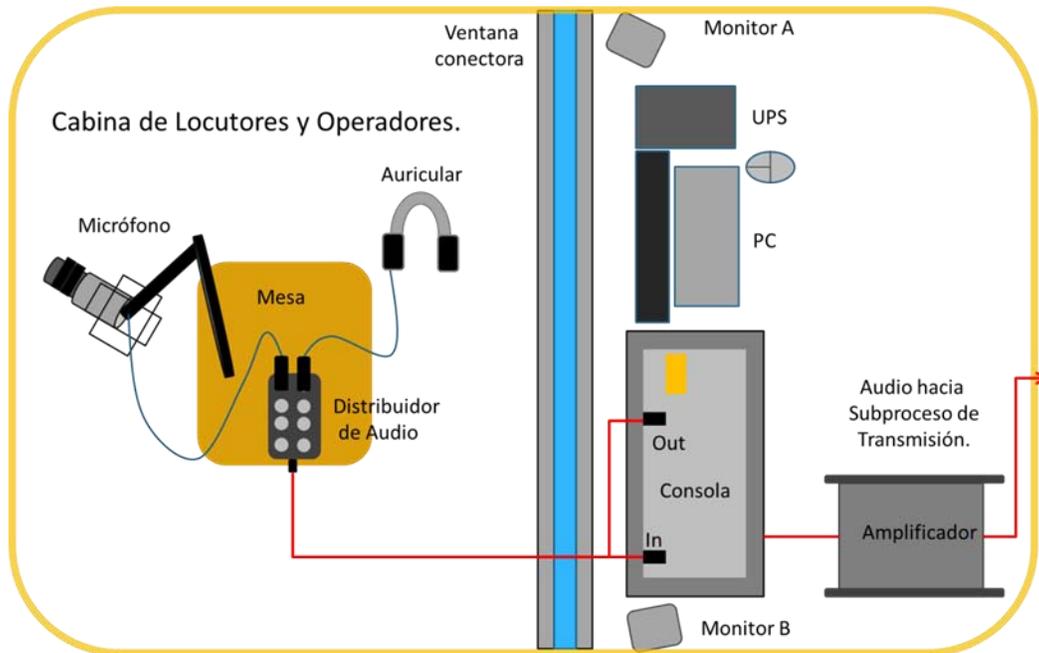
### 4.5.1.3 Operadores.

---

Esta cabina cuenta con vista hacia la cabina de locutores, separadas con dos cristales de un espesor de 8 mm, distanciados 5 cm y sellados con silicón. En la **Tabla 9**, se presenta el equipo requerido para la operación.

| <b>Cantidad</b> | <b>Equipo</b>            | <b>Especificaciones</b>  |
|-----------------|--------------------------|--|
| 1               | Consola Yamaha®          | Modelo MG166g de 16 Ch-In/6 Ch-Out.                              |
| 1               | Computadora DELL®        | Windows® XP SP 3, HD-C/100 GB, HD-D/368 GB, RAM 3.29GHz, 2.99GB. |
| 1               | Grabadora /monitor       | Sintonizador.  |
| 1               | UPS Koblenz® profesional | Modelo: 500-1.   |
| 1               | Amplificador Symetrix®   | 2Ch-In/2Ch-Out.  |
| 2               | Monitores amplificados   | JBL®.  |
| 1               | Receptor de satélite     | Diseño 2300.   |
| 1               | Híbrido telefónico       | Telos® 2 Line.   |

**Tabla 9.** Tabla de equipo de la Cabina de Operadores.



**Figura 144.** Diagrama de Conexión de la Cabina de Locutores y Operadores.



**Figura 145.** Cabina de Operadores (frente) y locutores (fondo).

Una vez completado el proceso de producción en las cabinas, es necesario enviar la señal de audio a la etapa de *Transmisión*, la cual se describe en el siguiente apartado.

#### **4.5.2 Transmisión FM.**

---

En este bloque, se recibe la señal proveniente de la cabina de operadores. Esta se procesa, se modula y se amplifica para ser radiada por la antena. A continuación se describen los equipos necesarios para poder llevar a cabo la transmisión de la señal FM del caso de estudio.

##### **4.5.2.1 Procesador.**

---



**Figura 146.** Procesador de audio Orban 5500 optimod.

En esta etapa se implementó un **Procesador Orban optimod 5500**, mostrado en la **Figura 146**, el cual recibe la señal de audio proveniente de la consola de la Cabina de Operadores. La tarea de este dispositivo es optimizar y nivelar el audio ya mezclado proveniente de la consola de operadores, con el fin de mantener los mismos decibeles de transmisión.

Se elige este procesador debido a su versatilidad y fácil manejo de sus ajustes y su pantalla frontal.

Una vez nivelada la señal de audio esta se prepara para ser inyectada a la siguiente etapa de transmisión: el excitador.

#### 4.5.2.2 Excitador.



**Figura 147.** Excitador RVR TEX 500LCD.

Una vez procesada la señal de audio es suministrada a este equipo llamado excitador de FM, para este caso se eligió el modelo **RVR TEX 500LCD** (mostrado en la

**Figura 147)** por sus múltiples características; por mencionar algunas:

- Interfaz digital para diagnóstico y análisis de parámetros.
- Potencia ajustable de 0 a 500 W.
- Bajo costo y peso.
- Manejo de señal estéreo y óptimo rendimiento.

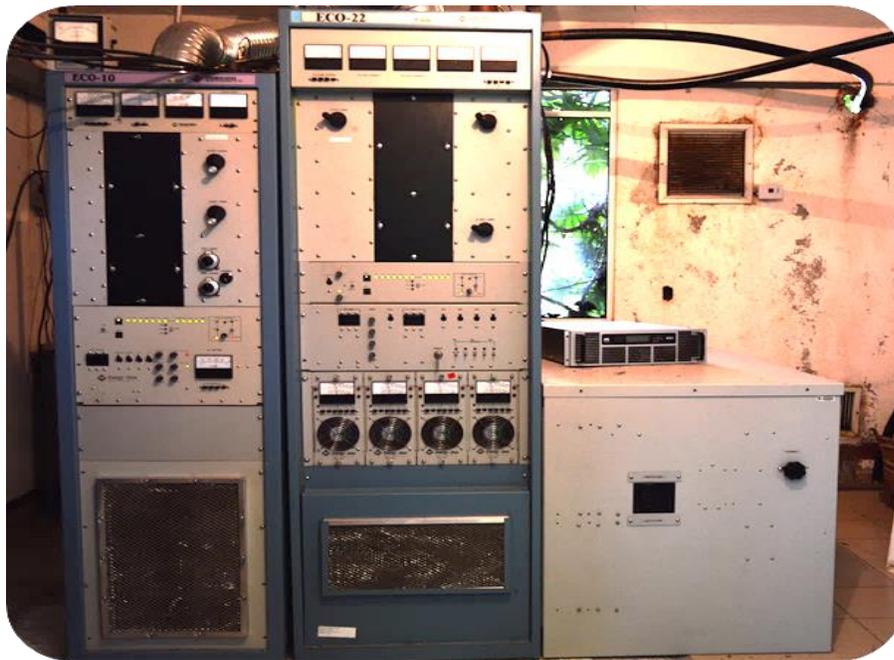
Este equipo es el encargado de modular la señal. La señal proveniente del procesador es modulada en esta etapa, por lo cual es necesario que la frecuencia de modulación sea configurada en 106.3 MHz, esta es la frecuencia designada por la IFT. La señal ya convertida en **RF** es suministrada al transmisor en la siguiente etapa de amplificación y transmisión (**MARTÍN, 2014**).

### 4.5.2.3 Transmisor.

---

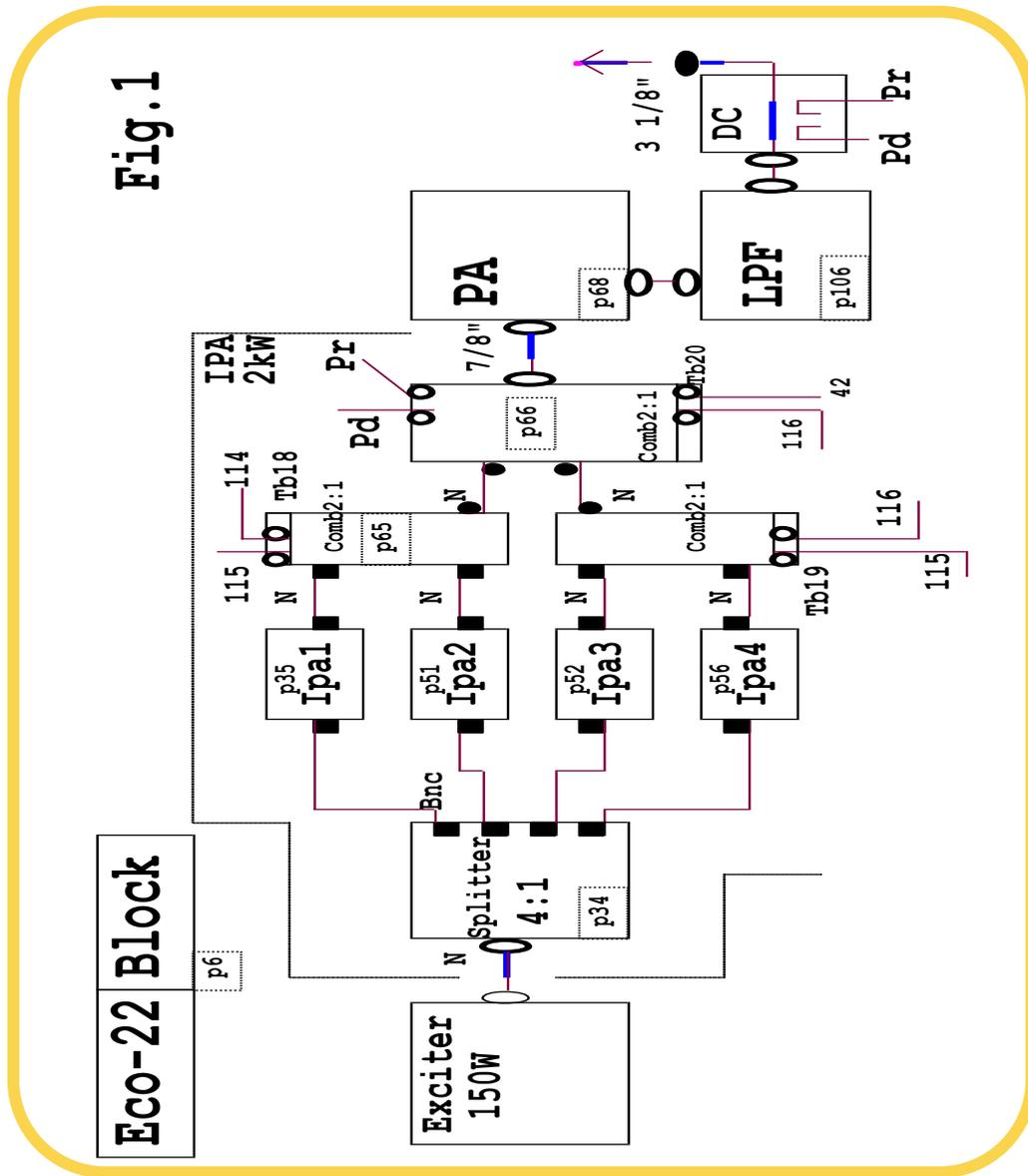
Una vez que la señal es nivelada y modulada, esta es enviada al equipo Transmisor. En etapa, la señal pasa por 4 módulos de amplificación, debidamente configurados para radiar la señal a una potencia de 25 KW, que es la intensidad dada por la IFT (**KAZIMIERCZUK, 2008**).

El transmisor que se elige es de la familia **Energy Onix de FM modelo ECO-22** con una potencia de rango de 5kW a 25.5kW y rango de frecuencia de los 88-108mHz, voltaje de tres fases y con salida de 50 Ohms con pestaña de 3 1/8". En la **Figura 148** se muestra el transmisor montado. La conexión del transmisor requiere de mucha atención.



**Figura 148.** Transmisor ECO-22 (centro).

En la **Figura 149** se muestra el diagrama a bloques del transmisor **Energy Onix de FM modelo ECO-22** que tiene a la izquierda un Excitador de FM, que puede proporcionar de 0 a 150 Watts. Este se aplica a una etapa intermedia (IPA) que puede entregar 2 kW a la etapa de potencia (PA).



**Figura 149.** Diagrama a bloques del Transmisor ECO 22.

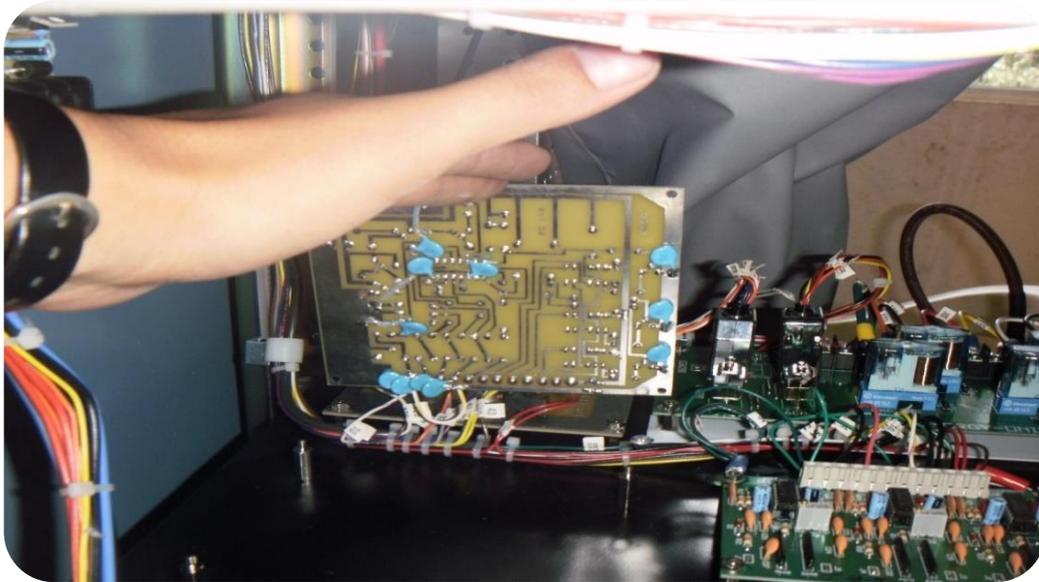
El IPA está compuesto de un divisor de 4 a 1 (Splitter 4:1) que alimenta a 4 amplificadores de RF transistorizados señalados como Ipa1 a Ipa4, la salida de Ipa1 se suma con la salida de Ipa2 en un combinador superior de 2 a 1 (Comb 2:1) e Ipa3 con Ipa4 realizan lo mismo con el combinador inferior de 2:1. Las salidas a su vez se adicionan con un tercer conjunto, que entrega la suma de los 4 amplificadores en un **conector de 7/8"**, a la etapa de potencia PA.

Para la conexión hay que revisar todas las tarjetas de control y las conexiones del equipo, como se muestra en la **Figura 150**, ya que suele suceder que con el traslado, se mueven o incluso, las tarjetas se quiebran.

Se tienen que revisar también, el ducto de ventilación si la bolsa no tiene algún corte y está bien sellado, así como las salidas de las fuentes y el combinador. En la

**Figura 151**, se muestran estos componentes.

Una vez realizada minuciosamente la revisión del equipo, se procede a la conexión de la fuente de poder **Figura 152**; siempre siguiendo las instrucciones del manual. Siguiendo estas recomendaciones, se facilita mucho la instalación, ya que todo el transmisor (tarjetas, cableado, líneas, etc.) está etiquetado (**POMETTI, 2005**).



**Figura 150.** Revisión de las tarjetas de control del Tx ECO 22.



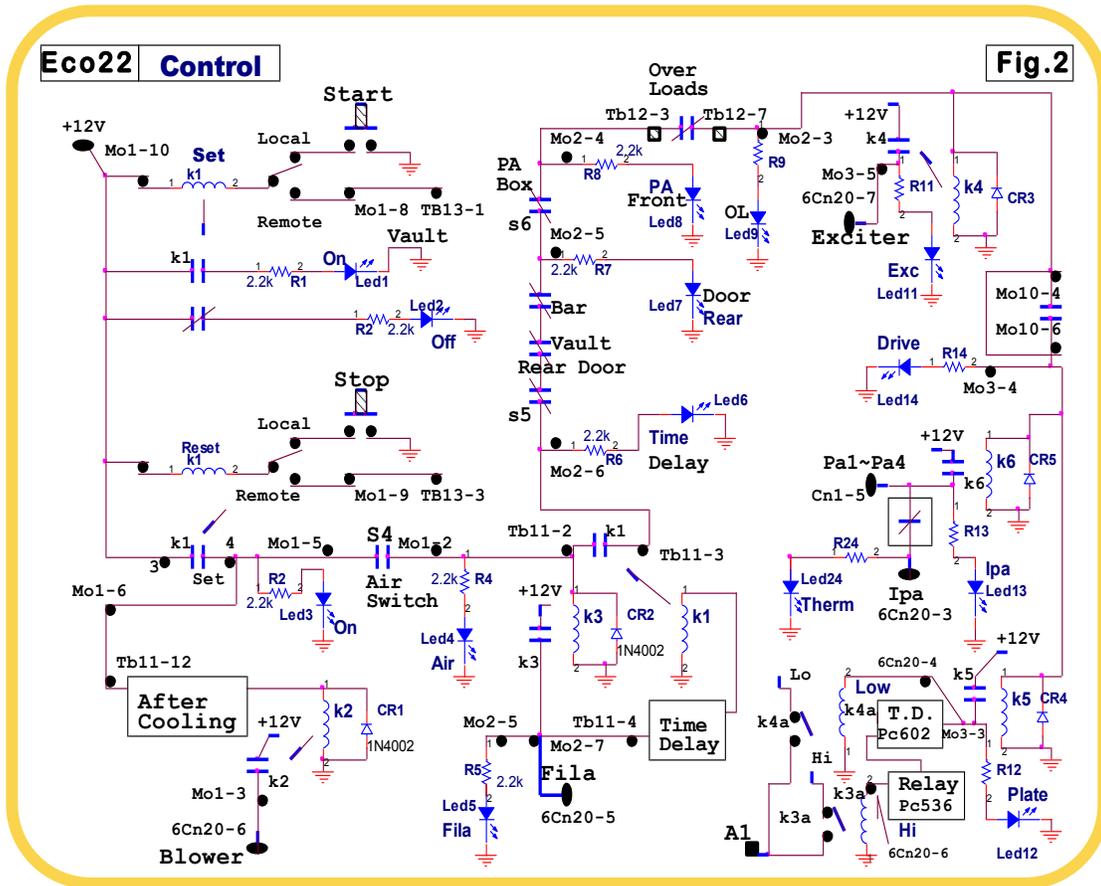
**Figura 151.** Combinador de 2 a 1 y ducto de aire.



**Figura 152.** Conexión de las fases a la fuente de poder.

A continuación se describe la etapa del Control de Operación del transmisor donde se muestra la secuencia de encendido. En la **Figura 153** se muestra el diagrama de encendido del transmisor ECO 22.

1. En la parte superior izquierda si se oprime el botón **Start** se proporciona tierra a la bobina del relevador **k1 Set** que con los **+12V** de **Mo1-10**, cierra el primer contacto **k1** que da **+12V** al **Led 1 ON** que se ilumina. El segundo contacto se desactiva y apaga el **Led 2 OFF**. Se activa el tercer contacto terminales **3** y **4** y aplican **+12V** al relevador **k2**, que proporciona **+12V** a terminal **Mo1-5**, el **Led 3 ON** y el **Air Switch S4** que se cierra cuando el ventilador tiene suficiente presión de aire en el **bulbo de PA**.



**Figura 153.** Diagrama de encendido del Tx ECO 22.

2. Los +12V de *Mo1-10* pasan por *S4* a *Mo1-2*, encienden el *Led4 Air* y activan por *Tb11-2* el relevador *k3* que proporciona +12V a *Mo2-7*, y *6Cn20-5* filamentos *FILA*, *Mo2-5* y *Led 5 FILA* que se ilumina, *Tb11-4 Circuito Delay*.

3. El tiempo de retardo se da para que se calienten los filamentos del bulbo. Después de transcurrido este tiempo se activa *k1* y los +12V pasan de *Tb11-2* a *Tb11-3*, *Mo2-6 Led 6 Time Delay*, contactos normalmente cerrados *S5 (Rear Door)*, *Vault Bar*, *Led 7 (Door)*, *S6 Pa Box*, *Led 8 (Pa Front)*. Los contactos antes mencionados corresponden a las puertas de acceso del transmisor.

4. Los **+12V** llegan a **Tb12-3** y protecciones de sobre carga **Over Loads** que si no están activadas representan un interruptor normalmente cerrado que permite el paso a **Tb12-7 Led 9 OL**.

5. Se activa el relevador **k4** que proporciona **+12V** a **Mo3-5, Led 11 Exc** y **6Cn20-7 Exciter**.

6. Por **Mo10-4** y **Mo10-5** en corto circuito se activa **k6 Pa1-Pa4, Ipa, Led13 Ipa, Led24 Therm 6Cn20-3** y **k5 Td (Pc602)-k4a** y **Relay Pc536 k3 Led 12 Plate**. **K6** activa los **Ipa1- Ipa4** y **k5** la alta tensión del **bulbo** o **PA**. Observe que por **6Cn20** salen las señales de **+12V** de activación a los relevadores Auxiliares **k1a-k6a**.

Al término de la conexión se proceden a realizar las **pruebas y funcionamiento** del transmisor.

En primera instancia se verifican las conexiones hechas dentro del transmisor y se cierra por completo para no activar algún sensor de puerta y éste se proteja.

En esta etapa se realizan pruebas de ajuste en el transmisor y se corroboran las mediciones hechas en fábrica, éstas se realizan conectando la salida del transmisor a una carga fantasma de 10 kW.

A continuación se sigue el proceso de encendido.

1. Se enciende el excitador y se verifica que esté entregando entre 0 a 150 Watts a la salida.

2. Se enciende el transmisor y se activan los ventiladores de bulbo y se espera a que este termine su secuencia de encendido.

3. A su vez se corroboran los voltajes de cada fase, así como voltaje de filamentos y corriente en el bulbo.

4. Se prosigue a activar el voltaje de placas para dar potencia al transmisor. Una vez realizado esto, se toman lecturas del equipo en diversas potencias, para así tener una escala de funcionamiento para futuros mantenimientos preventivos o correctivos.

5. Apagamos el transmisor y se procede a cambiar la salida del transmisor a la antena. Una vez hecho esto seguimos el procedimiento de encendido con la diferencia que ahora conectamos la señal del procesador de audio al excitador de RF.

A continuación se presentan las tablas de las mediciones realizadas:

#### **a) Alimentación y potencia de salida.**

Se midieron las tres fases de alimentación del equipo con un multímetro, arrojando los valores presentados en la **Tabla 10** y en la Tabla 10 se muestran las mediciones en diversas potencias de salida.

| <b>Fases</b> |          |          |
|--------------|----------|----------|
| <b>1</b>     | <b>2</b> | <b>3</b> |
| 215 V        | 215 V    | 215 V    |

**Tabla 10.** Medición de las tres fases del Transmisor ECO 22.

| Power Out          |                 |                  |        |     |       |      |
|--------------------|-----------------|------------------|--------|-----|-------|------|
| Voltaje Filamentos | PA GRID Current | PA PLATE Voltaje | Driver |     |       |      |
|                    |                 |                  | INC    | REF | INC   | REF  |
| 6.3 V              | 0.18            | 6700 V           | 5 KW   | 0   | 300 W | 15 W |
| 6.3 V              | 0.24            | 6700 V           | 7.5 KW | 0   | 400 W | 15 W |
| 6.3 V              | 0.33            | 6700 V           | 10 KW  | 0   | 500 W | 15 W |

**Tabla 11.** Medición del Power Out del Transmisor ECO 22.

**b) Etapa de potencia intermedia (IPA).**

Las pruebas realizadas al IPA, se muestran en la **Tabla 12.**

| IPA 1    |            |             | IPA 2    |            |             |
|----------|------------|-------------|----------|------------|-------------|
| <i>I</i> | <i>Pin</i> | <i>Pref</i> | <i>I</i> | <i>Pin</i> | <i>Pref</i> |
| 2.5      | 26         | 3           | 2.4      | 32         | 1           |
| 3        | 50         | 3           | 2.8      | 58         | 1           |
| 3        | 70         | 3           | 3        | 80         | 1           |

| IPA 3    |            |             | IPA 4    |            |             |
|----------|------------|-------------|----------|------------|-------------|
| <i>I</i> | <i>Pin</i> | <i>Pref</i> | <i>I</i> | <i>Pin</i> | <i>Pref</i> |
| 2.5      | 40         | 5           | 2.3      | 18         | 4           |
| 3        | 60         | 4           | 2.6      | 30         | 5           |
| 3.4      | 83         | 4           | 3        | 50         | 4           |

**Tabla 12.** Medición de los IPAs 1, 2, 3 y 4 del Transmisor ECO 22.

Al término de la instalación del transmisor, la salida de este es conectada a la línea de transmisión la cual va a su vez se empalma con la antena, para una correcta transmisión.

#### 4.5.2.4 Líneas.

---

De acuerdo con la definición de *Línea de Transmisión* (**Sección 2.2.2.1**), el tipo de línea usada en este caso de estudio, es una **Andrew Heliax<sup>80</sup> 1 5/8"**, con impedancia de  $50 \Omega$  y un largo de 75 m. De la antena al transmisor; se eligió este modelo por sus características físicas y capacidades de potencia, así también por su confiabilidad y durabilidad a cambios meteorológicos.

Los puntos a considerar para la instalación de la línea de transmisión son:

1. La primer regla cuando se instala un cable es la de hacerlo lo más corto posible. La pérdida de energía no es lineal, por lo tanto duplicar el largo del cable implica perder mucho más que el doble de energía. En el mismo sentido, si se reduce el largo del cable a la mitad, se obtendrá más del doble de potencia en la antena. Por lo tanto, la mejor solución es poner el transmisor lo más cerca que podamos de la antena, incluso si esto implica colocarlo en una torre.
2. La segunda regla es comprar cable de buena calidad, aunque sea más caro.
3. Siempre que sea posible utilice cables *Heliax* (también denominados "*Foam*" o *espuma*) para conectar el transmisor a la antena. Cuando no haya cable *Heliax*, utilice los mejores cables *LMR* que pueda encontrar. Los cables *Heliax* tienen un centro conductor sólido o tubular con un conductor externo sólido y corrugado que lo hace flexible. Estos cables pueden construirse de dos formas, utilizando aire o espuma para el

---

<sup>80</sup> *Heliax* es la marca líder de líneas de transmisión en los EUA.

dieléctrico. Los cables *Helix* con dieléctrico de aire, son los más caros y garantizan la menor pérdida, pero son muy difíciles de manipular. Los de espuma tienen una pérdida ligeramente mayor, pero son más económicos y sencillos de instalar. Se requiere un procedimiento especial cuando soldamos conectores para mantener la espuma dieléctrica seca e intacta. La marca de cables coaxiales *Times Microwave LMR* los produce en varios diámetros, y funcionan bien en frecuencias de microondas. Los cables *LMR-400* y *LMR-600* se utilizan comúnmente como alternativas al *Helix*.

4. Siempre que sea posible utilice cables que ya tengan los conectores, y que hayan sido probados por el proveedor. La instalación de los conectores en el cable es una tarea delicada y se hace difícil realizarla adecuadamente aun teniendo las herramientas necesarias. A menos que tenga acceso al equipo que pueda verificar un cable hecho por usted mismo (como un analizador de espectro y un generador de señal, o un reflectómetro<sup>81</sup> de dominio temporal), solucionar los problemas de una red que utiliza cables hechos en campo, puede ser difícil.

5. No maltrate la línea de transmisión. Nunca se debe caminar sobre el cable, no lo doble demasiado, no intente desenchufar un conector halando directamente el cable. Todos esos comportamientos pueden cambiar las características mecánicas del cable y por lo tanto su impedancia, provocar un cortocircuito entre el conductor interno y la pantalla, o incluso romper la línea. Rastrear y reconocer este tipo de problemas no es tarea fácil, y esto puede llevar a un comportamiento impredecible del radioenlace **(MEDINA, 2012)**.

---

<sup>81</sup> El **Reflectómetro** de dominio del tiempo (TDR) es un instrumento electrónico usado para caracterizar y localizar los defectos en cables metálicos (por ejemplo, los pares trenzados de alambre, cables coaxiales) y, en otro tipo de OTDR, fibras ópticas **(William, 2003)**.

En la **Figura 154** se muestra una imagen de la instalación correcta de la línea de transmisión en la torre.



**Figura 154.** Colocación de la línea de transmisión Heliax de 1 5/8.

Una vez instalada la *línea de transmisión* en la *torre de comunicación*, se procede a instalar la antena; una vez montada la antena, se conectan estos dos elementos. En la siguiente etapa del proyecto se tratará sobre la instalación de la *Antena*, la cual es la última etapa de este proyecto.

#### 4.5.2.5 Antena.

---

En esta etapa finaliza todo el *Macroproceso* antes planteado. La *antena* es el dispositivo que radia la señal enviándola en el aire en forma de ondas. Para este proyecto se elige un arreglo de antenas modelo **JMPC-6 CF** de la empresa *Jampro Antennas*, ya que cumple con los requerimientos de potencia. Esta es una antena de media a baja potencia, es decir, de 5 KW a 10 KW., la cual es construida de latón de la más alta calidad y de cobre. Cada brazo es montado en un soporte de acero galvanizado. Los conectores son chapados en plata esto para darle un mayor contacto, prolongar la vida de la antena y tener un mínimo de pérdida en potencia; a su vez la antena esta aterrizada a tierra en DC para mayor protección contra rayos.

La antena fue diseñada con respecto a los parámetros indicados por la COFETEI (ahora IFT) en la **Sección 4.1**. A continuación, se presentan las especificaciones técnicas de este modelo de antena en la **Tabla 13**:

|                        |   |
|------------------------|---|
| Frecuencia:            | <b>106.3 MHz.</b>                       |
| Polarización:          | <b>Circular.</b>                        |
| Ganancia:              | <b>3.2x (5.05 dBd) por polarización</b> |
| Potencia de entrada:   | <b>10 kW MAX.</b>                       |
| Impedancia de entrada: | <b>50 ohms, nominal.</b>                |
| Conectores de entrada: | <b>3-1/8" centro de alimentación.</b>   |

**Tabla 13.** Parámetros de la antena.



**Figura 155.** Antena modelo JMPC-6 CF en su caja.

Para este caso *Jampro Antennas* diseñó la basándose en los parámetros dictados por la IFT. Esta antena consta de 6 elementos, separados una longitud de onda donde cada elemento tiene una impedancia de 300 ohms (**ANEXO 7.2**). Con la separación de una longitud de onda, la impedancia de cada elemento se traslapa a la parte de abajo para tener en la entrada 6 elementos en paralelo para tener 300 ohms entre 6 y dar 50 ohms; la cobertura que se obtiene es de 396 km, con una potencia de 10kw de salida (**JAMPRO, 2014**).

La **Figura 155** muestra la antena Jampro lista para ser desempacada, una vez teniendo la antena procedemos a ensamblar los cuernos y las líneas de transmisión rígidas para fijarla después en la torre.

La antena se monta normalmente en el lado de la estructura hacia la dirección en la que se desea la máxima señal.

Después de verificar la posición de montaje de la antena, se ensamblan los elementos que van a irradiar la señal a la sección de línea con el anillo plástico como se muestra en la **Figura 156**, cubriendo ligeramente el anillo con grasa de silicón, se tiene que asegurar que el anillo no se pellizque durante el montaje; cada elemento está marcado en la parte superior así como cada sección de la línea (**KATHEREIN, 2014**).



**Figura 156.** Numeración de tramos y acoplamientos de antena.

Todas las conexiones deben estar firmemente apretadas durante el armado en cada nivel, y se comprueban de nuevo, después de que todo el sistema está montado tal y como lo muestra la **Figura 157**. El proceso de conexión de la antena sobre la torre se realiza con suma precaución y se ensambla por partes, con la ayuda de un tubo con polea; el mismo que se ocupa para el montaje de la torre. La línea de transmisión ahora se puede conectar a la entrada de la antena. Esta va en la parte central de toda la antena. En la **Figura 158** se muestra cómo debe quedar la antena ya montada a la torre.

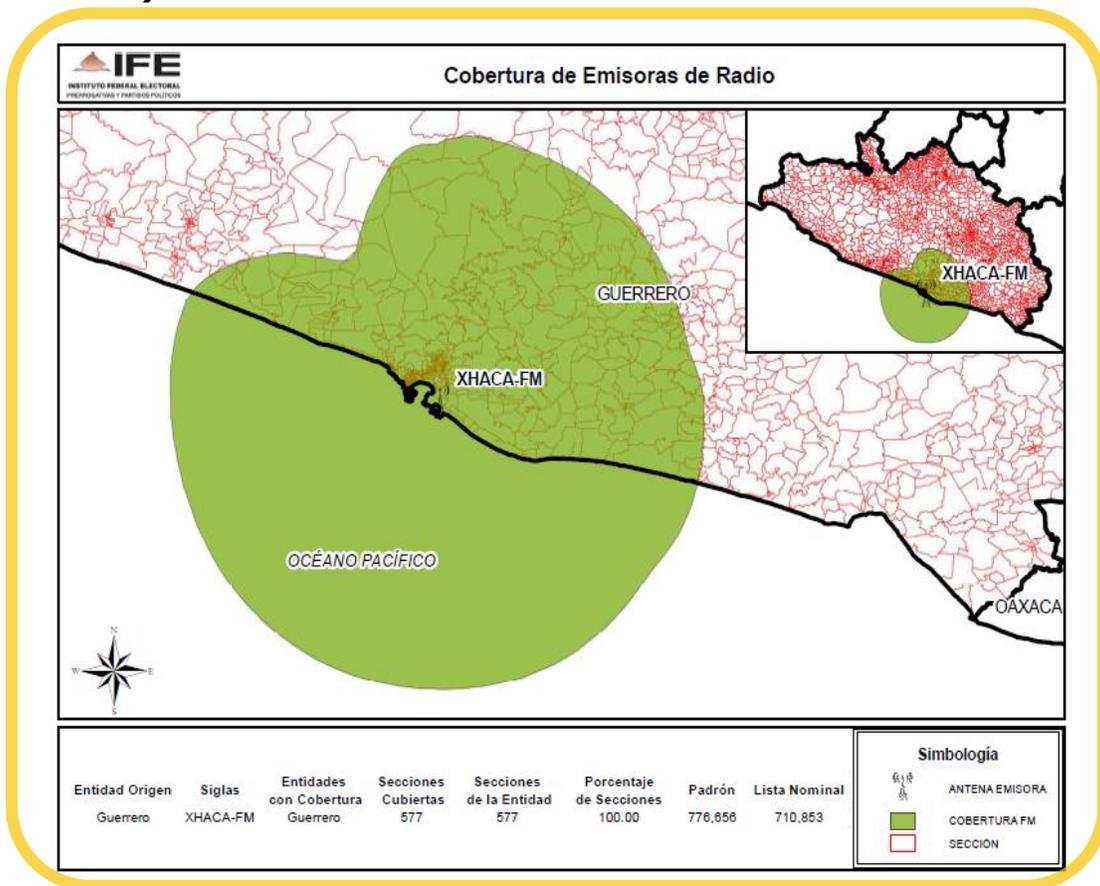


**Figura 157.** Acoplamiento de las antenas a las líneas rígidas.



**Figura 158.** Antena montada sobre la Torre.

Es así como finaliza la implementación del proceso de instalación de una señal 106.3 FM (XHACA) perteneciente a Radio Fórmula Guerrero, en el cual se puso a prueba la **metodología** propuesta en el **Capítulo 3**. Se comprueba el funcionamiento correcto del método, puesto a que la emisora de radio genera señal FM dentro de los estándares de calidad requeridos por el IFT. A continuación se muestra en la **Figura 159** el mapa de cobertura de la frecuencia de este caso (INE, 2014).



**Figura 159.** Mapa de cobertura de la frecuencia 106.3 FM.

En el siguiente apartado se sintetizarán las ideas vertidas en todo el capítulo.

## 4.6 Síntesis.

---

Por lo analizado en este capítulo, la **Metodología DP-LGCD®** aplicada al caso de estudio queda implementada como:



1. Se cumplió con la *Norma Oficial Mexicana NOM-02-SCT1-93, ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE ESTACIONES DE RADIODIFUSIÓN SONORA EN FM*, como constató la visita del perito asignado por el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT), en términos de las atribuciones contenidas en los artículos 1°, 2°, 3°, 4°, fracción III, inciso C) y 25 apartado B) fracciones I, II y III del reglamento interno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL, ahora IFT) y 1°, 2°, fracción XXX, 37 y 40 del Reglamento Interior de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, de conformidad con el Cuarto Transitorio del Artículo primero del Decreto que reforma, Adiciona y Deroga diversas Disposiciones de la Ley Federal de Telecomunicaciones y de la Ley Federal de Radio y Televisión, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 11 de Abril del 2006 **(DOF, 2008)**.



2. Se utilizó el terreno de la empresa Radio Fórmula, en Acapulco, Guerrero; con una superficie de 3,222 m<sup>2</sup>, ubicado en Cumbres de Llano Largo, domicilio conocido; coordenadas geográficas: L. N. : **16°49'29"**, L. W. : **99°49'55"**, confirmadas por el IFT, y está situado a 380 m sobre el nivel del mar **(CFT, 2010)**.



3. Se solicitó permiso de colocación de una torre arriestrada, a la Dirección General de Aeronáutica Civil perteneciente a la SCT, misma que determinó las características de: Altura del centro de radiación de la antena sobre el nivel del terreno (95 m), Altura sobre el nivel del mar del lugar de instalación (380 m) y Altura del centro de radiación de la antena con relación al terreno promedio entre 3 y 16 km (408 m), según lo marca el Procedimientos para el otorgamiento de autorización de emplazamiento de elementos radiadores en el territorio nacional, **(AERONÁUTICA, 2015)**.



4. Se presentó la documentación ante el IFT: permiso autorizado por la Dirección General de Aeronáutica Civil, el plano topográfico del terreno, la documentación legal de la empresa Grupo Fórmula Guerrero y el oficio de solicitud de frecuencia, según lo estipula el **“Acuerdo por el que se establecen requisitos para llevar a cabo el cambio de frecuencias autorizadas para prestar el servicio de radio y que operan en la banda de Amplitud Modulada, a fin de optimizar el uso, aprovechamiento y explotación de un bien del dominio público en transición a la radio digital” (DOF, 2008)**.



5. Se recibió fallo a favor por parte del COFETEL (ahora IFT) y las características de transmisión de la frecuencia autorizada, según consta en **CFT (2010)**.



6. Se planificó la instalación de la torre arriostrada.



7. Se calculó el sistema eléctrico con la carga de 150 KVA requerida, sistema de protección con interruptores termomagnéticos, conmutador y planta de emergencia (marca Ottomotores®, modelo DALE 3100, con motor a diésel de 300, con capacidad de 80 KVA 200V a 3 fases).



8. Se continuó usando el equipo del estudios:

- Consolas.
- Micrófonos.
- Cable de audio.
- Conectores.
- Bocinas.
- Computadoras.



9. Se diseñó el sistema de transmisión.

- Transmisores.
- Procesador de audio.
- Excitador.
- Tipo de línea de transmisión.
- Tipo de antena.



10. Se implementaron los pasos 6, 7, 8 y 9.



11. Se hicieron las pruebas de funcionamiento para evaluar la señal. Se midieron los

- Voltajes.
- Corrientes.
- Potencia de salida.
- Potencia reflejada.
- Módulos de potencia.
- Prueba de sistema de emergencia.
- Diagrama de cobertura.
- Modulador FM.



12. Se notificó a la COFETEL (ahora IFT) del inicio de transmisión.

Hasta aquí la síntesis del caso de estudio. En el siguiente capítulo se integrarán las conclusiones generadas en cada una de las secciones desarrolladas en este trabajo de investigación.



## **5. Conclusiones y Recomendaciones.**

---



5.1 Conclusiones.

5.2 Recomendaciones.

## 5. Conclusiones y Recomendaciones.

---

Este Capítulo trata acerca de las Conclusiones y Recomendaciones de esta investigación.

Según la tercera acepción del Diccionario de la Real Academia Española, una conclusión es: *"la resolución que se ha tomado sobre una materia después de haberla ventilado"* (RAE, 2013).

En este sentido, a continuación se expondrán las conclusiones de este trabajo de investigación.

### 5.1 Conclusiones.

---

En este trabajo de tesis, se describió el proceso de instalación de una señal de FM. Se abordaron temas que incluso podrían ser objeto de investigación en sí mismos (por ejemplo, la obra civil, la línea de transmisión, el transmisor o las antenas FM, entre otros). También se profundizó en la fundamentación teórica, desde el punto de vista filosófico, físico-matemático e ingenieril. Se discutió el marco legal de las radiocomunicaciones, el enfoque de procesos y de proyectos para la descripción de cómo instalar una frecuencia de radio. Se propuso un enfoque metodológico como aportación teórica, y su implementación en un caso de estudio como aportación práctica, cuya novedad tecnológica fue su instalación exitosa.

Se presenta enseguida, una síntesis de los resultados obtenidos en cada capítulo, como marco conclusivo de la tesis:



## 1.Introducción.

En el *Capítulo 1* se presentó la problemática y su justificación, el objetivo y el caso de estudio. A partir de este punto se presentaron las preguntas y tareas científicas que dan lugar al capitulado y a la estructura realizada en esta investigación. Esta sección fue diseñada para explicar al lector la importancia de esta investigación, y así ampliar la comprensión del tema.

Antecedentes:

**15/09/2008 COFETEL ordena el *cambio de frecuencias a concesionarios de estaciones de radiodifusión sonora.***

Problemática:

**¿Cuál es el proceso de instalación de una señal de frecuencia modulada?**

Justificación:

**03/12/2009 Grupo Fórmula licitó el cambio de frecuencia de su señal de 950 KHz de AM a FM, autorizado el 05/11/2010.**

Objeto:

**Proceso de instalación de una señal de frecuencia modulada.**

Campo de Estudio:

**Radiocomunicaciones.**

Área de Investigación:

**Ingeniería.**

Línea de Investigación:

**Telecomunicaciones.**

Competencia:

- **Se describen y aplican las técnicas de transmisión y recepción convenientes para la radiodifusión en AM y FM, para el diseño e instalación de la estación de radio.**
- **Se instala el equipo de las estaciones radioeléctricas, se interpretan y distinguen los diversos procesos básicos que se emplean para la gestión del espectro radioeléctrico.**
- **Se busca cumplir las disposiciones legales necesarias para una correcta gestión de las estaciones difusoras de audio y video por ondas de radio".**

Objetivo:

**Describir el proceso de instalación de una señal de FM.**

Caso de Estudio:

**Proceso de instalación de la señal de radio 106.3 MHz (XHACA-FM), concesionada a Grupo Fórmula Guerrero.**

Preguntas Científicas:

1. **¿Por qué** realizar la instalación de una señal de radio en FM?
2. **¿Cuáles** son las estrategias tecnológicas que hacen posible la instalación de la señal modulada en frecuencia?
3. **¿Cómo** analizar la instalación de una señal de radio FM?
4. **¿Dónde** validar el proceso de instalación de una señal FM?
5. **¿Cuáles** son las recomendaciones y sugerencias para la instalación de una señal en frecuencia modulada y **cuándo** hacerlo?
6. **¿Qué** líneas de investigación y trabajos futuros surgen del proceso de instalación de una señal de radio FM?

Tareas Científicas:

1. Se buscarán las razones del **porqué** se pretende instalar una señal de radio en frecuencia modulada.
2. Se investigarán **cuáles** son los criterios tecnológicos que hagan posible la instalación de una señal modulada en frecuencia.
3. Se analizará la instalación de una señal de radio FM **como** un proceso.
4. Se validará el proceso de instalación de una señal FM **en un caso de estudio** práctico.
5. Se elaborará una **metodología** para sistematizar **cuáles** son las recomendaciones y sugerencias para la instalación de una señal de FM, que establezca **cuándo** se debe comenzar con el proceso.
6. Proponer las líneas de investigación y los posibles trabajos futuros, **que** surjan del proceso de instalación de una señal de radio FM.

Métodos:

- a) Teóricos: análisis-síntesis, hipotético-deductivo e inductivo-deductivo; análisis de fuentes e histórico-lógico; tecno-metafísico general y ontológico-tecnológico particular; método de proyectos; modelación y método sistémico-estructural.**
- b) Empíricos: observación, experimentación y heurística.**

Hipótesis:

**“La instalación de una señal de radio FM, es posible llevarla a cabo mediante una metodología ad hoc, basada en un diseño de procesos y validarla mediante la implementación de un caso de estudio”.**

Aportaciones:

- a) Teórica: propuesta de una metodología apropiada para la descripción del proceso de instalación de una señal de radiofrecuencia.**
- b) Práctica: viabilidad mediante un caso de estudio de una instalación de una señal real de radio FM.**

Novedad:

**Puesta en marcha de una señal de radiofrecuencia usando una metodología propia.**

Capitulado:

- 1. Introducción.**
- 2. Fundamentos.**
- 3. Proceso de Instalación.**
- 4. Caso de Estudio.**
- 5. Conclusiones y Recomendaciones.**
- 6. Líneas, Alcance y Trabajos.**

Estructura:

- a) Lineal: 1→2→3→4→5→6.**
- b) Alternativa: 1→(2v4); 2→6→5; 4→3→5.**



El *Capítulo 2* explicó los fundamentos: filosófico, teórico y legal, del proceso de instalación de una señal de FM, los cuales muestran la complejidad de este tema de investigación.

Filosófico:

**El enfoque tecno-metafísico general y óptico-tecnológico particular, significa que el hombre como ser transformador con ayuda de la tecnología de las comunicaciones de radio, puede alterar ciertos procesos naturales (como el ecosistema, al instalar las torres en áreas verdes) y sociales (como formar una nueva comunidad de radioescuchas al poner en marcha una estación de radio), en forma deliberada y con arreglo a una planificación específica (que se denominará proceso, dentro de una metodología para alcanzarlo).**

Teórico:

**Las teorías científicas que fundamentan la investigación son: el electromagnetismo, los sistemas de comunicaciones en general, y en particular las radiocomunicaciones, dando énfasis en la modulación-demodulación de frecuencia.**

Legal:

**Norma Oficial Mexicana NOM-02-SCT1-93, ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE ESTACIONES DE RADIODIFUSIÓN SONORA EN F. M.**



### 3.Proceso.

La realización del *Capítulo 3*, inicia con las generalidades de los procesos, resaltando la jerarquía que se seguirá: Macroproceso, Procesos, Subprocesos y Tareas-Funciones. En seguida, se explican los procesos de Obra Civil, Sistema Eléctrico, Radiodifusión; y se concluye con el diseño y realización de una metodología para dar una posible solución para el problema de instalar una señal de FM.

Generalidades:

**Un Proceso es un conjunto de actividades organizadas entre sí, que se realizan desarrollándose en etapas, bajo ciertas circunstancias, con una finalidad determinada.**

Macroproceso:

**La Instalación de una señal de FM.**

Procesos y subprocesos:

- 1. Obra Civil: Elección del Terreno, Estudio de Radio, Sitio de Transmisores y Torre de Comunicación.**
- 2. Sistema Eléctrico: Acometida, Protección, Conmutación, Generación y Distribución.**
- 3. Radiodifusión: Ensamble de cabinas (Grabación, Locutores y Operadores) y Transmisión FM (Procesador, Excitador, Transmisor, Líneas y Antena).**

**En la Figura 160 se muestra el diagrama de flujo general del macroproceso.**

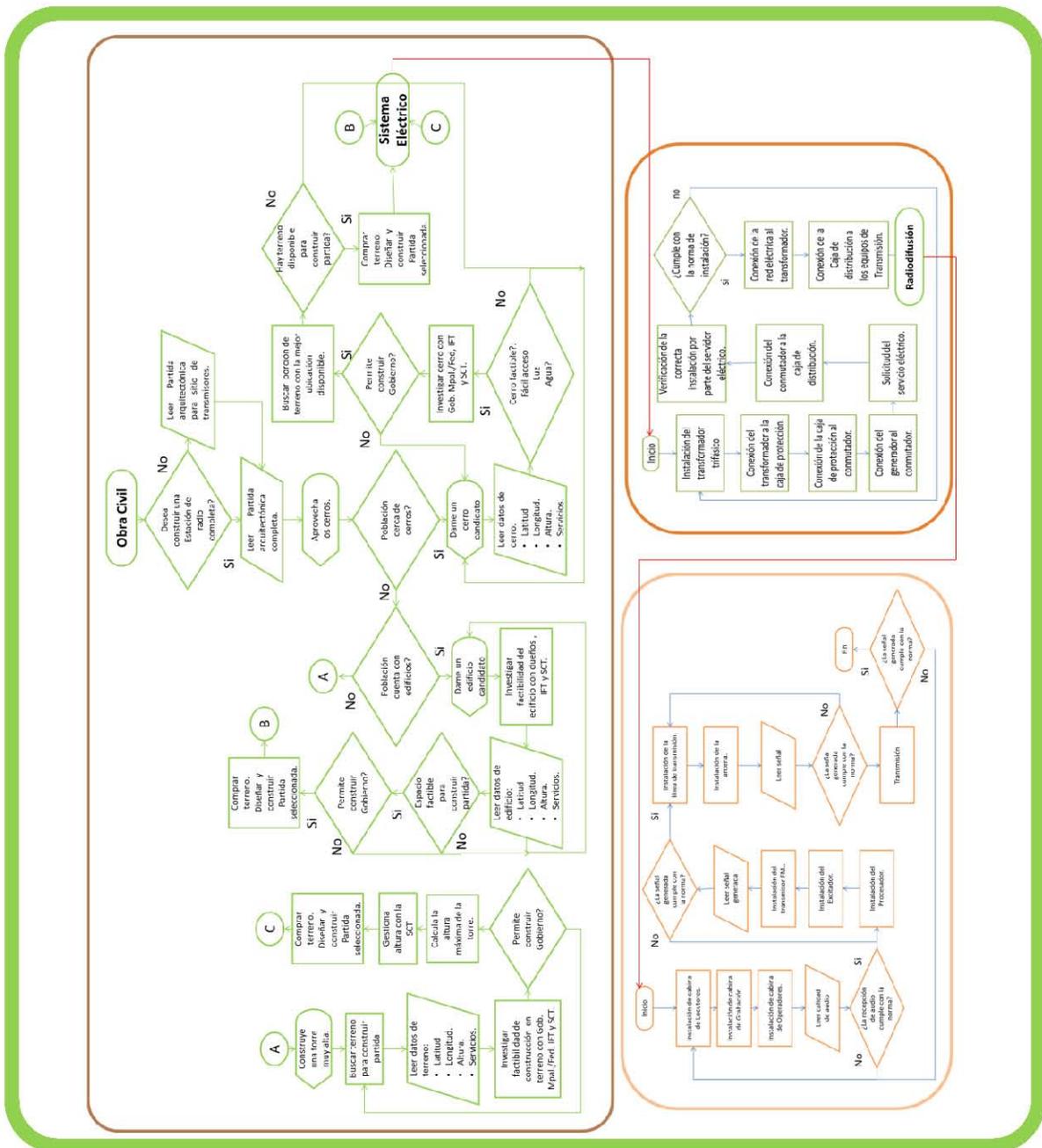


Figura 160. Diagrama del Macroproceso.

Metodología:

- 1. Conocer la Norma Oficial Mexicana NOM-02-SCT1-93, ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE ESTACIONES DE RADIODIFUSIÓN SONORA EN FM.**
- 2. Seleccionar el terreno.**
- 3. Solicitar permiso de colocación de torre a la Dirección General de Aeronáutica Civil perteneciente a la SCT.**
- 4. Presentar documentación ante el IFT:**
  - Permiso autorizado mencionado en el punto 3.
  - Plano topográfico del terreno.
  - Documentación legal de la empresa.
  - Solicitud de frecuencia.
- 5. Esperar respuesta del IFT.**
  - Fallo a favor.
  - Características de transmisión de la frecuencia autorizada.
- 6. Diseñar Obra civil:**
  - Caseta de Transmisores.
  - Diseño de estudio de radio y oficinas.
  - Selección de torre (arriostrada/autosoportada).
- 7. Diseñar Sistema Eléctrico:**
  - Carga requerida.
  - Sistema de protección.
  - Conmutador de cargas.
  - Planta de Emergencia.
  - Distribución de cargas.

**8. Diseñar Estudios:**

- Consolas.
- Micrófonos.
- Cable de audio.
- Conectores.
- Bocinas.
- Computadoras.

**9. Diseñar el Sistema Transmisión.**

- Transmisores.
- Procesador de audio.
- Excitador.
- Tipo de línea de transmisión.
- Tipo de antena.

**10. Implementar los puntos 6, 7, 8 y 9.**

**11. Evaluar con pruebas de funcionamiento:**

- Voltajes.
- Corrientes.
- Potencia de salida.
- Potencia reflejada.
- Módulos de potencia.
- Prueba de sistema de emergencia.
- Diagrama de cobertura.
- Modulador FM.

**12. Notificar a IFT el inicio de transmisión.**



#### 4. Caso de Estudio.

El *Capítulo 4* validó la metodología propuesta para el caso de estudio de la Instalación de la Señal XHACA-FM 106.3 de Grupo Fórmula Guerrero.

Selección:

|   |   |
|---|---|
| <b>Frecuencia:</b>  | 106.3 MHz.  |
| <b>Distintivo de llamada:</b>   | XHACA-FM.   |
| <b>Ubicación de equipo transmisor:</b>  | Acapulco, Gro.  |
| <b>Área de cobertura: Acapulco, Gro. y localidades comprendidas dentro del contorno de:</b>                 | 60 dBu.   |
| <b>Potencia:</b>  | 25.0 KW Radiada aparente (Comunicación).                  |
| <b>Sistema radiador:</b>  | No Direccional.   |
| <b>Horario de funcionamiento:</b>   | 24 horas.   |
| <b>Ubicación de la planta transmisora:</b>  | Domicilio conocido Cumbres de Llano Largo, Acapulco, Gro. |
| <b>Coordenadas Geográficas:</b>   | L. N. : 16°49'29", L. W. : 99°49'55".                     |
| <b>Altura del centro de radiación de la antena sobre el nivel del terreno:</b>                              | 95 m.   |
| <b>Altura sobre el nivel del mar del lugar de instalación:</b>  | 380 m.  |
| <b>Altura del centro de radiación de la antena con relación al terreno promedio entre 3 y 16 km (AATP):</b> | 408 m.  |
| <b>Potencia de operación del equipo:</b>  | 9.4 kW.   |

Macroproceso:

**La Instalación de la Señal XHACA-FM 106.3 de Grupo Fórmula Guerrero.**

Procesos:

**a) Obra Civil.**

**b) Sistema Eléctrico.**

**c) Radiodifusión.**

Síntesis metodológica:

- 1. Se cumplió con la Norma Oficial Mexicana NOM-02-SCT1-93, ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACIÓN Y OPERACIÓN DE ESTACIONES DE RADIODIFUSIÓN SONORA EN FM, como constató la visita del perito asignado por el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT), en términos de las atribuciones contenidas en los artículos 1º, 2º, 3º, 4º, fracción III, inciso C) y 25 apartado B) fracciones I, II y III del reglamento interno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL, ahora IFT) y 1º, 2º, fracción XXX, 37 y 40 del Reglamento Interior de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, de conformidad con el Cuarto Transitorio del Artículo primero del Decreto que reforma, Adiciona y Deroga diversas Disposiciones de la Ley Federal de Telecomunicaciones y de la Ley Federal de Radio y Televisión, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 11 de Abril del 2006 (DOF, 2008).**
- 2. Se utilizó el terreno de la empresa Radio Fórmula, en Acapulco, Guerrero; con una superficie de 3,222 m<sup>2</sup>, ubicado en Cumbres de Llano Largo, domicilio conocido; coordenadas geográficas: L. N. : 16°49'29", L. W. : 99°49'55", confirmadas por el IFT, y está situado a 380 m sobre el nivel del mar (CFT, 2010).**
- 3. Se solicitó permiso de colocación de una torre arriostrada, a la Dirección General de Aeronáutica Civil perteneciente a la SCT, misma que determinó las características de: Altura**

**del centro de radiación de la antena sobre el nivel del terreno (95 m), Altura sobre el nivel del mar del lugar de instalación (380 m) y Altura del centro de radiación de la antena con relación al terreno promedio entre 3 y 16 km (408 m), según lo marca el Procedimientos para el otorgamiento de autorización de emplazamiento de elementos radiadores en el territorio nacional, (Aeronáutica, 2015).**

- 4. Se presentó la documentación ante el IFT: permiso autorizado por la Dirección General de Aeronáutica Civil, el plano topográfico del terreno, la documentación legal de la empresa Grupo Fórmula Guerrero y el oficio de solicitud de frecuencia, según lo estipula el "Acuerdo por el que se establecen requisitos para llevar a cabo el cambio de frecuencias autorizadas para prestar el servicio de radio y que operan en la banda de Amplitud Modulada, a fin de optimizar el uso, aprovechamiento y explotación de un bien del dominio público en transición a la radio digital" (DOF, 2008).**
- 5. Se recibió fallo a favor por parte del COFETEL (ahora IFT) y las características de transmisión de la frecuencia autorizada, según consta en CFT (2010).**
- 6. Se planificó la instalación de la torre arriostrada**
- 7. Se calculó el sistema eléctrico con la carga de 150 KVA requerida, sistema de protección con interruptores termomagnéticos, conmutador y planta de emergencia (marca Ottomotores®, modelo DALE 3100, a diésel de 300 L, de 80 KVA 200V a 3 fases).**

**8. Se continuó usando el equipo del estudios:**

- Consolas.
- Micrófonos.
- Cable de audio.
- Conectores.
- Bocinas.
- Computadoras.

**9. Se diseñó el sistema de transmisión.**

- Transmisores.
- Procesador de audio.
- Excitador.
- Tipo de línea de transmisión.
- Tipo de antena.

**10. Se implementaron los puntos 6, 7, 8 y 9.**

**11. Se hicieron las pruebas de funcionamiento para evaluar la señal. Se midieron los**

- Voltajes.
- Corrientes.
- Potencia de salida.
- Potencia reflejada.
- Módulos de potencia.
- Prueba de sistema de emergencia.
- Diagrama de cobertura.
- Modulador FM.

**12. Se notificó a la COFETEL (ahora IFT) del inicio de transmisión.**



Desde el punto de vista de la Metodología de la Investigación: *las conclusiones son la respuesta de los objetivos (Eco, 1997).*

En este trabajo, el **objetivo** es la **descripción del proceso de instalación de una señal de FM**, y las respuestas para esta meta son:

1. La instalación de una señal de FM, se analizó usando un **enfoque de Procesos**. Se asumió la postura de la **Ingeniería de Procesos**, la cual indica que un proceso tiene que ser: *identificado o definido\**, *construido* o *diseñado* en *jerarquías\*\** (*macroproceso, proceso en etapas, subprocesos y tareas-funciones*) e *implementado\*\*\**. A todo lo anterior se le llama **Descripción del Proceso**.

Para este trabajo de investigación, se propuso que:

\*Un **Proceso**, se *define* como **un conjunto de actividades organizadas entre sí, que se realizan desarrollándose en etapas, bajo ciertas circunstancias, con una finalidad determinada**. Su construcción se hizo mediante un análisis de autores, adoptando una postura ecléctica.

\*\* La *jerarquización* del proceso se diseñó, asumiendo como **Macroproceso** a la Instalación de una señal de FM.

Las *etapas* interrelacionadas del *proceso* (y sus *subprocesos*), se pensaron en forma tripartita: Obra Civil (Elección del Terreno, Estudio de Radio, Sitio de Transmisores y Torre de Comunicación), Sistema Eléctrico (Acometida, Protección, Conmutación, Generación y Distribución) y

Radiodifusión (Ensamble de cabinas —Grabación, Locutores y Operadores— y Transmisión FM —Procesador, Excitador, Transmisor, Líneas y Antena—).

Las *tareas-funciones*, se establecen de acuerdo al caso de estudio particular de la señal que se quiera instalar, pues por ser tan a detalle, sería muy difícil describirlas completamente. Por ejemplo, algunas de las tareas-funciones en el subproceso de la *Elección del Terreno*, pueden ser: disponibilidad de compra, ubicación geográfica, accesos al terreno, costo, servicios públicos, cumplimiento de **regulaciones ecológicas, autorización de Aeronáutica Civil, ...**

\*\*\*Y finalmente, la *implementación* del proceso se realizó exitosamente en un caso de estudio.

2. Como producto del análisis del enfoque de procesos para la descripción de la instalación de una señal de FM, se diseñó una metodología propia denominada Metodología Dodecaédrica de Poncairé-LGCD<sup>®</sup>, que constituye la aportación de este trabajo de investigación.

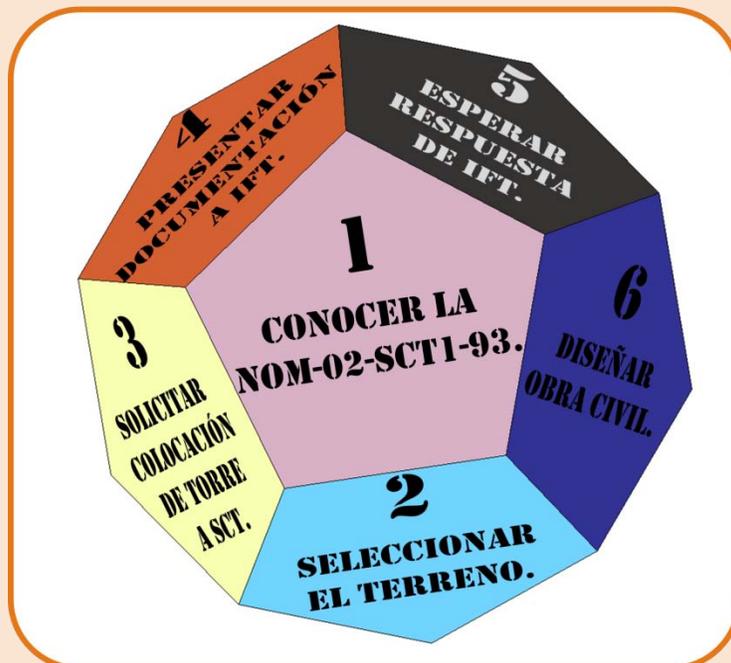
Esta metodología fue inspirada en la conjetura de Poincaré (1904). Toma su nombre, dado que una construcción simple de este espacio comienza con un **dodecaedro**, donde cada uno de sus lados, se identifica con su lado opuesto, utilizando un giro mínimo para alinearlos. Pegando cada par de lados opuestos de dodecaedro se obtiene una 3-variedad cerrada, que es el objeto de estudio de esta hipótesis.

Dado que la metodología, que denominamos Metodología P-LGCD<sup>®</sup>, propuesta consta de doce pasos, por analogía, cada paso puede ser identificado como una de las caras del dodecaedro.

Linealmente la Metodología DP-LGCD<sup>®</sup> se sintetiza como:

1. Conocer la NOM-02-SCT1-93.
2. Seleccionar el terreno.
3. Solicitar colocación de torre a la SCT.
4. Presentar documentación a IFT.
5. Esperar respuesta del IFT.
6. Diseñar Obra civil.
7. Diseñar Sistema Eléctrico.
8. Diseñar Estudios.
9. Diseñar Sistema Transmisión.
10. Implementar 6, 7, 8 y 9.
11. Evaluar funcionamiento.
12. Notificar a IFT.

Y estereoscópicamente se sintetiza como:



**Figura 161.** Metodología DP-LGCD<sup>®</sup>.

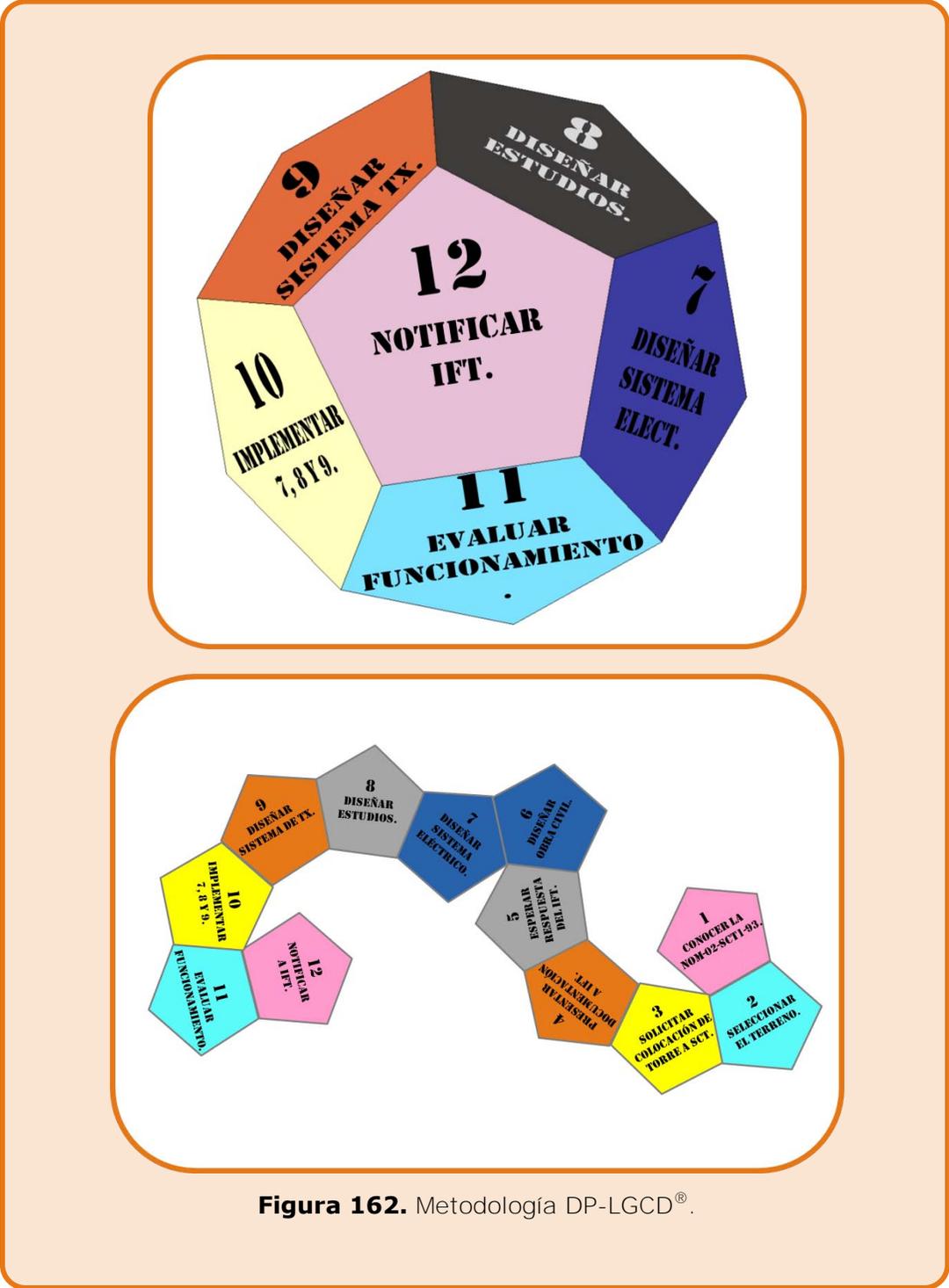


Figura 162. Metodología DP-LGCD®.

3. La Metodología DP-LGCD<sup>®</sup>, se implementó exitosamente, usando como caso de estudio la ***Instalación de la Señal XHACA-FM 106.3 de Grupo Fórmula***, saliendo al aire desde el 06 de Diciembre de 2011, lo cual puede comprobarse con facilidad con cualquier sintonizador de radio FM en Acapulco, Guerrero, México. Esto no indica que esta metodología sea la única a implementar, pero si es funcional al ponerla en práctica. De este modo, se podrá contar con un método que proporcionará herramientas necesarias para instalar una frecuencia de FM, así como una guía para la instalación de las nuevas tecnologías de radiodifusión.

A partir del 2011, en México ya se empezó a implementar la radio digital con la tecnología IBOC, lo cual será un proceso de cambio lento y costoso. En contraste, las radiodifusoras de Estados Unidos realizaron en su totalidad este cambio.

En la siguiente sección, se dan a conocer las recomendaciones a seguir, durante la realización de la instalación de una señal de FM.

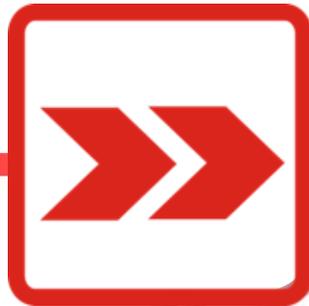
## **5.2 Recomendaciones.**

---

Se desea que la instalación de una señal de FM, sea óptima, ahorre tiempo, dinero y esfuerzo, para que una emisora de radio, proporcione un servicio de calidad. A continuación se hacen algunas recomendaciones para hacer más eficiente la instalación:

1. Procurar no tener la torre con las oficinas en el mismo terreno, ya que la señal de RF interfiere mucho en las señales inalámbricas (internet, celulares, alarmas de autos, etcétera).
2. Seguir las normas del cableado estructurado, lo cual permite con mucha mayor facilidad ubicar fallas.
3. En cualquier conexión de equipos, siempre se deben leer los manuales de operación de los equipos. Esto nos ahorrara tiempo de instalación.
4. Siempre se deben ajustar las retenidas correctamente de la torre, esto evitará accidentes en temporada de huracanes, vientos fuertes, deslaves o sismos.
5. Es muy importante instalar sistemas de tierra independientes (oficinas, sitio de transmisores, torres).

Cabe mencionar que este trabajo de investigación tiene temas que se pueden analizar a detalle logrando unas líneas de investigación y alcances tecnológicos más eficientes, de los cuales mencionamos en el siguiente capítulo.

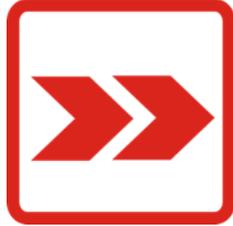


## **6. Líneas, Alcance y Trabajos.**



## **6. Líneas, Alcance y Trabajos.**

---



6.1 Alcance Tecnológico.

6.2 Líneas de investigación.

6.3 Trabajos Futuros.

## 6. Alcance, Líneas y Trabajos.

---



En este capítulo se detallarán el Alcance de esta tesis, las Líneas de Investigación que se abren con la culminación de este proyecto, y por último, los Trabajos que se pueden seguir desarrollando implementando las nuevas tecnologías de transmisión en Radiodifusión.

### 6.1 Alcance Tecnológico.

---

El **alcance** tecnológico asociado a este trabajo de investigación, es la consideración de señales de FM y no de FM digital. La falta de consideración de esto, es debido a que en la región donde se desarrolla el caso de estudio, aún no se ha implementado la tecnología adecuada a la FM digital.

Esto no indica que la investigación no pueda ampliarse hacia nuevas líneas de investigación y ser desarrolladas.

La nueva era de la Radio Digital o HD Radio ya llegó a México, se podrá escuchar la radio AM en estéreo y con calidad como un CD, y la FM ahora podrá ofrecer canales adicionales estéreos en la misma frecuencia, es decir, en una sola frecuencia por ejemplo se elegirá entre Jazz, Pop y Noticias y todos con sus canales de datos donde se apreciara el nombre de la canción entre otras cosas. La radio digital es una forma mejorada de transmitir señales en AM y FM, pero ¿qué significa para, los radioescuchas?

La tecnología de Radio HD permite a las emisoras transmitir una señal digital de alta calidad, los nuevos sintonizadores de radio cuentan con los siguientes beneficios:

- Radio FM con sonido de calidad casi igual a la de CD.

La calidad del audio grabado en un CD, hasta el momento es la mejor, ya que en este formato no se comprime la grabación. La radio FM digital le permite a una emisora de radio transmitir más información en la misma onda radioeléctrica, por lo que el sonido puede casi igualarse al que fue grabado en un disco compacto (*Compact Disk*, CD).

- Radio AM que suena tan bien como FM tradicional.**

La radio AM usa secciones más pequeñas de ancho de banda, pero existe suficiente espacio para darle a las estaciones de AM la claridad equivalente con la que cuenta la radio FM analógica estereofónicas (**VASEGHI, 2006**).

- No más estática, estallidos, crujidos o desvanecimientos.**

La señal digital es menos vulnerable a los problemas de recepción, por lo tanto los procesadores digitales del sintonizador de radio eliminan la estática, chasquidos, crujidos incluso los desvanecimientos en la señal provocados por la interferencia. Todo esto se elimina completamente.

- Transmisión de datos adicionales, tales como títulos de canciones y nombres de artistas.**

La radio digital cuenta con la capacidad de transmitir datos adicionales junto con la señal transmitida, por ejemplo texto en la pantalla del receptor, información de la programación transmitida, nombre de la frecuencia y potencia.

- Opciones multidifusión.**

Esto permite que el permisionario o concesionario, puedan transmitir dos o más programas simultáneamente. El radioescucha puede elegir, por ejemplo, entre un partido deportivo o música (**RAY, 2012**).

## 6.2 Líneas de investigación.

---

De este trabajo de tesis se desprenden cuatro líneas de investigación. Tres de ellas son los procesos incluidos dentro del *macroproceso de instalación de una señal de FM*:

- Obra civil.
- Sistema Eléctrico.
- Radiodifusión.

Lo que permite a los estudiantes de la carrera de Telecomunicaciones elegir uno de estos procesos, para su desarrollo a un punto más detallado, ya que cada proceso puede ser objeto de elaboración de un proyecto de tesis.

Como cuarta línea de investigación, se propone la implementación de las nuevas tecnologías de radiodifusión, como el sistema IBOC (**MAXSON, 2007**).

Desde el 2004, la Cámara Nacional de la Industria de la Radio y Televisión (CIRT), realizó pruebas de campo y laboratorio con los sistemas IBOC y Eureka-147 en la Ciudad de México, lo cual permitió conocer las características, alcances y cualidades de dichos sistemas y desde el 2002, la Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos de América, seleccionó la tecnología IBOC para que las emisoras de radio en AM y FM pudieran iniciar transmisiones digitales de forma voluntaria, en modo híbrido, esto permite la transmisión de las señales analógicas y digitales dentro del mismo canal de transmisión y en la misma banda, destacando que el uso de un único estándar de transmisión en las bandas de AM y FM facilitará el desarrollo del servicio de la Radio Digital.

El estándar IBOC recomendado por la UIT en los documentos UIT-R BS.1514 y UIT-R BS.1114-6, ha sido estandarizado por el Comité Nacional de Sistemas de Radio de los Estados Unidos (NRSC, por sus siglas en inglés ***National Radio Systems Committee***) en el documento **(NRSC-5-B, 2008)**, que incluye una descripción técnica de dicho estándar para su implementación por parte de los interesados.

Ante el continuo incremento en el número de estaciones estadounidenses que utilizan el sistema IBOC y a efecto de contar con las mejores condiciones para el desarrollo de las estaciones de radiodifusión en la frontera norte de nuestro país, el 14 de mayo de 2008, la Comisión Federal de Telecomunicaciones, publicó en el Diario Oficial de la Federación los "Lineamientos para la transición a la Radio Digital Terrestre **(RDT, 2008)**, de las estaciones de radiodifusión sonora ubicadas dentro de la zona de 320 kilómetros de la frontera norte de México".

Los Lineamientos destacan que se continuaría el análisis y evaluación de las tecnologías digitales reconocidas para que posteriormente se pudieran establecer las decisiones relacionadas con la adopción del estándar para la RDT.

Este cambio requerirá el desarrollo de un proceso de instalación de FM con el sistema IBOC, y así lograr futuros trabajos adaptándose a las nuevas tecnologías.

## 6.3 Trabajos Futuros.

---



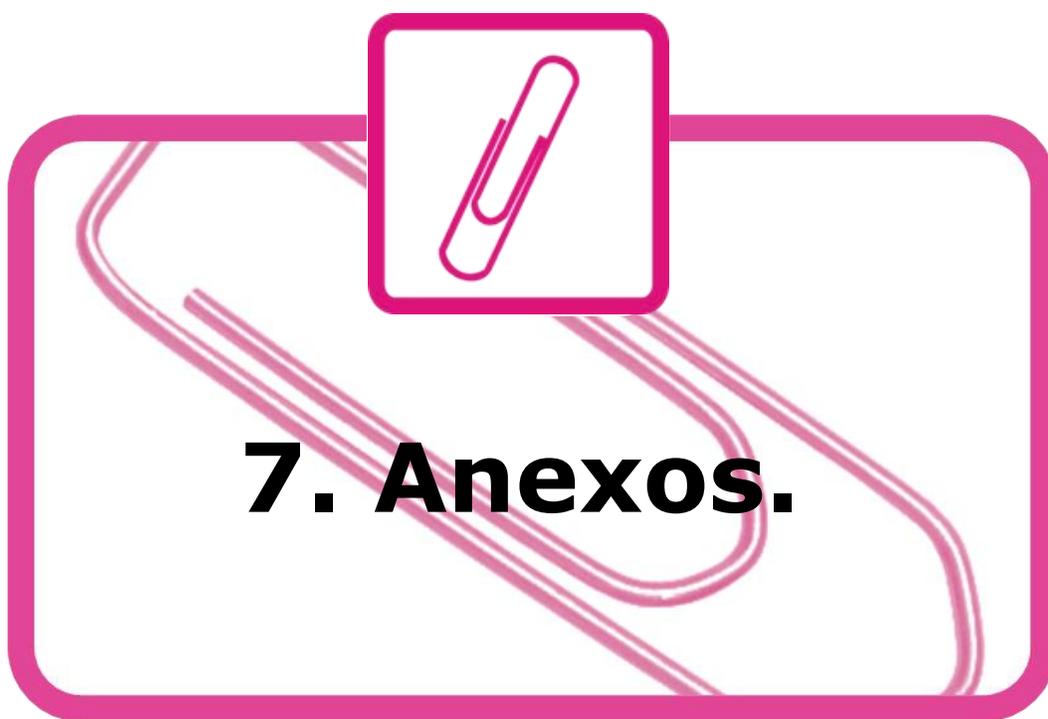
**Figura 163.** Radio digital.

Como trabajos futuros, se podría tomar la radio digital con el sistema IBOC (*In Band On Channel*), esta tecnología permite transmitir datos a los receptores de radio, y así mostrar campos diversos en el display para dar un mejor servicio a los radioescuchas, como son: **número de frecuencia, nombre de música, programas, logotipo**, entre otros servicios **(NRSC, 2014)**.

Algunas estaciones de radio del norte de la república, empezaron a usar esta tecnología, obligados por la competencia que generan las estaciones de los EUA. De esta manera, quien porte esta tecnología generará mayor calidad de servicio, captando mayor cantidad de radioescuchas, llevándolo a liderar el **(WILKERSON, 2014)**.

Es posible que en algunos años, las radiodifusoras del resto de México empiecen a requerir este servicio, por lo cual los ingenieros deben tener listo un método de instalación de esta nueva tecnología, que asegure resultados infalibles a la hora de instalar y poner en funcionamiento la transmisión.

Así culmina la tesis para alcanzar el grado de Ingeniería en Telecomunicaciones: **"PROCESO DE INSTALACIÓN DE UNA SEÑAL DE FM MEDIANTE UN CASO DE ESTUDIO"**, en la Universidad Americana de Acapulco, por lo que los autores desean que sea de utilidad y agradecen su lectura. Por último, se presentarán los **Anexos** del trabajo de investigación.



## **7. Anexos.**

## 7. Anexos.

---



7.1 Autorización Señal FM.

7.2 Elementos de Antena.

7.3 Conjetura de Poincaré.

## 7.1 Autorización Señal FM.



En este primer anexo, se muestra la evidencia legal del permiso para realizar el cambio de frecuencia del caso de estudio, de 950 AM a 106.3 FM.

  
COMISION FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES

**SECRETARÍA TÉCNICA DEL PLENO**  
CFT/D01/STP/ 6438/10  
México, D. F., 3 de noviembre de 2010

"2010, Año de la Patria, Bicentenario del Inicio de la Independencia y Centenario del Inicio de la Revolución"

**Radio Transmisora del Pacifico, S.A. de C.V. y/o**  
Carlos Sesma Mauleón, Apoderado  
Idaho No. 14  
Col. Nápoles  
Deleg. Benito Juárez  
03810 México, D.F.



Nos referimos a su comunicado de fecha 3 de diciembre de 2009, mediante el cual solicita se le autorice a la estación de radio XEACA-AM de Acapulco, Gro., el cambio de la frecuencia concesionada 950 kHz, por una frecuencia en la banda de FM, conforme a las disposiciones establecidas en el "Acuerdo por el que se establecen los requisitos para llevar a cabo el cambio de frecuencias autorizadas para prestar el servicio de radio y que operan en la banda de Amplitud Modulada, a fin de optimizar el uso, aprovechamiento y explotación de un bien del dominio público en transición a la radio digital", publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de septiembre de 2008.

Sobre el particular, se le comunica que, en virtud de que la solicitud fue presentada y cumplió con los requerimientos señalados en el Acuerdo antes citado y el resultado del análisis realizado a la misma, conforme a las disposiciones establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-02-SCT1-1993, fue satisfactorio, esta Comisión ha determinado sobre la procedencia de su solicitud de cambio de la frecuencia 950 kHz de la banda de AM, a la frecuencia de la banda de FM que se indica a continuación.

Por lo anterior, y con fundamento en los artículos 16 de la Ley General de Bienes Nacionales, 9-A, fracciones XVI y XVII de la Ley Federal de Telecomunicaciones; Cuarto Transitorio del artículo Primero del Decreto que reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones de la Ley Federal de Telecomunicaciones y de la Ley Federal de Radio y Televisión, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 11 de abril de 2006; Resolución de la Suprema Corte de Justicia de la Nación dictada por el Tribunal del Pleno, sobre la controversia constitucional 7/2009; 9o. fracciones I, II y V, 22, 41, 42, 43, 45 y 49 de la Ley Federal de Radio y Televisión, y 1o., 8o. y 9o. fracción XVIII del Reglamento Interno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones, se le autoriza el cambio de la frecuencia concesionada, conforme a las siguientes

**CONDICIONES**

**PRIMERA.-** Se modifica la frecuencia asignada y sus características de operación, conforme a las siguientes:

**Características técnicas registradas a la estación.**

|                                     |                |
|-------------------------------------|----------------|
| 1. Frecuencia:                      | 106.3 MHz      |
| 2. Distintivo de llamada:           | XHACA-FM       |
| 3. Ubicación del equipo transmisor: | Acapulco, Gro. |



COMISION FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES

SECRETARÍA TÉCNICA DEL PLENO

CFT/D01/STP/ 6438 /10

- 2 -

- 4. Área de cobertura: **Acapulco, Gro., y localidades comprendidas dentro del contorno de 60 dBu.**
- 5. Potencia: **25.0 kW radiada aparente (PRA)**
- 6. Sistema radiador: **No Direccional**
- 7. Horario de funcionamiento: **Las 24 horas**

**SEGUNDA.-** Los trabajos de instalación y de las operaciones de pruebas materia de esta autorización, atento a lo dispuesto en el artículo 45 de la Ley Federal de Radio y Televisión, se deberán realizar dentro de un plazo de 180 días hábiles y de acuerdo con las características técnicas registradas a la estación, así como ajustarse a las siguientes especificaciones.

- a) Ubicación de la planta transmisora: **Domicilio Conocido Cumbres de Llano Largo, Acapulco, Gro.**
- b) Coordenadas Geográficas: **L.N.: 16° 49' 29"  
L.W.: 99° 49' 55"**
- c) Altura del centro de radiación de la antena sobre el nivel del terreno: **95 metros**
- d) Altura sobre el nivel del mar del lugar de instalación: **380 metros**
- e) Altura del centro de radiación de la antena con relación al terreno promedio entre 3 y 16 km (AATP): **408 metros**  
Se hace la observación que la AATP no corresponde a la altura de la antena o del centro eléctrico de la misma sobre el lugar de instalación, ya que este valor se determina considerando el promedio de las alturas existentes de los ocho radiales estándar (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° y 315°), considerando el promedio de las alturas, a cada 500 metros entre 3 y 16 kilómetros, de cada uno de los radiales.
- f) Potencia de operación del equipo: **9.4 kW**

El plazo señalado en el párrafo anterior, se computará a partir del día siguiente de la legal notificación de la presente autorización y dentro del cual la Concesionaria deberá comunicar por escrito a esta Comisión, la conclusión de los trabajos de instalación y de las operaciones de prueba, así como solicitar la visita de inspección correspondiente.

Conforme a lo establecido en el artículo 31 de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo, se le podrá ampliar por una única ocasión, el plazo señalado en el primer párrafo de esta Condición, siempre que para ello esa Concesionaria lo solicite con la debida anticipación a su vencimiento, debiendo exponer en su escrito los hechos o razones que dan motivo a su petición, como lo previene el segundo párrafo del artículo 15 de la Ley antes citada y se exhiba el comprobante del pago de derechos de conformidad con lo dispuesto en el artículo 124, fracción III de la Ley Federal de Derechos en vigor. La ampliación del plazo en ningún caso podrá exceder de la mitad del plazo previsto en esta Condición.



COMISION FEDERAL DE  
TELECOMUNICACIONES

## SECRETARÍA TÉCNICA DEL PLENO

CFT/D01/STP/ 6438 /10

- 3 -

**TERCERA.-** En caso de que la Concesionaria no cumpla en tiempo y forma con la conclusión de los trabajos de instalación y de las operaciones de pruebas, así como de la presentación de la comunicación por escrito de la conclusión de los citados trabajos, esta Comisión, en ejercicio de las atribuciones que le competen, procederá conforme a derecho correspondiente.

**CUARTA.-** Para la realización de los trabajos de instalación y de las operaciones de pruebas, la Concesionaria se deberá apoyar en los servicios profesionales de una Unidad de Verificación, y en ausencia de ésta, de un Perito en Telecomunicaciones con la especialidad en radiodifusión, de conformidad con lo dispuesto en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización o en el Reglamento que Norma las Actividades de los Peritos en Telecomunicaciones, según corresponda, con el propósito de que se verifique y garantice la no afectación a otros sistemas radioeléctricos y/o de radiodifusión dentro del área de servicio de la estación, ya que de presentarse interferencias, deberá acatar las medidas que dicte esta Comisión, conforme a lo establecido en la NOM-02-SCT1-1993.

**QUINTA.-** La Concesionaria acepta que si derivado de la modificación de las características técnicas correspondientes al cambio de frecuencia, como han quedado precisadas en las Condiciones Primera y Segunda de la presente autorización, en el caso de que se presenten interferencias con otros sistemas de radiodifusión o telecomunicaciones, acatará las medidas y modificaciones técnicas necesarias que al respecto dicte esta Comisión, hasta que éstas hayan sido eliminadas por completo, de conformidad con lo establecido por los artículos 42, 49, 50 y 51 de la Ley Federal de Radio y Televisión y 23 de la Ley Federal de Telecomunicaciones, así como las demás disposiciones legales, administrativas y técnicas aplicables en la materia.

Todas las modificaciones que pudieran presentarse, por virtud de las medidas que esta Comisión pudiera dictar para eliminar las interferencias que en su caso llegaren a presentarse, deberán acatarse bajo la absoluta y entera responsabilidad de la Concesionaria, y asumirá los costos que las mismas llegaren a implicar.

**SEXTA.-** La Concesionaria deberá exhibir a esta Comisión, en tres ejemplares, la documentación correspondiente a las Características Técnicas de la Estación (CTE-FM), las Pruebas de Comportamiento de la Estación (PCE-FM) y la acreditación del legal uso del equipo transmisor, dentro de un plazo de 60 días hábiles, que se computará a partir del día siguiente de la fecha de la comunicación por escrito que la Concesionaria presente ante esta Comisión, por la que informe de la conclusión de los trabajos de instalación y de las operaciones de pruebas, documentación que deberá estar elaborada y avalada por una Unidad de Verificación, y en ausencia de ésta, por un Perito en Telecomunicaciones con la especialidad en radiodifusión.

La información que contenga la documentación consistente en la CTE-FM, la PCE-FM y la acreditación del legal uso del equipo transmisor, deberá consignar los datos con que se encuentre instalada y operando la estación, de conformidad con las características técnicas registradas a la estación y especificaciones, señaladas en las Condiciones Primera y Segunda de esta presente autorización.



COMISIÓN FEDERAL DE  
TELECOMUNICACIONES

**SECRETARÍA TÉCNICA DEL PLENO**

CFT/D01/STP/ 6438 /10

- 4 -

Dentro del plazo de 60 días hábiles señalado en el primer párrafo de la presente Condición, el Concesionario deberá exhibir ante esta Comisión, la totalidad de la documentación solicitada en los párrafos precedentes, debidamente elaborada conforme a los formatos (CTE-FM, PCE-FM y la acreditación del legal uso del equipo transmisor) que se adjuntan a la presente, y la información contenida en los mismos ajustada a las características técnicas registradas a la estación y especificaciones, apercibiéndole que, en caso de no dar cumplimiento en tiempo y forma con lo solicitado, se procederá conforme a derecho corresponda.

Conforme a lo establecido en el artículo 31 de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo, esta Comisión podrá ampliar el plazo de 60 días hábiles, por una única ocasión, siempre que para ello la Concesionaria lo solicite con la debida anticipación a su vencimiento, debiendo exponer en su solicitud, los hechos o razones que dan motivo a su petición, como lo previene el segundo párrafo del artículo 15 de la Ley antes citada y se exhiba el comprobante de pago de derechos de conformidad con lo dispuesto en el artículo 124, fracción III de la Ley Federal de Derechos en vigor. La ampliación del plazo en ningún caso podrá exceder de la mitad del mencionado plazo de 60 días hábiles.

**SÉPTIMA.-** Adjunto se le remite revisado y registrado el estudio de predicción de área de servicio (AS-FM) y el croquis de operación múltiple (COM-FM), así como se devuelve convalidado el plano de ubicación en virtud de que corresponde a la misma ubicación en que actualmente se encuentra instalada la estación XHAGS-FM, sitio que fue autorizado por la Dirección General de Aeronáutica Civil de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, mediante oficio de fecha 13 de agosto de 1997.

**OCTAVA.-** En términos de lo establecido en el Punto Sexto del Acuerdo mencionado en el primer párrafo de esta autorización, deberá iniciar operaciones en la frecuencia 106.3 MHz en un plazo no mayor de un año, contado a partir de la fecha de la legal notificación del presente oficio, conforme a las características técnicas registradas a la estación y especificaciones consignadas en las Condiciones Primera y Segunda de esta autorización.

**NOVENA.-** Asimismo, conforme a lo señalado en el Punto Sexto del Acuerdo citado en el primer párrafo de esta autorización, deberá continuar la operación de la frecuencia 950 kHz de la banda de AM, estando obligado a transmitir en forma simultánea el mismo contenido de la programación en las frecuencias de la banda de AM y de FM durante un año, contado a partir de la fecha de inicio de operaciones en la frecuencia 106.3 MHz, salvo que en la cobertura de la estación que utiliza la banda de AM se encuentren poblaciones que únicamente reciben el servicio en la banda de AM, debiendo transmitir en forma simultánea el mismo contenido en las frecuencias 950 kHz y 106.3 MHz por el tiempo que determine esta Comisión en cada caso.

Vencido dicho plazo, concluirá su derecho de usar, aprovechar y explotar la frecuencia 950 kHz de la banda de AM, y únicamente podrá continuar prestando el servicio concesionado a través de la frecuencia 106.3 MHz de la banda de FM, por el tiempo de vigencia de su concesión.

**DÉCIMA.-** La presente autorización, no crea derechos reales, otorga simplemente frente a la administración y sin perjuicio de terceros, el derecho a realizar los usos, aprovechamientos o



COMISION FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES

SECRETARÍA TÉCNICA DEL PLENO

CFT/D01/STP/ 6438 /10

- 5 -

explotaciones, de acuerdo con las reglas y condiciones que establezcan las leyes y el título de concesión.

**DÉCIMA PRIMERA.-** Las demás condiciones establecidas en subtítulo de Concesión y sus Anexos, subsisten en todos sus términos.

**DÉCIMA SEGUNDA.-** La Concesionaria acepta la presente autorización del cambio de la frecuencia 950 kHz concesionada, objeto de este oficio y su uso, en cualquier forma, implica la aceptación incondicional de todas sus Condiciones.

**MONY DE SWAAN ADDATI**  
Presidente

**RAFAEL NOEL DEL VILLAR ALRICH**  
Comisionado

**JOSÉ ERNESTO GIL ELORDUY**  
Comisionado

**GONZALO MARTÍNEZ POUS**  
Comisionado

**JOSÉ LUIS PERALTA HIGUERA**  
Comisionado

La presente resolución fue aprobada por el Pleno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones en su XIV Sesión Extraordinaria del 2010, por unanimidad de votos de los comisionados presentes con fundamento en el artículo 9-B de la Ley Federal de Telecomunicaciones y en el artículo 11 del Reglamento Interno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones, mediante acuerdo PEX/0912/072.

- c.c.p. LIC. JUAN JOSÉ CRISPIN BORBOLLA.- Área de Sistemas de Radio y Televisión (ASRT).- COFETEL.- Presente.
- c.c.p. ING. ALONSO ARTURO LÓPEZ TORRES.- Área de Radio.- ASRT.- COFETEL.- Presente.
- c.c.p. LIC. LETICIA CONTRERAS MONGE.- Área de Evaluación y Planeación de Radio.- Área de Radio.- ASRT.- COFETEL.- Presente.

## 7.2 Elementos de Antena.

En este segundo anexo, se muestra la lista de materiales que se incluye en la antena utilizada en el caso de estudio.

|  |  | 6340 Sky Creek Drive, Sacramento, California 95828<br>P.O. Box 292880, Sacramento, California 95829-2880 |                 | (916) 383-1177 FAX (916) 383-1182 |         |
|---|--|--|-----------------|-----------------------------------|---------|
| PACKING LIST<br>ORDER 16130<br>JMPC-6<br>GRUPO FORMULA - ACAPULCO                 |  |  | Date: 12-Jan-11 |                                   |         |
| ITEM #  | DESCRIPTION  | QTY  | SPARES          | BOX #                             | Q/A     |
| 1   | Instruction Book                                     | 1  | -               | 4                                 | Dmm     |
| 2   | JMPC Radiating Element                               | 6  | -               | 1,2                               | 1       |
| 3   | O-Ring, 1-5/8"                                       | 12   | 1               | 4                                 |         |
| 4   | Bullet, 1-5/8"                                       | 10   | -               | 4                                 |         |
| 5   | SS Bolt, LW, Nut 5/16" x 1-1/2"                      | 48   | 4               | 4                                 |         |
| 6   | SS Bolt, LW, Nut 3/8" x 1-1/2"                       | 6  | -               | 4                                 |         |
| 7   | O-Ring, 3-1/8"                                       | 1  | -               | 4                                 |         |
| 8   | Center Feed, 1-5/8" to 3-1/8"                        | 1  | -               | 4                                 |         |
| 9   | Upper Line Section                                   | 1  | -               | 3                                 |         |
| 10  | Middle Line Section                                  | 4  | -               | 3                                 |         |
| 11  | Lower Line Section                                   | 1  | -               | 3                                 |         |
| 12  | Silicone Grease                                      | 4  | -               | 4                                 |         |
| 13  | SS Bolt, LW, Nut 1/2" x 1-1/2" (Bracket to Line)     | 12   | 2               | 4                                 |         |
| 14  | Double Saddle Bracket, 1-5/8" to 3-1/8" 077-00031-00 | 1  | -               | 4                                 |         |
| 15  | Standard Mounting Bracket, 077-00339-00              | 6  | -               | 4                                 |         |
| 16  | Saddle Bracket, 3-1/8" 077-00044-00                  | 2  | -               | 4                                 |         |
| 17  | SS U-Bolt, 3/8" x 2"                                 | 28   | 2               | 4                                 |         |
| 18  | SS Nut, LW, FW 3/8"                                  | 56   | 5               | 4                                 |         |
| 19  | Hose Clamp, 6824                                     | 2  | -               | 4                                 |         |
| 20  | SS Shim, 1-5/8"                                      | 1  | -               | 4                                 |         |
| 21  | Hose Clamp, 6848                                     | 6  | -               | 4                                 |         |
| 22  | SS Shim, 3-1/8"                                      | 3  | -               | 4                                 |         |
| 23  | Pop Valve  | 1  | -               | 4                                 | Dmm     |
|   |  |  |                 |                                   | 1.12.11 |

## 7.3 Conjetura de Poincaré.

---

Aquí se muestra lo relativo a la **Conjetura de Poincaré**. Esta conjetura, se convirtió en el problema abierto más notable de la topología geométrica, con destacables implicaciones para la Física. Esta hipótesis fue propuesta por el francés **Henri Poincaré** en el año de **1904**, donde recientes investigaciones científicas exponen que el universo se asemeja al **Espacio Dodecaédrico de Poincaré**, también denominada esfera de **Homología de Poincaré**.

La construcción de este espacio, se centra en un **dodecaedro regular**<sup>82</sup>, que es un *poliedro de doce caras*, donde cada una de sus caras son *pentágonos regulares*, iguales entre sí, perteneciente a los sólidos platónicos.

Los sólidos platónicos reciben su nombre en honor al filósofo griego **Platón** (427-346 a. C.), quien fue el primero en estudiarlos. Existen sólo cinco poliedros regulares: tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro e icosaedro. Debido a la posibilidad de construcción de sus ángulos sólidos que admiten triángulos equiláteros, o cuadrados, o bien pentágonos, que deben ser menores de 360 °. Todas las caras de estos sólidos son polígonos regulares; en todos los vértices del poliedro concurren el mismo número de caras y de aristas; todos los aristas tienen la misma longitud; todos sus vértices son convexos a los del icosaedro; además tienen simetría axial respecto a una serie de ejes de simetría que pasan por el centro de simetría anterior, y tienen también simetría espectacular respecto a una serie de planos de simetría, que

---

<sup>82</sup> Un **cuerpo geométrico** es **regular**, cuando tiene medidas congruentes de lados, ángulos y caras. Dos medidas son **congruentes** geoméricamente, si dichas medidas tienen el mismo tamaño, abertura, o alguna otra característica en común.

los dividen en dos partes iguales. Como consecuencia geométrica de lo anterior, se pueden trazar en todo sólido platónico tres esferas particulares, todas ellas centradas en el centro de simetría del poliedro:

- Una esfera inscrita, tangente a todas sus caras en su centro.
- Una segunda esfera tangente a todas las aristas en su centro.
- Una esfera circunscrita, que pase por todos los vértices del poliedro.

Proyectando los centros de las aristas de un poliedro platónico sobre su esfera circunscrita desde el centro de simetría del poliedro se obtiene una red esférica regular, compuesta por arcos iguales de círculo máximo, que constituyen polígonos esféricos regulares. Además, si se traza un poliedro empleando como vértices los centros de las caras de un sólido platónico se obtiene otro sólido platónico, llamado conjugado del primero, con tantos vértices como caras tenía el sólido inicial, y el mismo número de aristas. El poliedro conjugado de un dodecaedro es un icosaedro, y viceversa; el de un cubo es un octaedro; y poliedro conjugado de un tetraedro es otro tetraedro.

Otra característica de esta figura es que cada lado del dodecaedro se identifica con su lado opuesto, dando un leve giro para alinearlos, y pegando cada par de lados opuestos del dodecaedro, se obtiene una **3-variedad cerrada**. En la **Tabla 14** se muestran las características de este poliedro de doce caras.

En todo poliedro regular, el número de caras más el número de vértices, es igual al número de aristas más 2. Esto es conocido como **característica de Euler**<sup>83</sup>, la cual es una propiedad topológica:

$$C + V = A + 2 \quad (1)$$

donde

$C$ : Número de caras.

$V$ : Número de vértices.

$A$ : Número de aristas.

Esta propiedad topológica caracteriza al dodecaedro, a saber:

$$C|_{12} + V|_{20} = A|_{30} + 2$$

$$12 + 20 = 30 + 2$$

$$32 = 32$$

A continuación se presenta el cálculo del área y volumen de esta figura. Para calcular el área de las caras de un dodecaedro (que es 12 veces el área de una de ellas,  $A_c$ ), que es equivalente el área de un pentágono ( $A_c$ ) como se muestra en la **Figura 164**, está en función de su arista  $a$  (**BALDOR, 2004**), y está dada por la fórmula:

$$A_c = \frac{\sqrt{25 + 10\sqrt{5}}}{4} \cdot a^2$$

---

<sup>83</sup> La **característica de Euler** ( $X$ ) de un *politopo* de tres dimensiones (poliedro) se puede calcular usando la fórmula siguiente:

$$X = C - A + V$$

donde  $C$ ,  $A$  y  $V$  son los números de caras, de aristas y de vértices respectivamente. En particular, para cualquier poliedro homeomorfo a una esfera tenemos

$$X = C - A + V = 2$$

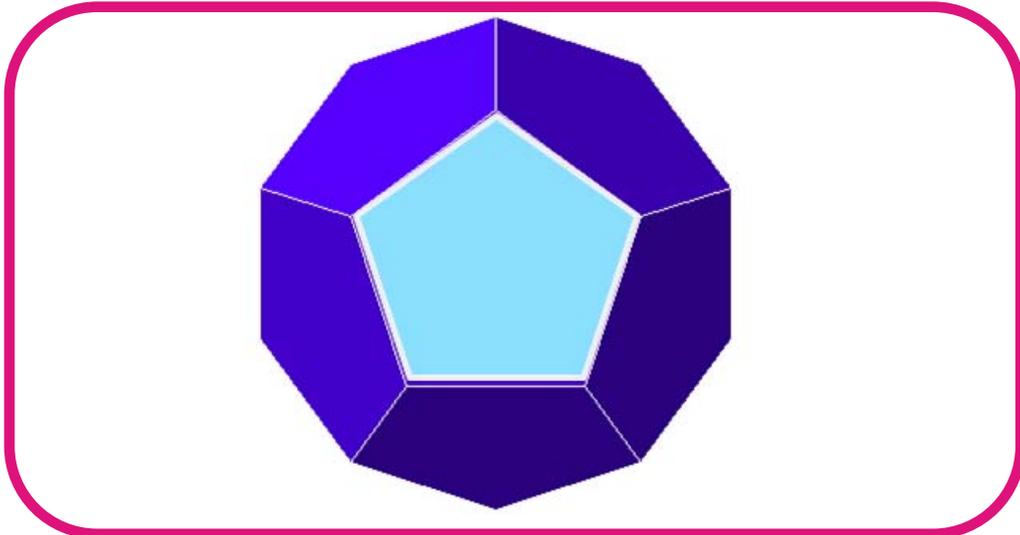
Por lo que el Área total ( $A$ ), se calcula como:

$$A = 12 \cdot A_c$$

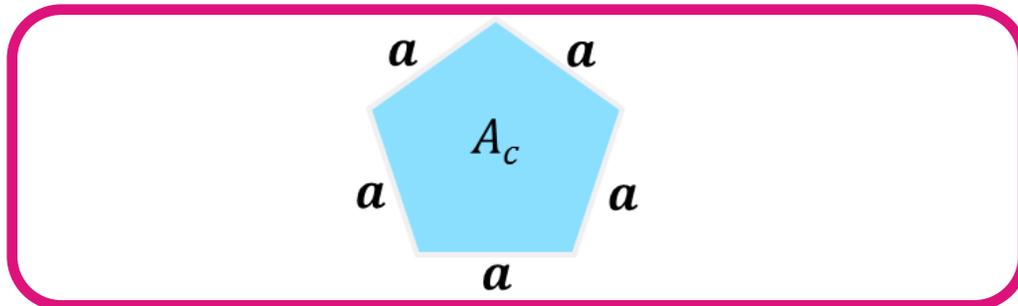
$$A = 12 \cdot \frac{\sqrt{25 + 10\sqrt{5}}}{4} \cdot a^2 \quad (2)$$

$$A = 3 \cdot \sqrt{25 + 10\sqrt{5}} \cdot a^2 \approx 20$$

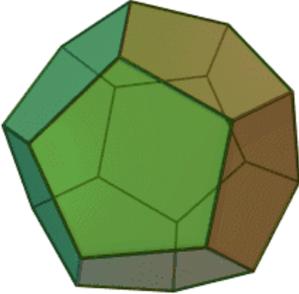
Sea  $a$ , la longitud del arista del pentágono.



**Figura 164.** Cara del dodecaedro.



**Figura 165.** Área del Pentágono.

| <b>Dodecaedro</b>  |  |
|--|--|
|   |  |
|  |  |
| Número de caras:   | <b>12</b>  |
| Polígono que forma las caras:  | <b>Pentágono Regular</b>   |
| Número de Aristas:   | <b>30</b>  |
| Número de Vértices:  | <b>20</b>  |
| Caras concurrentes en cada Vértice:  | <b>3</b>   |
| Vértices contenidos en cada cara:  | <b>5</b>   |
| Grupo de Simetría:   | <b>Icosaédrico (Lh)</b>  |
| Poliedro Conjugado:  | <b>Icosaedro</b>   |
| Símbolo de Schläfli:   | <b>{5,3}</b>   |
| Símbolo de Wythoff:  | <b>3   2 5</b>   |
| Ángulo Diedro:   | <b>116.56°</b>   |
| Radio Externo (3):   | $r_u = \sqrt{\frac{6}{4}} \sqrt{3 + \sqrt{5}} \cdot a$ $\approx 1.401258538 \cdot a$ |
| Radio Interno (4):   | $r_i = \frac{a}{4} \sqrt{\frac{50 + 22\sqrt{5}}{5}}$ $\approx 1.113516364 \cdot a$   |

**Tabla 14.** Características del Dodecaedro.

También se puede encontrar el área con esta relación formulada en Trigonometría

$$A = \frac{15l^2}{\tan 36^\circ} \quad (5)$$

Para calcular el volumen  $V$  del dodecaedro de arista  $A$ , se necesita la siguiente relación:

$$V = \frac{1}{4}(15 + 7\sqrt{5}) \cdot a^3 \approx 7.66 \cdot a^3 \quad (6)$$

Los ángulos entre cada par de caras de esta figura están dadas por:

$$\alpha = 180 - \arccos(\tan 18^\circ \times \tan 54^\circ) = 116.56^\circ \quad (7)$$

El dodecaedro regular tiene seis ejes de simetría de orden cinco, las rectas que unen los centros de caras opuestas; quince ejes de simetría de orden dos, las rectas que unen los centros de aristas opuestas; quince planos de simetría que contiene cada par de aristas opuestas coplanares; y un centro de simetría. Esto hace que este cuerpo tenga un orden de simetría total de 120:

$$2 \times (6 \times 5 + 15 \times 12) \quad (8)$$

El Espacio Dodecaédrico de Poincaré es un ejemplo específico de *esfera homológica*, al ser una *3-variedad esférica*, junto con un *grupo fundamental finito*, de orden 120, al cual también pertenece la *hiperesfera* o *3-esfera*<sup>84</sup>. Esto es:

$$H_0(M) = \mathbb{Z}$$

$$H_1(M) = \{0\}$$

...

$$H_{n-1}(M) = \{0\}$$

$$H_n(M) = \mathbb{Z}$$

Donde  $M$  es un conjunto conexo con un número de Betti alto:  $b_n$ . No se deduce que  $M$  sea simplemente conexo, sólo que su grupo fundamental es perfecto.

Aunque la definición no depende de la dimensión, las esferas homológicas se suelen considerar sobre todo en topología de *3-variedades*. La única *3-esfera de homología* que es *simplemente conexa* es la *3-esfera* usual  $S^3$ . Las restantes tienen un *grupo fundamentalmente infinito*, excepto la *esfera homológica de Poincaré*.

El ahora teorema, sostiene que la *esfera tridimensional*, también llamada *3-esfera* o *hiperesfera*, es la *única variedad compacta tridimensional* en la que todo *lazo* o *círculo cerrado* (*1-esfera*) se puede deformar (transformar) en un punto. Este último enunciado es equivalente a decir que *sólo hay una variedad cerrada y simplemente conexa de dimensión 3*: la *esfera tridimensional*.

---

<sup>84</sup> En geometría, **3-esfera** es la superficie de una esfera, mientras que en topología se refieren a ella como una 2-esfera y la indican como  $S^2$ . Llamativamente, geómetras y topólogos adoptan convenios incompatibles para el significado de "n-esfera".

En **geometría**, *3-esfera* es la *superficie de una esfera*, mientras que en **topología** se refieren a ella como una *2-esfera* y la indican como  $S^2$ . Llamativamente, geómetras y topólogos adoptan convenios incompatibles para el significado de "*n-esfera*".

En **topología** (rama de las matemáticas que estudia a los conjuntos como si fuesen de "plastilina", por eso a veces es llamada la ciencia de los "nudos", y formalmente, se dedica al estudio de aquellas propiedades de los cuerpos geométricos que permanecen inalteradas por transformaciones continuas), una *3-esfera* o hiperesfera es análoga a una esfera en un espacio de mayor número de dimensiones. Una *esfera* ordinaria, o *2-esfera*, consiste de todos los puntos equidistantes de un punto dado en el espacio euclídeo tridimensional ordinario,  $R^3$ .

Una *3-esfera* consiste de todos los puntos equidistantes de un punto dado en  $R^4$ . Mientras que una *2-esfera* es una superficie "suave" de dos dimensiones, una *3-esfera* es un ejemplo de una *3-variedad*. De forma enteramente análoga, es posible definir *esferas* de un número de dimensiones mayor, llamadas *hiperesferas* o *n-esferas*. Dichos objetos son *variedades n-dimensionales*.

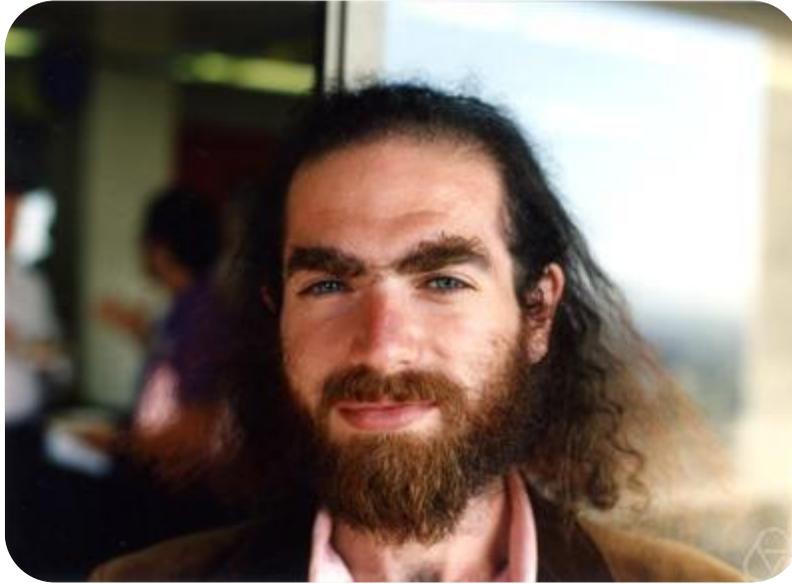
En algunas literaturas se refiere a la *3-esfera* como *glomus*, del latín *glomus*, balón. Informalmente, un glomo es a una esfera lo que ésta es a un círculo. Para una mejor comprensión de la esfera de Poncairé, se puede considerar lo siguiente. La superficie de un balón de fútbol, por ejemplo, es casi un ejemplo de variedad de dimensión 2, una *2-esfera*; lo podemos manipular como queramos, dándole diferentes formas, pero sin romperlo, y seguirá siendo una *2-esfera*.

El criterio para comprobar si una variedad es una 2-esfera es muy sencillo: imagínese una goma elástica tremendamente deformable apoyada sobre la superficie del balón; si la goma se puede comprimir (sin salirse de la superficie) hasta ocupar un solo punto, y esto en cualquier parte de la superficie, el balón es una 2-esfera y se dice que es *simplemente conexa*.

El problema de clasificar las variedades en el espacio usando como criterio de clasificación el concepto de *homeomorfismo* fue resuelto en el siglo XIX. Así, *la esfera es una variedad de dimensión 2* (cada trozo pequeño de la esfera es un pequeño trozo de plano ligeramente deformado), cerrada y simplemente conexa y se estableció que toda variedad de dimensión 2, cerrada y simplemente conexa es homeomorfa a la esfera. Dicho de otro modo: *sólo hay una variedad (homeomórfica) de dimensión  $n=2$ , cerrada y simplemente conexa, y se trata de la esfera (y sus homeomorfos)*.

Más técnicamente, en 1904, el matemático francés *Henri Poincaré* (1854-1912) conjeturó que el resultado obtenido para la esfera  $n=2$  del espacio de dimensión 3, tenía un análogo para la esfera  $n=3$  del espacio de dimensión 4. En otras palabras, *en el espacio de dimensión 4, toda variedad de dimensión  $n=3$ , cerrada y simplemente conexa, sería homeomorfa a la esfera de dimensión  $n=3$* . Pero Poincaré no consiguió probar su conjetura. Tampoco ninguno de sus contemporáneos ni sucesores.

Con el tiempo, la conjetura de Poincaré cobró interés hasta convertirse en el problema abierto más notable de la topología geométrica, con destacables implicaciones para la Física. Más aún, llegó a convertirse en uno de los problemas sin resolver más importantes de las matemáticas. Para dimensión dos ya fue demostrada en el **siglo XIX**. Para  $n=5$ , hubo de esperar hasta **1961**, cuando lo hizo **Erik Christopher Zeeman** (1925). Ese mismo año, **Stephen Smale** (1930) lo consiguió para  $n$  igual o mayor que 7 y, en **1962**, **John R. Stallings** (1935) para el caso  $n=6$ . Los casos  $n=3$  y  $n=4$  se resistían y hubo que esperar a 1986 cuando, en lo que se consideró una hazaña matemática del estadounidense **Michael Hartley Freedman** (1951), se consiguió demostrar el caso  $n=4$ . El problema es que, resuelto con éxito para todas las demás dimensiones, el caso original  $n=3$ , planteado por Poincaré, se resistía a cualquier demostración matemática. Poincaré estableció dicha conjetura, indicando que la esfera tridimensional era única y que ninguna de las otras variedades tridimensionales compartían sus propiedades. La esfera de homología de Poincaré (también llamada «espacio dodecaédrico de Poincaré») es un ejemplo particular de esfera homológica. Al ser una 3-variedad esférica, es la única 3-esfera homológica (además de la 3-esfera) con un grupo fundamental finito (de orden 120). Esto muestra que la hipótesis de Poincaré no puede ser enunciada en términos de homología únicamente. De hecho, la primera versión de la conjetura de Poincaré fue que la única 3-esfera homológica es la esfera estándar. Poincaré logró desmentir su conjetura al encontrar este contra-ejemplo (conocido hoy como la “esfera de Poincaré”).



**Figura 166.** Gregori Peralman (1966).

El enunciado no pudo ser resuelto durante un siglo y su demostración fue considerada uno de los siete problemas del milenio propuestos por el **Instituto Clay de Matemáticas** (**ICM**, en inglés: **Clay Mathematics Institute** o **CMI**, fundado en **1998** por **Landon T. Clay** (1927), quien la financia, y por el matemático **Arthur Jaffe** (1966) de la Universidad Harvard, organización sin fines de lucro de Cambridge, Massachusetts, dedicada a incrementar y diseminar el conocimiento matemático). La conjetura fue resuelta por **Gregori Peralman** (1966) en el **2003** y completada por los matemáticos chinos **Zhu Xiping** (1962) y **Cao Huaidong** (1959) el año **2006**.

En **2003**, una aparente periodicidad a grandes escalas del universo fue detectada en la **radiación de fondo de microondas por el satélite WMAP**. Estas observaciones llevaron al astrofísico **Jean-Pierre Luminet** (1951) del **Observatorio de París** a la propuesta de interpretar las **anomalías de la anisotropía del universo**, como resultado de que **el universo tendría la topología de una esfera de Poincaré**.

En **2008**, los astrónomos encontraron la mejor orientación del cielo para este modelo (luego de tres años de observaciones con la sonda WMAP) y se confirmaron algunas de sus predicciones. Sin embargo, aún no hay pruebas sólidas que apoyen esta hipótesis de la física contemporánea.

Hasta aquí concluyen los anexos, en el siguiente apartado se muestran las referencias consultadas para la elaboración de esta investigación.



## 8. Referencias.

---

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| A | B | C | D |
| E | F | G | H |
| I | J | K | L |
| M | N | O | P |
| Q | R | S | T |
| U | V | W | Z |

## 8. Referencias.

---

En este trabajo de investigación, se utilizó un formato propio para la escritura de las referencias, que consiste en:

a) Para libros (**L**).

Con un solo autor:

# Progresivo de Referencia. Apellido Paterno del Autor, Sólo la primera letra del Nombre del Autor (Año de publicación): Título de la obra. # Edición. Nombre de Editorial. ISBN. # Páginas.

Con coautores:

# Progresivo de Referencia. Apellido Paterno del Autor, Sólo la primera letra del Nombre del Autor et al. (Año de publicación): Título de la obra. # Edición. Nombre de Editorial. ISBN. # Páginas.

b) Para archivos (**A**).

# Progresivo de Referencia. Nombre clave (Año de publicación): Nombre de Archivo.Extensión. Tipo de archivo. Tamaño de archivo.

c) Para sitios web (**W**).

Sin o con autor(es):

# Progresivo de Referencia. Nombre clave del sitio. \*Apellido Paterno del Autor, Sólo la primera letra del Nombre del Autor\* et al\* (Año de consulta): Nombre del sitio web. Versión\* y/o fecha de elaboración\* y/o Tiempo de consulta sin año\*. URL del sitio web.

Con autor(es):

# Progresivo de Referencia. Apellido Paterno del Autor, Sólo la primera letra del Nombre del Autor \*et al\* Nombre clave del sitio. (Año de publicación): Nombre del sitio web. URL del sitio web.

A continuación se enlistan las referencias en orden alfabético.

## A

1. **Aeronáutica (2015): Dirección General de Aeronáutica Civil**.pdf. Archivo Tipo Adobe Acrobat Document. 324KB.
2. **Albornoz, J. (2013): Radio Enlaces Digitales**. Primera Parte. 1ª Edición. Editorial Académica Española (EAE). ISBN 978-365-9073-274. 300 páginas.
3. **AM (2014): Infraestructura de Radio AM, COFETEL**.pdf. Archivo Tipo Adobe Acrobat Document. 570KB.
4. **Andreu, A. (1994): Que es la Radioafisión**. 3ª Edición. Editorial Marcombo. ISBN 8426709532. 161 páginas.
5. **Arnau A. et al (1999): Sistemas Electrónicos de Comunicaciones I**. 1ª Edición. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 847721879X. 395 páginas.
6. **Arnau A. et al. (2000): Sistemas Electrónicos de Comunicaciones II**. 2ª Edición. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. 512 páginas.
7. **Aznar A. (2004): Antenas**. 2º Edición. Editorial Alfaomega. ISBN 9701510313. 468 páginas.
8. **Azteca (2014): Sitio de comunicaciones de Azteca**.pdf. Archivo Tipo *Adobe Acrobat Document*. 458KB.

## B

9. **Balanis A. (2005): Antenna Theory: Analysis and Desing.** 3ª Edición. Editorial Wiley. ISBN 978-047-166-782-7. 1117 Páginas.
10. **Baldor J. (2004): Geometría Plana y del Espacio y Trigonometría.** 1º Edición, Vigésima Reimpresión. Publicaciones Cultural. ISBN 9702407818. 623 Páginas.
11. **Bara J. (1999): Ondas Electromagnéticas en Comunicaciones.** 1ª Edición. Editorial Universidad Politecnica de Catalunya. ISBN 978-047-166-782-7. 285 Páginas.
12. **Bateman, Andy. (2003): Comunicaciones Digitales: Diseño para el Mundo Real.** 2ª Edición. Editorial Marcombo. ISBN 8426713378. 248 Páginas.
13. **Benlloch A. (2004): Valoración de Obras de Ingeniería Civil.** 1º Edición. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 8497055519. 224 Páginas.
14. **Beuche, F. (1988): Ciencias Físicas.** 1ª Edición. Editorial Reverté. ISBN 8429141448. 450 Páginas.
15. **Bischoff, K. (1992): Análisis y Simulación de Procesos.** 1ª Edición. Editorial Reverte. ISBN 8429172351. 776 Páginas.
16. **Bocardo R. (2006): Creatividad en la Ingeniería de Diseño.** 1ª Edición. Editorial Equinoccio. ISBN 9801202386. 91 Páginas.
17. **Boria, V. et al (2002): Laboratorio de Radiocomunicaciones.** 1ª Edición. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 847-721-919-2. 196 Páginas.
18. **Boria, V. et al (2002): Líneas de Transmisión Vol. II.** 2ª Edición. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 84-9705-183-1. 321 Páginas.
19. **Bramón, A. (2007): Física.** 5ª Edición. Editorial Reverté. ISBN 978-84-291-4412-3. 1222 Páginas.
20. **Broadcast (2014):** Broadcast Electronics. URL <http://www.bdcast.com>.
21. **Bunge, M. (2008): Tecnología y filosofía. En su: Epistemología.** 1ª Edición. Editorial Sudamericana. 229 páginas.

## C

22. **Cam, N. (2000): Analysis Methods for RF, Microwave.** 1ª Edición. Editorial John Wiley & Sons. ISBN 0-471-01750-7. 240 páginas.
23. **Carr, J. (2002): RF Components and Circuits.** 1ª Edición. Editorial Newnes. ISBN 0750648449. 391 Páginas.
24. **CFE(2014):Anexos 1-A 1-B y 1-C Integracion\_Especificacion\_Tecnica\_Casetas.**pdf. 256KB.
25. **CFT (2012): Autorización COFETEL.**pdf. 102KB.
26. **Cheng, D. (1998): Fundamentos de Electromagnetismo para Ingeniería.** 1ª Edición. Editorial Pearson Educación. ISBN 9684443277 492 páginas.
27. **COM-COFETEL (2011): Comunicado de prensa COFETEL No. 38/2010.**pdf. 135KB.
28. **Costa, J. et al (2007): Interacción Electromagnética.** 1ª Edición. Editorial Reverté. ISBN 84-291-3058-6. 483 Páginas.
29. **Couch, L. (2007): Digital and analog communication systems.** 7ª Edición Ilustrada. Editorial Pearson Education. ISBN 978-013-1424-920. 751 páginas.
30. **Couch, L. (1995): Modern Communication Systems.** 1ª Edición Ilustrada. Editorial Prentice Hall. ISBN 978- 002-325-286-0. 598 Páginas.
31. **Crawford, F. (1974): Ondas.** 1ª Edición. Editorial Reverté. ISBN 842-914-023-9. 668 Páginas.

## D

32. **Degarmo J. et al. (1988): Materiales y procesos de fabricación.** 2ª Edición ilustrada. Editorial Reverte. ISBN 8429148221 1300 Paginas.
33. **DEM (2013): Diario del Español de México.**  
URL <http://dem.colmex.mx/>.
34. **DGIRE (2013): Sistemas de radiocomunicación.**pdf. 453KB.
35. **DOF (2008): Diario Oficial de la Federación.** Autorización de cambio de frecuencias de AM a FM.pdf. 1.4 KB.

## E

36. **Eco, H. (1997): Como se hace una Tesis.** 6ª Edición. Editorial Gedisa. ISBN 8474328969. 249 Páginas.
37. **Edminister, J. (1994): Electromagnetismo.** 1ª Edición. Editorial Mc Graw-Hill. ISBN 9701005268. 202 Páginas.
38. **EGATEL (2012): Nuevos Desarrollos en Transmisores y Reemisores Digitales.**pdf. 1.5 KB.
39. **Elenos (2014): Elenos Word Broadcast Experience.** URL <http://www.elenos.com/>.
40. **Energy (2014): Energy Onix.** URL <http://www.energy-onix.com>.
41. **ENOE (2009): ENOE (Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo).**pdf. 2.5KB.
42. **Enríquez, H. (1994): Guía Práctica para el Cálculo de Instalaciones Eléctricas.** 1ª Edición. Editorial Limusa. ISBN 9681849191. 471 Paginas.
43. **Enríquez, H. (2004): Diseño de Sistemas Eléctricos.**1ª Edición. Editorial Limusa. ISBN 978-968-18650-16. 482 páginas.
44. **ERI (2014): Electronics Research, Inc.** URL <http://www.eriinc.com/Home.aspx>.

## F

45. **FCC (2014). Comisión Federal de Comunicaciones.**  
<http://www.fcc.gov/encyclopedia/iboc-digital-radio-broadcasting-am-and-fm-radio-broadcast-stations>.
46. **Freeman, R. (1997): Radio System Design for Telecommunications.** 2ª Edición. Editorial John Wiley & Sons. ISBN 0-471-16260-4. 887 Paginas.
47. **Freeman, R. (2004): Telecommunication System Engineering.** 4ª Edición. Editorial John Wiley & Sons. ISBN 0471451339. 991 Paginas.
48. **Formula (2014): Grupo Formula.** URL <http://www.radioformulanacional.com.mx>.

## G

49. **García, A. (2010). Calculo de Antenas.** 4ª Edición. Editorial Marcombo. ISBN 8426716660. 229 Páginas.
50. **García, F. et al (1996): Elementos de Electromagnetismo Clásico.** 1ª Edición. Editorial Graf. Ortega. ISBN 84-97840-98-1. 544 Páginas.
51. **GE (2013): Google Earth.** Aplicación para Microsoft® Windows®. V. 7.1.2.2041.
52. **Gilbertson, O. (2000): Electrical Cables for Power and Signal Trasmision.** 1ª Edición. Editorial John Wiley & Sons. ISBN 0-471-35996-3. 353 Páginas.
53. **Golio, M. (2000): The RF and Mircowave.** 1ª Edición. Editorial CRC, Press. ISBN 0-8493-8592-X. 103 Páginas.
54. **Gómez, R. (2010): History and Philosophy of Science and Technology.** 1ª Edición. Editorial Encyclopedia of Life Support Systems. 11 páginas.
55. **Gómez, J. (2006): Competencias y habilidades profesionales para universitarios.** 1ª Edición. Editorial Díaz de Santos. ISBN 8479787961. 528 Páginas.

## H

56. **Haberle, H. (1980): Electrónica de Telecomunicación.** 3ª Edición. Editorial Reverté. ISBN 84-291-3439-5. 309 Páginas.
57. **Haberle, H. (1979): Fundamentos de Electrónica.** 1ª Edición. Editorial Reverté. ISBN 84-291-3436-0. 425 Páginas.
58. **Hall, D. (1980) Musical Acoustic and Introduction.** 1ª Edición. Editorial Wadsworth. ISBN 978-053-400-7584. 488 Páginas.
59. **Hausman, C. et al. (2001): Producción en la Radio Moderna.** 5ª Edición. Editorial International Thomson Editores, S. A. de C. V. ISBN 970 -686-975-4. 411 Páginas.
60. **Hayt, W. (2006): Teoría electromagnética.** 7ª Edición. Editorial Mc Graw-Hill. ISBN 97-10-5620-5. 767 Páginas.
61. **Herbet, K. et al (1980): Solid State Radio Engineering.** 1ª Edición. Editorial John Wiley & Sons. ISBN 0-471-03018-X. 534 Páginas.
62. **Hernández, J. (1998): Antenas, Principios Básicos y Diseño:** 1ª Edición. Editorial Universidad de Baja California. ISBN 968-7326-90-5. 146 Páginas.
63. **Hernández, J. (1999): Teoría de Líneas de Transmisión e ingeniería de M.O.** 1ª Edición. Editorial Universidad de Baja California. ISBN 970-9051-09-1. 75 Páginas.
64. **Hernández, S. (2010): Metodología de la Investigación. I Parte.** 5ª Edición. Mc Graw-Hill. ISBN 0-201-02942-1. 656 páginas.
65. **Herrera, E. (2004): Introducción a las Telecomunicaciones Modernas.** 1ª Edición. Editorial Limusa. ISBN 968-18-5506-X. 405 Páginas.
66. **Hsu, P. (1987): Análisis de Fourier.** 1ª Edición. Editorial Prentice Hall. ISBN 0-201-02942-1. 288 Páginas.
67. **Huidobro, J. (2004): Manual de Telecomunicaciones.** 1ª Edición. Editorial Alfaomega. ISBN 970-15-0983-8. 340 Páginas.

## I

68. **Ibarra, S. (1995): Principios de la Teoría de las Comunicaciones.** 1ª Edición. Editorial Limusa. ISBN 968-18-5752-6. 321 Páginas.
69. **ICTP (2014): International Centre for Theoretical Physics.** URL <http://www.ictp.it/>.
70. **Ideas Propias (2014): Instalación de Equipos y Sistemas de Comunicación Radioeléctricos, Guía de Técnicas y Procedimientos.**pdf. 4.7 KB.
71. **IEEE (2014): Institute of Electrical and Electric Engineers.** URL <http://www.ieee.org/index.html>.
72. **INE (2014): Instituto Nacional Electoral.** URL <http://www.ine.mx/portal>
73. **INEGI (2014): Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.** URL <http://cuentame.inegi.org.mx/default.aspx>.
74. **INTI (2014): Instituto Nacional de Tecnología Industrial.** URL <http://www.inti.gob.ar/>.
75. **Irarrázaval, P. (1999): Análisis de señales.** 1ª Edición. Editorial McGraw Hill. ISBN 956-278-079-1. 235 Páginas.

## J

76. **Jampro, Inc. (2014): JMPC-6 CENTER FED 106.3 MHZ.** 3ª Edición. Editorial Jampro, Inc. 26 Páginas.
77. **Johnk, C. (1994): Teoría Electromagnética, Campos y Ondas.** 1ª Edición. Limusa. ISBN 968-1812-018. 741 Páginas.
78. **Jones, J. (1996): The engineering design process.** 2ª Edición. Editorial Wiley. ISBN 978-047-136-996. 614 Páginas.

## K

79. **Kathrein S. (2009): Antenas Omnidireccionales**.pdf. 2.4 KB
80. **Kazimierczuk, M. (2008): RF Power Amplifiers**. 1ª Edición. Editorial John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-77946-0. 403 Páginas.
81. **Kemmer, N. (1986): Análisis Vectorial**. Reimpresión. Editorial Reverté. ISBN 8429150897. 280 Paginas.
82. **Kitchen, R. (1998): RF Microwave Radiation Safety**. 2ª Edición. Editorial Newnes. ISBN 0750643552. 435 Páginas.
83. **Krajewsky, L. (2000): Administración de Operaciones, Estrategias y Análisis**. 5ª Edición. Editorial Pearson Educación. ISBN 9684444117. 614 Páginas.

## L

84. **Landau, D. (1973): Teoría Clásica de los Campos**. 2ª Edición. Editorial Reverté. ISBN 53.12-524.8-530.1. 525 Páginas.
85. **Larousse (2014): Larousse Editorial**. URL <http://www.larousse.com.mx>.
86. **Lathi, R. (1991): Introducción a la teoría y sistemas de comunicación**. 10ª Reimpresión. Editorial Limusa. ISBN 9681805550. 409 Páginas.
87. **Liman O. et al (1989): Fundamentos de radio**. 1ª Edición. Editorial Boixareu. ISBN 8426707319. 361 Paginas.
88. **Lindner, D. (2001): Introducción a las señales y los sistemas**. 1ª Edición. Editorial McGrall Hill. ISBN 980-373-049-5. 970. Páginas.
89. **Llinares, J. et al (1997). Electromagnetismo y Semiconductores**. 1ª Edición. Editorial Servicio de Publicaciones. ISBN 84-7721-521-9. 719 Páginas.

## M

90. **Marín, H. (2007): Las competencias relacionadas con las TIC y el espíritu emprendedor.** 1ª Edición. Editorial Ministerio de Educación. ISBN 8436945344. 304 Páginas.
91. **Martin, J. (2009): Infraestructuras Comunes en Telecomunicaciones.** 1ª Edición. Editorial Editex. ISBN 978-84-9771-653-6. 57 Páginas.
92. **Martin, J. (2009) Instalaciones de Telecomunicaciones.** 1ª Edición. Editorial Editex. ISBN 978-84-9771-527-0. 85 Páginas.
93. **Matrick, R. (1995): Transmission Lines for Digital and Communication.** 1a Edicion. Editorial IEEE. ISBN 0-7803-6043-5. 360 Páginas.
94. **Medina, W. (2012): Fundamentos y Principios de Líneas de Transmisión G.O.** 1ª Edición. Editorial Dreams Magnet. ISBN 8098-4049-266. 232 Páginas.
95. **Ménendez, J. (1999) Conceptos de Electromagnetismo.** 1ª Edición. Editorial Universidad de Oviedo. ISBN 84-8317-143-0. 201 Páginas.
96. **Molineaux J. (2000): Diseño de proyectos de ingeniería.** 1ª Edición. Editorial INTEC. ISBN 9993425133. 449 Páginas.
97. **Montaña, J. (2011): Teoría de Puestas a Tierra.** 1ª Edición. Editorial Universidad del Norte. ISBN 978-958-741-125-6. 97 Páginas.
98. **Montoto, L. (2000). Fundamentos Físicos de la informática y Comunicaciones.** Editorial Thomson. ISBN 8497324005. 455 Páginas.
99. **Moreno, G. et al (2007): Fundamentos e Ingeniería de las Puestas a Tierra.** 1ª Edición. Editorial Universidad de Antioquia. ISBN 9587140575. 189 Páginas.
100. **Moust, J. (2007): El Aprendizaje Basado en Problemas: Guía del Estudiante.** 1ª Edición. Editorial Universidad de Castilla La Mancha. ISBN 848427540X. 112 Páginas.
101. **Mujal R. (2002): Cálculo de Líneas y Redes Eléctricas.** 1ª Edición. Editorial Universitat Politècnica de Catalunya. ISBN 84-8301-606-0. 221 Páginas.

## N

102. **Nautel (2014): Nautel.** URL <http://www.nautel.com>.
103. **NMX-H-004-2008-SCFI (2014): NMX-H-004-2008- SCFI y sus modificaciones FM.**pdf. 32 KB.
104. **NOM-001-SEDE-1999 (2015): NOM-001-SEDE-1999 Instalaciones Electricas.**pdf. 34 KB.
105. **NOM-02-SCT1-1993 (1993): NOM-02-SCT1-1993 y sus modificaciones FM.**pdf. 10 KB.
106. **NRSC-5-B (2014): NRSC-5-B.**pdf. 54 KB.

## O

107. **Ocampo, O. (2006): Física General.** 1ª Edición. Editorial Learning Editores. ISBN 970-686-614-0. 280 Páginas.
108. **Oppenheim, A. et al (1997): Señales y Sistemas.** 2ª Edición. Editorial Pearson Educación. ISBN 970170116X. 941 Páginas.
109. **Ostrovsky, L. et al (1999): Modulated waves, Theory and Applications.** 1ª Edición. Editorial B&W Illus. ISBN 9780801873256. 392 Páginas.

## P

110. **Pascual, A. (2007). Instalaciones para exteriores.**pdf 23 KB.
111. **Payá M. (2004): Aislamiento térmico y acústico.** 1ª Edición. Editorial Ediciones CEAC. ISBN 8432930687. 160 Paginas.
112. **Pérez, C. et al (2007): Sistemas de Telecomunicación.** 1ª Edición. Editorial Universidad Cantabria. ISBN 8481024546. 389 Páginas.
113. **Pérez J. (1999): Gestión de calidad orientada a los procesos.** 1ª Edición. Editorial ESIC. ISBN 8473561988. 208 Paginas.
114. **Perrenoud, P. (1997): Construire des compétences des l'école.** 2ª Edición. Editorial EFS Éditeur. ISBN 7101 1250 7. 52 paginas.
115. **Pierce, J. (2002): Señales: Ciencias de la Telecomunicación.** 1º Edición. Reverté. ISBN 84-291-4387-4. 245 Páginas.
116. **Plazola, A. (1998): Enciclopedia de Arquitectura Plazola vol. 7.** Editorial Plazola Ed. ISBN 968-7478-00-4. 687 Páginas.
117. **Plonus, M. (1994): Electromagnetismo Aplicado.** 1ª Edición. Editorial Reverté. ISBN 84-291-3063-2. 644 Páginas.
118. **Pometti, D. (2013) Curso Teórico de Transmisores.** 1ª Edición. Editorial Intelect. 19 páginas.
119. **Portis, A. (1985): Campos Electromagnéticos.** 1ª Edición. Editorial Reverté. ISBN 84-291-4331-9. 939 Páginas.
120. **Pozar, D. (2005): Microwave Engineering.** 3ª Edición. Editorial Wiley India. ISBN 0-471-44878-8. 700 paginas.
121. **Protypsa (2012): Torres Arriostradas: Catalogo 2012.**
122. **Purcell, E. (1984): Electricity and Magnetism Vol. II.** 2a Edicion. Editorial McGraw-Hill. ISBN 0070049084. 484 Páginas.

## Q

123. **Quintanilla, M. (2008): Tecnología: Un enfoque Filosófico y otros Ensayos de Filosofía de la Tecnología.** 1ª Edición. Editorial Fondo de Cultura Económica. ISBN 9681675649. 295 Paginas.

## R

124. **RAE (2013): Real Academia de la Lengua Española.** URL <http://www.rae.es/>.
125. **Ray, T. (2012): HD Radio Implementation.** 1° Edición. Taylor & Francis. ISBN 1136031774. 224 Páginas.
126. **RDT (2015): Lineamientos para la transición a la Radio Digital Terrestre.**pdf 43 KB.
127. **Richardson (2014): Richardson Electronics.**  
URL <http://www.rell.com/index.html>
128. **Rodríguez, M. et al (1999): Campos Electromagnéticos.** 2ª Edición. Editorial Universidad de Sevilla. ISBN 84-472-0540-1. 6736 Páginas.
129. **Rougeron C. (1977): Aislamiento Acústico y Térmico en la Construcción.** 1ª Edición. Editorial Reverte. ISBN 8471460971. 301 Paginas.
130. **RTG (2013): O.P.D. Radio y Televisión de Guerrero.**  
URL <http://rtvgro.net/nt/>.
131. **Rudd D. (1982): Estrategia en Ingeniería de Procesos.** 1ª Edición. Editorial Alhambra. ISBN 842050307X. 546 Paginas.

## S

132. **Sadiku, M. (2003): Elementos de electromagnetismo.** 3ª Edición. Editorial Oxford University Press. ISBN 968-444-327-7. 767 páginas.
133. **Sánchez, J. (2003): Ingeniería de Proyectos Informáticos: Actividades y Procedimientos.** 1º Edición. Universitat Jaume I. ISBN 8480214082, 166 Páginas.
134. **Sanchis, A. (1999): Fundamentos Físicos para Ingenieros Vol. I.** 1ª Edición. Editorial Servicio de Publicaciones. ISBN 84-7721-757-2. 819 Páginas.
135. **Sanchis, A. (1999): Fundamentos Físicos para Ingenieros Vol. II.** 2ª Edición, Editorial Servicio de Publicaciones. ISBN 84-7721-757-2. 839 Páginas.
136. **Sanz, J. et al (2009): Técnicas y Procesos en las Instalaciones Eléctricas.** 6ª Edición. Editorial Paraninfo. ISBN 978-84-9732-663-6. 353 Páginas.
137. **Saposhkov, M. (1983): Electroacústica.** 1ª Edición, Editorial Reverté. ISBN 842-914-350-5, 273 Páginas.
138. **Serway, A. (2004) Fundamentos de Física Vol. II.** 6ª Edición. Editorial Cengage Learning Latin America. ISBN 970-686-381-8. 448 Páginas.
139. **Seybold, J. (2005): Introduction to RF Propagation.** 1ª Edición, Editorial John Wiley & Sons. ISBN 978-0-471-65596-1. 317 Páginas.
140. **Smith, A. (1998): Radio Frequency Principles And Applications.** 1º Edición. Paerson. ISBN 0-7803-3431-0. 219 Páginas.
141. **Soto, P. et al (2006): Problemas de Medios de Transmisión.** 1ª Edición. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 8497059549. 255 Páginas.
142. **Stremmer, G. (1993): Introducción a los Sistemas de Comunicación.** 3ª Edición. Editorial Addison-Wesley Iberoamericana. ISBN 0-201-51878-3. 761 Páginas.
143. **Syscom (2014): Syscom.** URL <http://www.syscom.mx>.

## T

144. **Tanenbaum A. (2003): Sistemas operativos modernos.** 2ª Edición. Editorial Pearson Educación. ISBN 9702603153. 951 Páginas.
145. **Tavera, F. (2000): La calidad en la enseñanza de la ingeniería ante el siglo XXI.** 1ª Edición. Editoria Limusa. ISBN 9681861329. 128 Páginas.
146. **Telecommunications Industry Association TIA/EIA-222-F (1996): Normas estructurales para torres y estructuras de acero para antenas.** 87 páginas.
147. **Tobón, S. et al (2006): Competencias, calidad y educación superior.** 1ª Edición. Editorial Cooperativa editorial magisterio. ISBN 9582008733. 210 Páginas.
148. **Tomasi, W. (2003): Sistemas de comunicación electrónicas.** 1ª Edición. Editorial Paerson. ISBN 097-26-0316-1. 976 Páginas.
149. **Torrance, T. (1984): Dynamical Theory of the Electromagnetic Field.** 1ª Edición. Editorial Wipf & Stock Publishers. ISBN 9781579100155. 116 Páginas.
150. **Torre (2012): Torres Arriostradas: Catalogo 2012.**pdf. 600kB.
151. **TX-FM (2014): 004 Curso Teórico Para Ingenieros de Mantenimiento Transmisores FM.**pdf. 54 KB.

## U

152. **UIT (2013): Unión Internacional de Telecomunicaciones.**  
URL <http://www.itu.int/es/Pages/default.aspx>.
153. **Ulaby, T. (2007): Fundamentos de Aplicaciones en Electromagnetismo.** 5ª Edición. Editorial Paerson. ISBN 470-2b-1055-9. 488 páginas.

## V

154. **Vaseghi, S. (2006): Advanced Digital Signal Processing.** 3ª Edición. Editorial Stanley. ISBN 978-0-470-09494-X. 453 Páginas.
155. **Vela, R. (1987): Líneas de Transmisión.** 1ª Edición. Editorial Mc Graw-Hill. ISBN 970-10-2546-6. 479 Páginas.
156. **Vergne (2013): La mirada filosófica sobre la tecnología.**pdf. 1.4 KB

## W

157. **Warren, L. et al (1998): Antenna Theory and Design.** 2ª Edición. Editorial John Wiley & Sons. ISBN 0470576642. 648 Páginas.
158. **Webster (2013): An Enciclopedia Britannica Company.**  
URL <http://www.merriam-webster.com/>.
159. **Wilkerson, W. (2014): Broadcasting Audio 158 Success Secrets.** 6º Edición. Editorial Emereo Publishing. ISBN 1488813868, 9781488813863. 142 Páginas.
160. **William, F. (2003): Practical RF System Design.** 1ª Edición. Editorial John Wiley & Sons. ISBN 0-471-20023-9. 810 Páginas.
161. **Wilson, D. et al (2003). Física.** 1ª Edición. Editorial Pearson Educacion. ISBN 970-260-425-7. 842 Páginas.

## Z

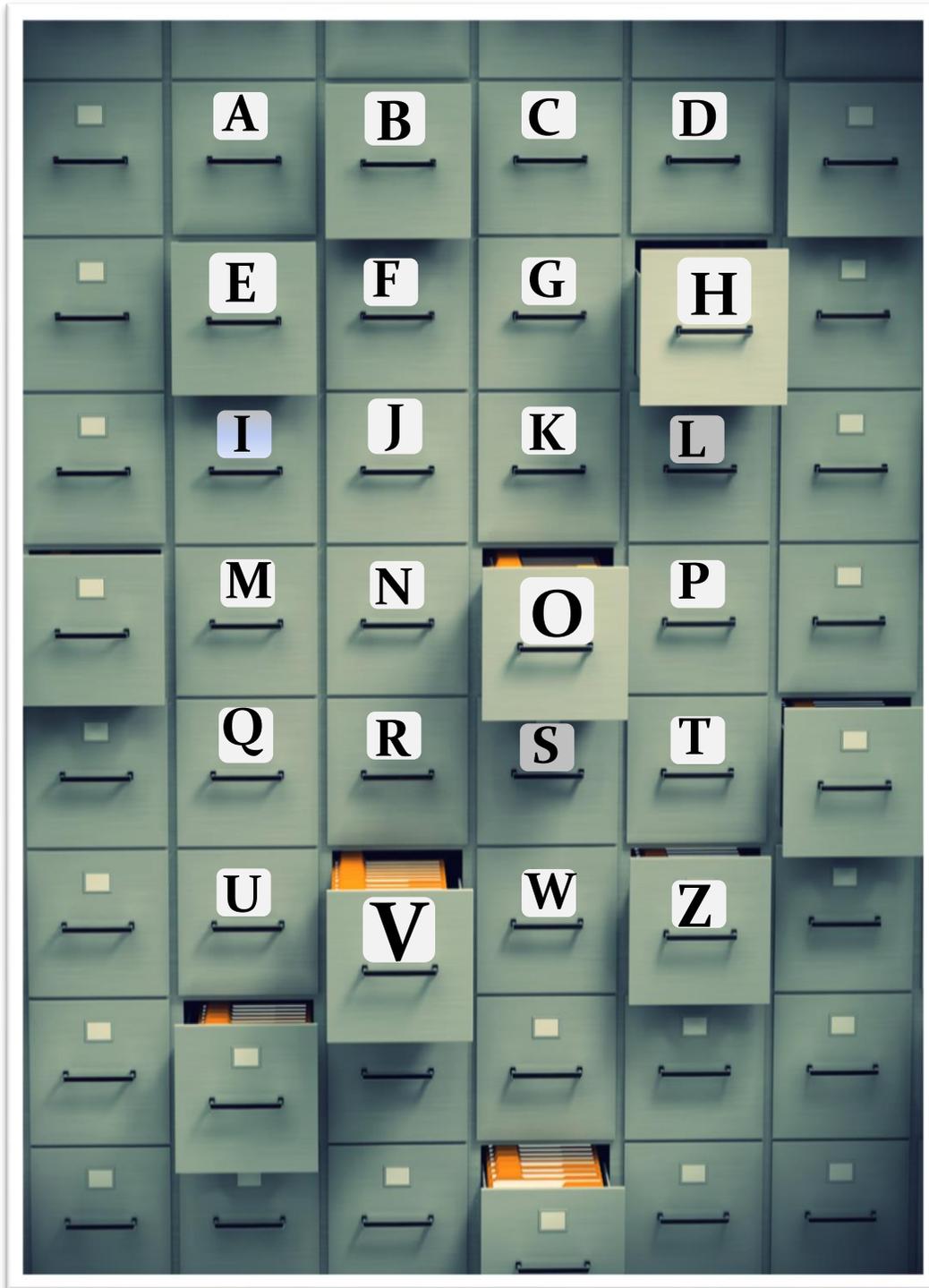
162. **Zhoawei (2012):** URL <http://www.chinatowers.es/>.
163. **Zill, D. (1987): Cálculo con geometría Analítica.** 1ª Edición. Editorial Grupo Editorial Iberoamérica. ISBN 96872703-517. 1013 Páginas.



# **9. Fichas Bibliográficas.**

## 9. Fichas Bibliográficas.

---



En este trabajo, se utilizó un formato propio para la escritura de las fichas bibliográficas, que consiste en:

a) Para *libros* (**L**).

**NOMBRE CLAVE**



**Autor(es):** Apellido paterno, Nombre.  
**Título:** **Nombre del libro.**  
**Edición:** Numero de edición.  
**Editorial:** Nombre de la editora  
**Lugar y Año:** Lugar y año de publicación.  
**I.S.B.N :** Código ISBN.  
**Contenido:** # de Páginas.  
**Descripción:** Descripción general del libro.  
**Usos:** Consultas realizadas para la investigación.

b) Para *archivos* (**A**).

**NOMBRE CLAVE**



**Tipo:** Formato de documento.  
**Título:** **Nombre del archivo completo.**  
**Consultado:** Fecha de consulta (día/mes/año).  
**Descripción:** Descripción breve del archivo del contenido.  
**Usos:** Consultas realizadas para la investigación.

c) Para *sitios web* (**W**).

**NOMBRE CLAVE**



**Tipo:** Página Web.  
**Título:** **Nombre del sitio.**  
**URL:** Link del sitio  
**Consultado:** Fecha de visita del sitio día/mes/año.  
**Descripción:** Breve descripción correspondiente al sitio web.  
**Usos:** Consultas realizadas para la investigación.



## AERONÁUTICA



**Tipo:** Archivo PDF.  
**Título:** Dirección General de Aeronáutica Civil.  
**Consultado:** 27/02/2015.  
**Descripción:** Muestra los procedimientos para el otorgamiento de autorización de emplazamiento de elementos radiadores en el territorio nacional.

**Usos:** 1, 2.

## ALBORNOZ



**Autor(es):** Albornoz, José Manuel.  
**Título:** Radio Enlaces Digitales.  
**Edición:** Editorial Académica Española (EAE), 1ª Edición.  
**Editorial:** España, 2013.  
**Lugar y Año:** 978-365-9073-274.

**I.S.B.N :**  
**Contenido:** 300 paginas.  
**Descripción:** Esta obra tiene como objeto la necesidad de un texto actualizado que presente los principios físicos y tecnologías de los radioenlaces y otros aspectos técnicos.

**Usos:** 1.

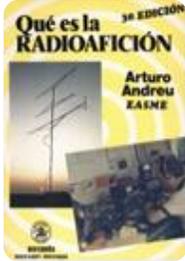
## AM

| Administración           | Frecuencia   | Modulación    |
|--------------------------|--------------|---------------|
| Estación Clase de Radios | 800-1000     | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 1000-1500    | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 1500-2000    | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 2000-3000    | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 3000-4000    | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 4000-5000    | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 5000-6000    | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 6000-7000    | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 7000-8000    | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 8000-9000    | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 9000-10000   | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 10000-11000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 11000-12000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 12000-13000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 13000-14000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 14000-15000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 15000-16000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 16000-17000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 17000-18000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 18000-19000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 19000-20000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 20000-21000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 21000-22000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 22000-23000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 23000-24000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 24000-25000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 25000-26000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 26000-27000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 27000-28000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 28000-29000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 29000-30000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 30000-31000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 31000-32000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 32000-33000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 33000-34000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 34000-35000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 35000-36000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 36000-37000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 37000-38000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 38000-39000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 39000-40000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 40000-41000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 41000-42000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 42000-43000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 43000-44000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 44000-45000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 45000-46000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 46000-47000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 47000-48000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 48000-49000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 49000-50000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 50000-51000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 51000-52000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 52000-53000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 53000-54000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 54000-55000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 55000-56000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 56000-57000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 57000-58000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 58000-59000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 59000-60000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 60000-61000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 61000-62000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 62000-63000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 63000-64000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 64000-65000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 65000-66000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 66000-67000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 67000-68000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 68000-69000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 69000-70000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 70000-71000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 71000-72000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 72000-73000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 73000-74000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 74000-75000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 75000-76000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 76000-77000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 77000-78000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 78000-79000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 79000-80000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 80000-81000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 81000-82000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 82000-83000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 83000-84000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 84000-85000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 85000-86000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 86000-87000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 87000-88000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 88000-89000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 89000-90000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 90000-91000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 91000-92000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 92000-93000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 93000-94000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 94000-95000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 95000-96000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 96000-97000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 97000-98000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 98000-99000  | Modulación AM |
| Estación Clase de Radios | 99000-100000 | Modulación AM |

**Tipo:** Archivo PDF.  
**Título:** Infraestructura de Radio AM, COFETEL.  
**Consultado:** 06/03/2014.  
**Descripción:** Muestra tablas de las estaciones de radio AM de toda la república mexicana y otros datos.

**Usos:** 1.

## ANDREU



- Autor(es):** Andreu, Arturo.  
**Título:** **Que es la Radioafición.**  
**Edición:** 3º Edición.  
**Editorial:** Marcombo.  
**Lugar y Año:** España, 1994.  
**I.S.B.N :** 84-267-0953-2.  
**Contenido:** 161 paginas.  
**Descripción:** Este libro trata de los principios básicos de la radio, además de cómo poder tener una mini estación de radiodifusión para cualquier uso.  
**Usos:** 1.

## ARNAU



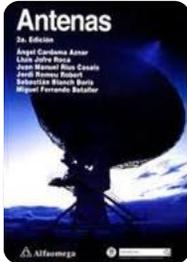
- Autor(es):** Arnau Antonio, Ferrero José y Sogord Tomas.  
**Título:** **Sistemas Electrónicos de Comunicaciones I.**  
**Edición:** 1º edición.  
**Editorial:** Editorial de la UPV.  
**Lugar y Año:** España, 1999.  
**I.S.B.N :** 84-7721-879-X.  
**Contenido:** 395 paginas.  
**Descripción:** Se hace una breve revisión histórica de la evolución de los sistemas de comunicación.  
**Usos:** 1.

## ARNAU



- Autor(es):** Arnau Antonio, Ferrero José y Sogord Tomas.  
**Título:** **Sistemas Electrónicos de Comunicaciones II.**  
**Edición:** 2º edición.  
**Editorial:** Editorial de la UPV.  
**Lugar y Año:** España, 2000.  
**I.S.B.N :** 84-7721-909-5.  
**Contenido:** 511 paginas.  
**Descripción:** En muchos sistemas electrónicos de comunicación es necesario disponer de circuitos, que proporcionen a la salida tensiones senoidales de una determinada frecuencia.  
**Usos:** 1.

## AZNAR

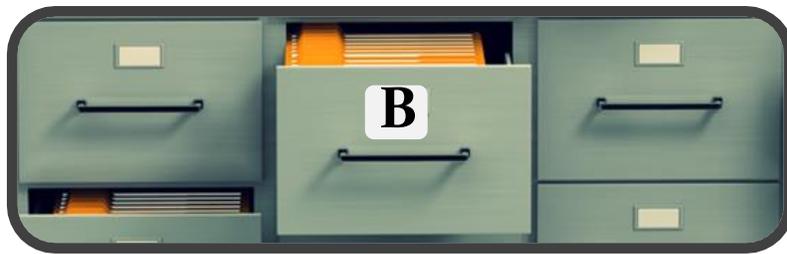


- Autor(es):** Aznar, Ángel Cardama
- Título:** Antenas.
- Edición:** 2° Edición.
- Editorial:** Alfaomega.
- Lugar y Año:** México, D.F., 2007.
- I.S.B.N.:** 9701510313, 9789701510313.
- Contenido:** 468 páginas.
- Descripción:** En este libro se presentan los métodos fundamentales de análisis de antenas con un nivel de detalle que permite comprender sus principios de funcionamiento y conocer los parámetros de diseño que son de interés práctico. Los fundamentos aquí investigados fueron expuestos en el Marco Teórico de esta tesis.
- Usos:** 1, 2, 3, 4.

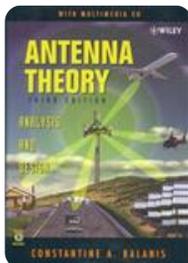
## AZTECA



- Tipo:** Documento PDF.
- Título:** Sitio de comunicaciones Azteca.
- Consultado:** 6/02/2014.
- Descripción:** Especificaciones del Sitio de Telecomunicaciones de las instalaciones de Tv Azteca. Dichas especificaciones fueron extraídas para complementar el capítulo 3: Proceso de Instalación de una señal de FM.
- Usos:** 1, 2, 3.



## BALANIS

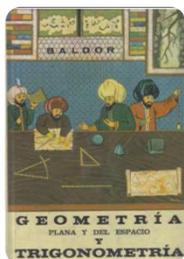


**Autor(es):** Balanis, Constantine A.  
**Título:** **Antenna Theory: Analysis and Design.**  
**Edición:** 3° Edición.  
**Editorial:** Wiley.  
**Lugar y Año:** 2005.  
**I.S.B.N :** 978-047-166-782-7.  
**Contenido:** 1117 paginas.

**Descripción:** Balanis actualiza su texto clásico, debido a los grandes cambios que se han presentado en el diseño y análisis de antenas.

**Usos:** 1.

## BALDOR



**Autor(es):** Baldor J. A.  
**Título:** **Geometría Plana y del Espacio y Trigonometría.**  
**Edición:** 1° Edición, vigésima reimpresión.  
**Editorial:** Publicaciones Cultural.  
**Lugar y Año:** México, 2004.  
**I.S.B.N :** 9702407818.  
**Contenido:** 623 páginas.

**Descripción:** El autor presenta un nuevo texto de geometría plana y del espacio. Contiene repasos algebraicos, tablas trigonométricas y ejercicios adicionales.

**Usos:** 1.

## BARA



**Autor(es):** Bara, Javier Temes.  
**Título:** **Ondas Electromagnéticas en Comunicaciones.**

**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Ediciones UPC.  
**Lugar y Año:** Barcelona 1999.  
**I.S.B.N :** 84-8301-349-5.

**Contenido:** 285 paginas.  
**Descripción:** Este texto se ocupa de la descripción de las ondas electromagnéticas en el espacio.

**Usos:** 1.

## BATEMAN



**Autor(es):** Bateman, Andy.  
**Título:** **Comunicaciones Digitales: Diseño Para el Mundo Real.**

**Edición:** 2° edición.  
**Editorial:** Marcombo.  
**Lugar y Año:** Barcelona, 2003.  
**I.S.B.N :** 978-842-671-337-7.  
**Contenido:** 248 paginas.  
**Descripción:** Una revisión actualizada de los principios y las actualizaciones de los principios y las aplicaciones de la transmisión de datos.

**Usos:** 1.

## BENLLOCH



**Autor(es):** Amalia Sanz Benlloch.

**Título:** **Valoración de Obras de Ingeniería Civil.**

**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.  
**Lugar y Año:** Valencia, 2004.  
**I.S.B.N :** 8497055519, 9788497055512.  
**Contenido:** 224 paginas.  
**Descripción:** Desarrolla de manera teórica y práctica los conceptos básicos de la ingeniería civil.

**Usos:** 1.

## BEUCHE

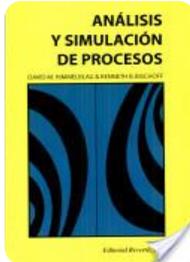


**Autor(es):** Beuche, F.  
**Título:** **Ciencias Físicas.**

**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Reverté.  
**Lugar y Año:** 1988.  
**I.S.B.N :** 842-914-144-8.  
**Contenido:** 450 paginas.  
**Descripción:** Libro de nivel superior que aborda temas de Ciencias Físicas.

**Usos:** 1.

## BISCHOFF



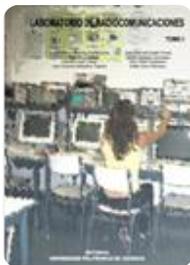
- Autor(es):** Kenneth B. Bischoff.  
**Título:** **Análisis y Simulación de Procesos.**  
**Edición:** 1 Edición.  
**Editorial:** Reverte.  
**Lugar y Año:** 1992.  
**I.S.B.N :** 8429172351, 9788429172355.  
**Contenido:** 776 paginas.  
**Descripción:** Resalta los fundamentos de la construcción de modelos para familiarizar al ingeniero con los principios y pericias necesarios para la aplicación de los modelos matemáticos.  
**Usos:** 1, 2.

## BOCARDO



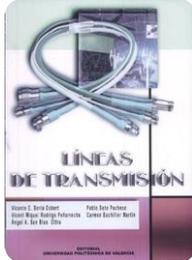
- Autor(es):** Renzo Bocardo.  
**Título:** **Creatividad en la Ingeniería de Diseño.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Equinoccio.  
**Lugar y Año:** Venezuela, 2006.  
**I.S.B.N :** 9801202386, 9789801202387.  
**Contenido:** 91 paginas.  
**Descripción:** Este trabajo presenta las diferencias de los conceptos relacionados con la psicología cognitiva.  
**Usos:** 1, 2.

## BORIA



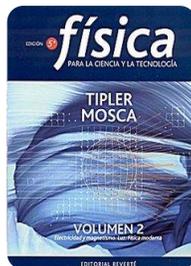
- Autor(es):** Boria, Vicente, Bachiller Carmen.  
**Título:** **Laboratorio de Radiocomunicaciones.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Ilustrada.  
**Lugar y Año:** España, 2002.  
**I.S.B.N :** 847-721-919-2.  
**Contenido:** 196 paginas.  
**Descripción:** En este libro se documentan prácticas realizadas para el estudio de las radiocomunicaciones, con problemas cotidianos en el área laboral.  
**Usos:** 1.

## BORIA



- Autor(es):** Boria, Vicente; San Blas, Ángel; Pablo, Soto.
- Título:** **Líneas de Transmisión Vol. II.**
- Edición:** 1° Edición.
- Editorial:** Universidad Politécnica de Valencia.
- Lugar y Año:** España, 2002.
- I.S.B.N :** 84-9705-183-1.
- Contenido:** 321 páginas.
- Descripción:** El contenido de este libro trata específicamente de las líneas de transmisión, elementos básicos de los sistemas de telecomunicaciones.
- Usos:** 1.

## BRAMÓN



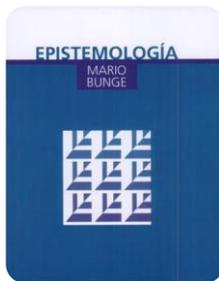
- Autor(es):** Bramón, Planas Albert
- Título:** **Física.**
- Edición:** 5° edición.
- Editorial:** Reverté.
- Lugar y Año:** Barcelona, 2007.
- I.S.B.N.:** 978-84-291-4412-3.
- Contenido:** 1222 páginas.
- Descripción:** Esta obra contiene ejercicios sobre la electricidad, el magnetismo, luz y física moderna. Los fundamentos aquí investigados fueron usados en el Marco Teórico.
- Usos:** 1, 2.

## BROADCAST

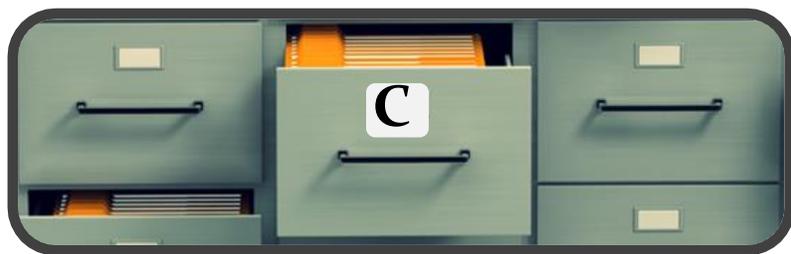


- Tipo:** Página Web.
- Título:** **Broadcast Electronics.**
- URL:** <http://www.bdcast.com/>
- Consultado:** 16/09/2014.
- Descripción:** Distribuidor de equipos como transmisores de AM y FM, procesadores, excitadores, y demás equipos relacionados a la radio.
- Usos:** 1.

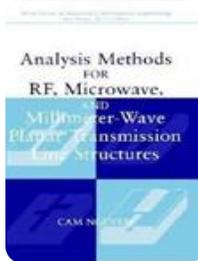
## BUNGE



- Autor(es):** Bunge, Mario.  
**Título:** **Tecnología y filosofía. En su: Epistemología.**  
**Edición:** 4° Edición.  
**Editorial:** Siglo Veintiuno Editoriales.  
**Lugar y Año:** México, 2008.  
**ISBN:** 968-23-2080-1.  
**Contenido:** 229 páginas.  
**Descripción:** Describe el desarrollo filosófico del hombre conforme a la tecnología. Dicho desarrollo sirvió en esta investigación para fundamentar esta tesis de manera filosófica en el Capítulo 2.  
**Usos:** 1.

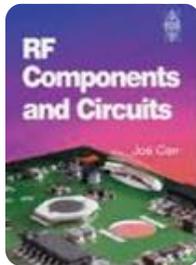


## CAM



- Autor(es):** Cam, Nguyen.  
**Título:** **Analysis Methods for RF, Microwave.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** John Wiley & Sons.  
**Lugar y Año:** Canadá, 2000.  
**I.S.B.N :** 0-471-01750-7.  
**Contenido:** 240 paginas.  
**Descripción:** Este libro trata acerca de los métodos empleados para el análisis de la RF y Microondas.  
**Usos:** 1.

## CARR



- Autor(es):** Carr, Joseph J.  
**Título:** **RF Components and Circuits.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Newnes.  
**Lugar y Año:** British, 2002.  
**I.S.B.N :** 0-7506-4844-9.  
**Contenido:** 391 paginas.  
**Descripción:** Este libro contiene la información de las frecuencias en RF, sistemas de RF, y los componentes de circuitos electrónicos.  
**Usos:** 1.

## CFE



- Tipo:** Documento PDF.  
**Título:** **Anexos 1-A 1-B y 1-C Integracion\_Especificacion\_Tecnica\_Casetas.**  
**Consultado:** 01/03/2014.  
**Descripción:** Especificaciones del Sitio de Telecomunicaciones adecuado para la instalación y vida útil de equipos de comunicación. Estos criterios son usados en esta investigación en el Capítulo 3 para desarrollar una caseta de comunicación efectiva para radiodifusión.  
**Usos:** 1, 2.

## CFT



**Tipo:** Documento PDF.  
**Título:** **Autorización COFETEL.**  
**Consultado:** 01/08/2012.  
**Descripción:** Autorización de la COFETEL para el cambio de frecuencia en la banda de FM. Documento expuesto en el Capítulo 1 para justificar el cambio de frecuencia en el caso de estudio.  
**Usos:** 1, 2, 3, 4.

## CHENG



**Autor(es):** Cheng, David K.  
**Título:** **Fundamentos de Electromagnetismo para Ingeniería.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Paerson.  
**Lugar y Año:** México, 1996.  
**I.S.B.N.:** 968-444-327-7.  
**Contenido:** 492 páginas.  
**Descripción:** Esta obra ha sido diseñada como libro de texto para un curso de electromagnetismo para ingeniería a nivel licenciatura, el cual es usado para fundamentar esta investigación en el Capítulo 2.  
**Usos:** 1, 2, 3.

## COM-COFETEL



**Tipo:** Archivo PDF.  
**Título:** **Comunicado de prensa COFETEL No. 38/2010.**  
**Consultado:** 27/10/2011.  
**Descripción:** Comunicado de prensa por parte de COFETEL indicando la autorización de cambio de frecuencia de AM a FM. Dicho comunicado justifica este trabajo de investigación de manera legal.  
**Usos:** 1, 2, 3.

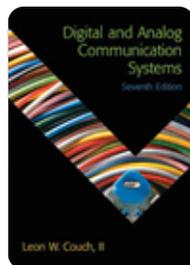
## COSTA



**Autor(es):** Costa, Juan y López, Fernando.  
**Título:** **Interacción Electromagnética.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Reverté.  
**Lugar y Año:** Barcelona, 2007.  
**I.S.B.N :** 84-291-3058-6.  
**Contenido:** 483 paginas.  
**Descripción:** Este libro se aborda al estudio de los fenómenos de la Física en general y el Electromagnetismo.

**Usos:** 1.

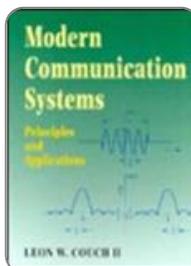
## COUCH



**Autor(es):** Couch, Leon W.  
**Título:** **Digital and analog communication systems.**  
**Edición:** 7° Edición.  
**Editorial:** Ilustrada.  
**Lugar y Año:** 2007.  
**I.S.B.N :** 978-013-1424-920.  
**Contenido:** 751 paginas.  
**Descripción:** Proporciona una amplia introducción a los principios básicos, analógicos y digitales y su aplicación en el diseño de los sistemas de comunicación.

**Usos:** 1.

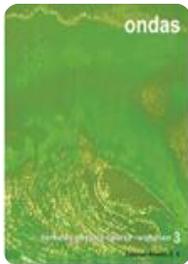
## COUCH



**Autor(es):** Couch, Leon W.  
**Título:** **Modern Communication Systems.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Ilustrada.  
**Lugar y Año:** 1995.  
**I.S.B.N :** 978- 002-325-286-0.  
**Contenido:** 598 paginas.  
**Descripción:** Cubre los principios básicos de los sistemas de comunicaciones modernas.

**Usos:** 1.

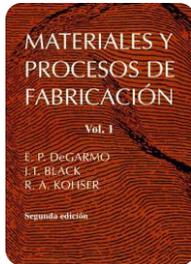
## CRAWFORD



- Autor(es):** Crawford, Frank S.  
**Título:** **Ondas.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Reverte.  
**Lugar y Año:** 1974.  
**I.S.B.N :** 842-914-023-9.  
**Contenido:** 668 paginas.  
**Descripción:** Su principal objetivo es el de desarrollar, de forma comprensible, los conceptos ondulatorios básicos y sus intimas relaciones.  
**Usos:** 1.



## DEGARMO



- Autor(es):** E. Paul DeGarmo, J. Temple Black, Ronald A. Kohser.
- Título:** **Materiales y Procesos de Fabricación.**
- Edición:** 2° Edición.
- Editorial:** Illustrated.
- Lugar y Año:** Reverte, 1988.
- I.S.B.N :** 8429148221, 9788429148220.
- Contenido:** 1300 paginas.
- Descripción:** El objeto de esta obra es servir como libro de texto universitario que haga conocer a los estudiantes de Ingeniería los materiales y procesos de fabricación necesarios para transformar las ideas en productos, máquinas y estructuras para ser usadas por el hombre.
- Usos:** 2.

## DEM



- Tipo:** Página Web.
- Título:** **Diario del Español de México.**
- URL:** <http://dem.colmex.mx/>
- Consultado:** 26/02/2013.
- Descripción:** Diccionario oficial del Español de México, que es fuente de consulta para definiciones y conceptos técnicos en los diferentes capítulos de esta tesis.
- Usos:** 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

## DGIRE



- Tipo:** Archivo PDF.
- Título:** **Sistemas de radiocomunicación.**
- Consultado:** 28/03/2013.
- Descripción:** Describe el programa de temas a desarrollar en la materia durante el noveno semestre. Es mencionado en la introducción del capítulo 1.

## DOF



**Tipo:** Archivo PDF.

**Título:** Comunicado DOF.

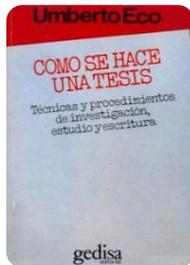
**Consultado:** 18/06/2012

**Descripción:** Comunicado de prensa por parte de COFETEL, indicando la autorización de cambio de frecuencias de AM a FM, publicado por el Diario Oficial de la Federación (DOF). Este publicado es mencionado en el Marco Legal en el Capítulo 2.

**Usos:** 1, 2, 3.

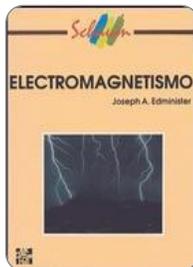


## Eco



- Autor(es):** Humberto, Eco.  
**Título:** **Como se hace una Tesis.**  
**Edición:** 6° edición, 1° imp.  
**Editorial:** Gedisa.  
**Lugar y Año:** España, 1997.  
**I.S.B.N.:** 8474328969..  
**Contenido:** 249 páginas.  
**Descripción:** Se trata de un texto que sobrepasa la categoría de una simple instrucción técnica. Umberto Eco sabe motivar, logra transformar las angustias en tensión positiva, de manera que cualquier estudiante comenzará a sentirá inmediatamente confianza en sus posibilidades, con ganas de buscar, seguir pistas y descubrir algo que tal vez nadie había visto antes. El contenido de esta publicación ayuda a definir lo que es un Marco Teórico en el Capítulo 2.  
**Usos:** 1, 2, 3.

## EDMINISTER



- Autor(es):** Edminister, Joseph A.  
**Título:** **Electromagnetismo.**  
**Edición:** 3° Edición.  
**Editorial:** Mc Graw-Hill.  
**Lugar y Año:** México, 1994.  
**I.S.B.N.:** 9701005268.  
**Contenido:** 202 páginas.  
**Descripción:** Este libro presenta la teoría electromagnética, el análisis vectorial y las leyes relacionadas con los campos eléctricos y magnéticos usados en el Capítulo 2 como fundamentos teóricos de esta investigación.  
**Usos:** 1, 2, 3, 4.

## EGATEL



**Tipo:** Archivo PDF.  
**Título:** **Nuevos Desarrollos Transmisores y Reemisores Digitales.**  
**Consultado:** 15/03/2014.  
**Descripción:** Listado de nuevas tecnologías en equipos de transmisión digital.  
**Usos:** 1.

## ELENOS



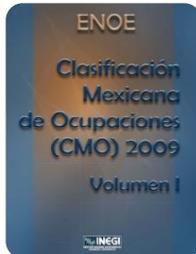
**Tipo:** Página Web.  
**Título:** **Elenos Word Broadcast Experience.**  
**URL:** <http://www.elenos.com/>  
**Consultado:** 16/09/2014.  
**Descripción:** Distribuidor de transmisores FM y AM .  
**Usos:** 1.

## ENERGY



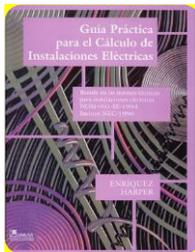
**Tipo:** Página Web  
**Título:** Energy Onix.  
**URL:** <http://www.energy-onix.com/>  
**Consultado:** 17/08/2014.  
**Descripción:** En esta página de internet se muestra un catalogo de transmisores AM y FM de la marca Energy Onix.  
**Usos:** 1.

## ENOE



- Tipo:** PDF.  
**Título:** **Clasificación Mexicana de Ocupaciones (CMO). Volumen I (hasta el segundo trimestre del 2012).**  
**Editorial:** INEGI.  
**Lugar y Año:** México, 2009.  
**Contenido:** 203 páginas.  
**Disponible en:** [http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/metodologias/enoe/clasificadores/cmo\\_vol1.pdf](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/metodologias/enoe/clasificadores/cmo_vol1.pdf).  
**Descripción:** Archivo digital acerca de la Clasificación Mexicana de Ocupaciones, volumen I. Es un producto básico para realizar el proceso de codificación de la pregunta de Ocupación de las Encuestas Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE). Este documento fue consultado para desarrollar las competencias en el Capítulo 1.  
**Usos:** 1.

## ENRÍQUEZ



- Autor:** Enríquez, Harper G.  
**Título:** **Guía práctica para el cálculo de instalaciones eléctricas.**  
**Edición:** Limusa.  
**Lugar y Año:** 1994.  
**I.S.B.N :** 9681849191, 9789681849191.  
**Contenido:** 471 paginas.  
**Descripción:** Describe los diferentes tipos de sistemas eléctricos y sus diferentes procedimientos de instalación.  
**Usos:** 1, 2.

## ENRÍQUEZ



- Autor:** Enríquez, Harper G.  
**Título:** **Diseño de Sistemas Eléctricos**  
**Edición:** Limusa.  
**Lugar y Año:** 2004.  
**I.S.B.N :** 978-968-18650-16.  
**Contenido:** 482 paginas.  
**Descripción:** Describe los diferentes tipos de sistemas eléctricos y sus diferentes procedimientos de instalación.  
**Usos:** 1, 2.

## ERI



**Tipo:** Página Web.

**Título:** **Electronics Research, Inc.**

**URL:** <http://www.eriinc.com/Home.aspx>

**Consultado:** 16/09/2014.

**Descripción:** ERI employs experienced electrical and structural engineers, including licensed registered professional engineers. They work side by side to develop integrated antenna and tower structures that optimize performance and reliability.

**Usos:** 1.



## FCC



**Tipo:** Página Web.  
**Título:** **Federal Communication Commission.**  
**URL:** <http://www.fcc.gov/encyclopedia/iboc-digital-radio-broadcasting-am-and-fm-radio-broadcast-stations>.

**Consultado:** 06/01/2014.  
**Descripción:** Comisión Federal de Comunicaciones, órgano regulador en los EUA.

**Usos:** 1, 2.

## FREEMAN



**Autor(es):** Roger L. Freeman.  
**Título:** **Radio System Design for Telecommunications.**  
**Edición:** 2° edición.  
**Editorial:** 1997.  
**Lugar y Año:** 0-471-16260-4.  
**I.S.B.N :**  
**Contenido:** 887 paginas.  
**Descripción:** Este libro provee la información esencial, para diseñar técnicas para sistemas de radio, que puedan operar frecuencias de 3MHz a 100 GHz y cuáles de ellas debemos emplear en los sistemas de telecomunicaciones.

## FREEMAN



- Autor:** Roger L. Freeman  
**Título:** **Telecommunication System Engineering.**  
**Edición:** 4° edición.  
**Lugar y Año:** 2004.  
**I.S.B.N :** 0-471-45133-9.  
**Contenido:** 991 paginas.  
**Descripción:** Esta edición trata de cómo realizar de manera práctica y eficiente un sistema de telecomunicaciones, aplicando los conocimientos de ingeniería.

## FORMULA



- Tipo:** Página Web  
**Título:** **Grupo Formula.**  
**URL:** <http://www.radioformulanacional.com.mx>  
**Consultado:** 10/03/2014.  
**Descripción:** Página principal de grupo Radio Formula.



## GARCÍA



- Autor(es):** García, Armando.  
**Título:** **Calculo de Antenas.**  
**Edición:** 4° edición.  
**Editorial:** Marcombo  
**Lugar y Año:** España, 2010.  
**I.S.B.N :** 974-84-267-1666-8.  
**Contenido:** 229 paginas.  
**Descripción:** Trata de cómo se debe realizar el cálculo de ganancia de los diferentes tipos de antenas, empleadas para radio y televisión.  
**Usos:** 1.

## GARCÍA



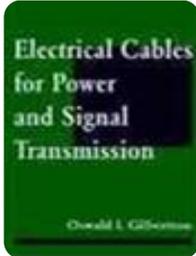
- Autor(es):** Gracia, Francisco y García, Ochoa.  
**Título:** **Elementos de Electromagnetismo Clásico.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Graf. Ortega.  
**Lugar y Año:** España, 1996.  
**I.S.B.N :** 84-97840-98-1.  
**Contenido:** 544 páginas.  
**Descripción:** Describe los sistemas de unidades en electromagnetismo.  
**Usos:** 1.

## GE



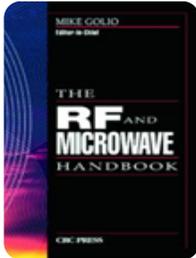
- Nombre:** **Google Earth.**  
**Tipo:** Aplicación para Windows®.  
**Versión:** 7.1.2.2041  
**Sistema Operativo:** Microsoft® Windows® (6.2.9200.0)  
**Servidor:** Kh.google.com  
**Año de Compilación:** 2013.  
**Usos:** 1.

## GILBERTSON



- Autor(es):** Oswald I. Gilbertson.  
**Título:** **Electrical Cables for Power and Signal Transmission.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** John Wiley & Sons.  
**Lugar y Año:** Canadá, 2000.  
**I.S.B.N :** 0-471-35996-3.  
**Contenido:** 353 paginas.  
**Descripción:** Este libro aborda los más eficientes niveles de voltaje y corriente seleccionados, para transferir energía hacia un punto, y poder ser usada.  
**Usos:** 1.

## GOLIO



- Autor(es):** Golio, Mike.  
**Título:** **The RF and Microwave.**  
**Edición:** 2° Edición.  
**Editorial:** CRC, Press.  
**Lugar y Año:** 2000.  
**I.S.B.N :** 0-8493-8592-X.  
**Contenido:** 103 paginas.  
**Descripción:** Este texto contiene información, requerida de alto grado de utilidad en el diseño de sistemas de RF y microondas.

## GÓMEZ



- Autor(es):** Gómez, Ricardo J.  
**Título:** **History and Philosophy of Science and Technology.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Encyclopedia of Life Support Systems.  
**Lugar y Año:** California, USA, 2010.  
**No. Páginas:** 11 páginas.  
**Descripción:** Describe el desarrollo filosófico del hombre conforme a la tecnología.  
**Usos:** 1, 2, 3.

## GÓMEZ



- Autor(es):** Gómez, Grass José María y Van-der Hofstadt, Román Carlos J.
- Título:** **Competencias y Habilidades Profesionales para Universitarios.**
- Edición:** 1º Edición.
- Editorial:** Ediciones Díaz de Santos.
- Lugar y Año:** Madrid, 2006.
- ISBN:** 8479787961, 9788479787967.
- No. Páginas:** 528 páginas.
- Descripción:** Tradicionalmente, el título universitario ha sido el único requisito que se necesitaba para ejercer una profesión. Hoy en día, esta idea está ya superada.
- Usos:** 1.



## HABERLE



- Autor(es):** Haberle, H.  
**Título:** **Electrónica de Telecomunicación.**  
**Edición:** 3° Edición.  
**Editorial:** Reverté.  
**Lugar y Año:** España, 1980.  
**I.S.B.N :** 84-291-3439-5.  
**Contenido:** 309 paginas.  
**Descripción:** De lo que trata este libro es de explicar las divisiones de las telecomunicaciones, como las técnicas de transmisión y recepción de la información.  
**Usos:** 2.

## HABERLE



- Autor(es):** Haberle, H.  
**Título:** **Fundamentos de Electrónica.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Reverté.  
**Lugar y Año:** España, 1979.  
**I.S.B.N :** 84-291-3436-0.  
**Contenido:** 425 paginas.  
**Descripción:** De lo que trata este libro es de explicar los fundamentos de la electrónica, y sus aplicaciones en las comunicaciones.  
**Usos:** 1.

## HALL



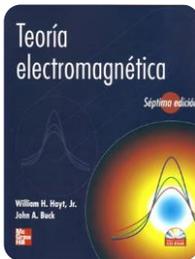
- Autor(es):** Donald, E. Hall  
**Título:** **Musical Acoustic and Introduction.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Wadsworth Pub. Co.  
**Lugar y Año:** 1980.  
**I.S.B.N :** 978-053-400-7584.  
**Contenido:** 488 paginas.  
**Descripción:** Describe los procesos acústicos.  
**Usos:** 1, 2.

## HAUSMAN



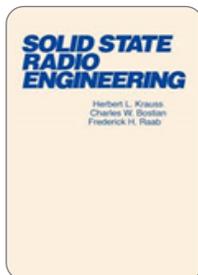
- Autor(es):** Carl, Hausman, Philip Benoid.  
**Título:** **Producción en la Radio Moderna.**  
**Edición:** 5° edición.  
**Editorial:** Ediciones Paraninfo.  
**Lugar y Año:** 2001.  
**I.S.B.N :** 970 -686-975-4.  
**Contenido:** 411 paginas.  
**Descripción:** Presenta una visión actualizada del campo de la radio, pues incorpora las nuevas tecnologías en la producción.  
**Usos:** 2.

## HAYT



- Autor(es):** Hayt, William H. Jr.  
**Título:** **Teoría electromagnética.**  
**Edición:** 7° Edición.  
**Editorial:** Mc Graw-Hill,  
**Lugar y Año:** México, 2006.  
**I.S.B.N.:** 97-10-5620-5.  
**Contenido:** 767 páginas.  
**Descripción:** Esta obra hace énfasis en los fundamentos y en la resolución de problemas de electromagnetismo. Aborda el material de una manera que lo hace comprensible y ameno.  
**Usos:** 1, 2, 3.

## HERBET



- Autor(es):** Herbert L. Krauss, Charles W. Bostian, Frederick H. Raab.  
**Título:** **Solid State Radio Engineering.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** John Wiley & Sons.  
**Lugar y Año:** Canada, 1980.  
**I.S.B.N :** 0-471-03018-X.  
**Contenido:** 534 paginas.  
**Descripción:** Este libro trata acerca del estudio análisis y diseño de circuitos electrónicos, para radiofrecuencias.  
**Usos:** 1.

## HERNÁNDEZ



**Autor(es):** Hernández, José A.  
**Título:** **Antenas, Principios Básicos y Diseño.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** U. de Baja California.  
**Lugar y Año:** México, 1998.  
**I.S.B.N :** 968-7326-90-5.  
**Contenido:** 146 paginas.  
**Descripción:** El contenido de este libro contempla los siguientes aspectos: fundamentos teóricos y conceptuales acerca de las antenas y características.

**Usos:** 1.

## HERNÁNDEZ



**Autor(es):** Hernández, José A.  
**Título:** **Teoría de Líneas de Transmisión e Ingeniería de Microondas.**  
**Edición:** 1° edición.  
**Editorial:** Universidad Autónoma de Baja California.  
**Lugar y Año:** México, 1999.  
**I.S.B.N :** 970-9051-09-1.  
**Contenido:** 75 paginas.  
**Descripción:** Este libro está enfocado, al establecimiento de la teoría necesaria en la emergente pero no nueva tecnología de electrónica de altas frecuencias.

**Usos:** 1.

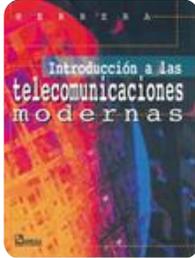
## HERNÁNDEZ



**Autor(es):** Hernandez, Sampieri R.  
**Título:** **Metodología de la Investigación. I Parte.**  
**Edición:** 5° Edición.  
**Editorial:** Mc Graw-Hill.  
**Lugar y Año:** México, 2010.  
**I.S.B.N :** 0-201-02942-1.  
**Contenido:** 656 Páginas.  
**Descripción:** Obra literaria que aporta el método de investigación.

**Usos:** 1.

## HERRERA



- Autor(es):** Herrera, Enrique.  
**Título:** **Introducción a las Telecomunicaciones Modernas.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Limusa.  
**Lugar y Año:** México, 2004.  
**I.S.B.N :** 968-18-5506-X.  
**Contenido:** 405 paginas.  
**Descripción:** Este libro trata de cómo han evolucionado los sistemas de comunicación de manera sorprendente, como para asegurar que es el siglo de las comunicaciones.  
**Usos:** 1.

## Hsu



- Autor(es):** Hsu, Hwei P.  
**Título:** **Análisis de Fourier.**  
**Edición:** 3° eEdición.  
**Editorial:** Prentice Hall.  
**Lugar y Año:** U.S.A., 1987.  
**I.S.B.N.:** 0-201-02942-1.  
**Contenido:** 288 páginas.  
**Descripción:** El objetivo del autor es desarrollar completamente el análisis de Fourier y mostrar su relación con las aplicaciones modernas.  
**Usos:** 1.

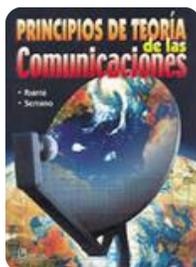
## HUIDOBRO



- Autor(es):** José M. Huidobro.  
**Título:** **Manual de Telecomunicaciones.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Alfaomega.  
**Lugar y Año:** 2004.  
**I.S.B.N :** 970-15-0983-8.  
**Contenido:** 340 paginas.  
**Descripción:** Este manual de telecomunicaciones esta hecho con el propósito de no tener que requerir a conocimientos técnicos, ni de telecomunicaciones, ni de matemáticas, ni de física, ni de ninguna otra ciencia.  
**Usos:** 1.



## IBARRA



- Autor(es):** Ibarra, Serrano  
**Título:** **Principios de la Teoría de las Comunicaciones.**  
**Edición:** Limusa.  
**Lugar y Año:** México, 1995.  
**I.S.B.N. :** 968-18-5752-6.  
**Contenido:** 321 paginas.  
**Descripción:** Este libro contiene, como han evolucionado las comunicaciones al igual que ha ido evolucionando el hombre, el uso de la radio, televisión, telefonía e internet y su impacto.  
**Usos:** 1.

## ICTP



- Tipo:** Página web.  
**Título:** **International Centre for Theoretical Physics.**  
**URL:** <http://www.ictp.it/>  
**Consultado:** 16/09/2014.  
**Descripción:** For more than 45 years, the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP) has been a driving force behind global efforts to advance scientific expertise in the developing world.  
**Usos:** 1.

## IDEAS PROPIAS



- Tipo:** Archivo PDF.  
**Título:** **Instalación de Equipos y Sistemas de Comunicación Radioeléctricos, Guía de Técnicas y Procedimientos.**  
**Consultado:** 01/03/2014.  
**Descripción:** Manual de cómo instalar equipos y sistemas de comunicación radioeléctricos.  
**Usos:** 1.

## IEEE



- Tipo:** Página Web.  
**Título:** **Institute of Electrical and Electric Engineers.**  
**URL:** <http://www.ieee.org/index.html>  
**Consultado:** 19/01/2014.  
**Descripción:** Página web del Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos, donde se pueden consultar estándares sobre electrónica.  
**Usos:** 1.

## INE



- Tipo:** Página Web.  
**Título:** **Instituto Nacional Electoral**  
**URL:** <http://www.ine.mx/portal/>  
**Consultado:** 11/10/2014.  
**Descripción:** Página oficial del Instituto Nacional Electoral.  
**Usos:** 1.

## INEGI



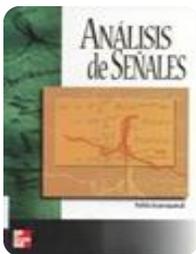
- Tipo:** Página Web.  
**Título:** **Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.**  
**URL:** <http://cuentame.inegi.org.mx/default.aspx>  
**Consultado:** 03/09/2014.  
**Descripción:** Con su creación, el INEGI modernizó la valiosa tradición que tenía nuestro país en materia de captación, procesamiento y difusión de información acerca del territorio, la población y la economía. Conjuntó en una sola institución la responsabilidad de generar la información estadística y geográfica.  
**Usos:** 1.

## INTI



**Tipo:** Página Web.  
**Título:** Instituto Nacional de Tecnología Industrial.  
**URL:** <http://www.inti.gov.ar/>  
**Consultado:** 19/09/2014.  
**Descripción:** Desarrollo de nuevas tecnologías en la industria.  
**Usos:** 1.

## IRARRAZAVAL



**Autor(es):** Pablo, Irarrázaval.  
**Título:** Análisis de Señales.  
**Edición:** 2° Edición.  
**Editorial:** McGraw-Hill.  
**Lugar y Año:** 1999.  
**I.S.B.N. :** 956-278-079-1.  
**Contenido:** 235 paginas.  
**Descripción:** Esta obra trata específicamente sobre el análisis de las señales tanto en forma continua como indirecta.  
**Usos:** 1.

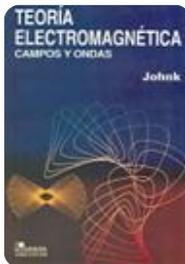


## JAMPRO



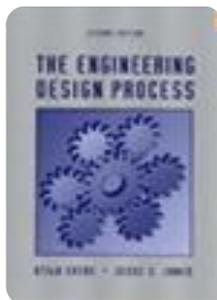
- Autor(es):** Jampro Antennas, Inc.  
**Título:** **JMPC-6 CENTER FED 106.3 MHZ.**  
**Edición:** 3° Edición.  
**Editorial:** -  
**Lugar y Año:** Jampro Antennas, Inc, 2014  
**Contenido:** 26 páginas.  
**Descripción:** Manual de instalación de antena de FM de la compañía Jampro Antenas Inc. usado en el caso de estudio de esta investigación.  
**Usos:** 1.

## JOHNK



- Autor(es):** Johnk, Carl T. A.  
**Título:** **Teoría Electromagnética, Campos y Ondas.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Limusa.  
**Lugar y Año:** 1994.  
**I.S.B.N. :** 968-1812-018.  
**Contenido:** 741 paginas.  
**Descripción:** En este libro se aborda la teoría electromagnética, campos y ondas, su estudio y aplicaciones en ingeniería.  
**Usos:** 1.

## JONES



- Autor(es):** Jones, Jesse C.  
**Título:** **The engineering Design Process.**  
**Edición:** 2° Edición.  
**Editorial:** Wiley.  
**Lugar y Año:** 1996  
**I.S.B.N. :** 978-047-136-996.  
**Contenido:** 614 páginas.  
**Descripción:** Combina todas las técnicas usadas en la rama de la ingeniería, para la combinación de procesos.  
**Usos:** 1.

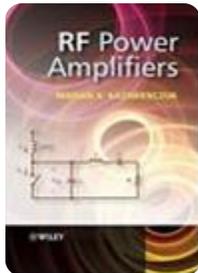


## KATHREIN



**Tipo:** Archivo PDF.  
**Título:** **Antenas Omnidireccionales.**  
**Consultado:** 11/03/2014.  
**Descripción:** Manual de funcionamiento y características de las antenas omnidireccionales.  
**Usos:** 1.

## KAZIMIERCZUK



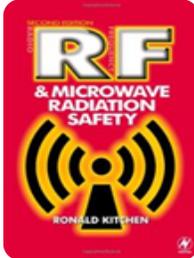
**Autor(es):** Kazimierzuk, Mariam K.  
**Título:** **RF Power Amplifiers.**  
**Edición:** 2° edición.  
**Editorial:** Wiley.  
**Lugar y Año:** 2008.  
**I.S.B.N. :** 978-0-470-77946-0.  
**Contenido:** 403 Páginas.  
**Descripción:** Este texto contiene la información necesaria, para desarrollar amplificadores de RF.  
**Usos:** 1.

## KEMMER



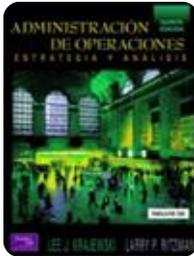
**Autor(es):** N. Kemmer.  
**Título:** **Análisis Vectorial.**  
**Edición:** 3° Edición.  
**Editorial:** Reverté.  
**Lugar y Año:** Reverte, 1986.  
**I.S.B.N. :** 8429150897, 9788429150896.  
**Contenido:** 280 páginas.  
**Descripción:** Este es un libro que al experto no se le cae de las manos; pero lo más sorprendente es que el estudiante pronto se da cuenta de que se trata de un texto escrito para él y para su provecho.  
**Usos:** 1.

## KITCHEN



- Autor(es):** Kitchen, Ronald.  
**Título:** **RF Microwave Radiation Safety.**  
**Edición:** 2° Edicion.  
**Editorial:** Newnes.  
**Editorial:** Oxford, 1998.  
**Lugar y Año:** 0-7506-552.  
**I.S.B.N :** 435 paginas.  
**Contenido:** Este texto aborda la información de todas las frecuencias usadas en los sistemas de comunicaciones, y sus aplicaciones en radares, satélites. Etc.  
**Descripción:**  
**Usos:** 1.

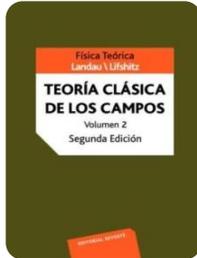
## KRAJEWSKY



- Autor(es):** Lee, J. Krajewsky.  
**Título:** **Administración de Operaciones, Estrategias y análisis.**  
**Edición:** 5° Edición.  
**Editorial:**  
**Lugar y Año:** 2000.  
**I.S.B.N. :** 968-444-411-7.  
**Contenido:** 614 Páginas.  
**Descripción:** Describe los procesos y operaciones de sistemas a implementar.  
**Usos:** 1.



## LANDAU



**Autor(es):** Landau, Lev Davidovich.  
**Título:** **Teoría Clásica de los Campos.**  
**Edición:** 2° Edición.  
**Editorial:** Reverté.  
**Lugar y Año:** Barcelona, 1973.  
**I.S.B.N.:** 53.12-524.8-530.1.  
**Descripción:** 525 páginas.

Objeto del presente libro es la exposición de la teoría de los campos electromagnético y gravitatorio. De acuerdo con el plan general del Curso de Física teórica, no se tratan en este tomo las cuestiones de Electrodinámica de los medios continuos, limitándose a exponer la Electrodinámica microscópica, es decir, la Electrodinámica del vacío y de las cargas puntuales.

**Usos:** 1.

## LAROUSSE



**Tipo:** Página Web.  
**Título:** **Larousse Editorial.**  
**URL:** <http://www.larousse.com.mx/>  
**Consultado:** 03/09/2014.  
**Descripción:** Página oficial del Diccionario Larousse Editorial 2012.

**Usos:** 1.

## LATHI



**Autor(es):** Lathi, Rob Flickenger.  
**Título:** **Introducción a la Teoría y Sistemas de Comunicación.**  
**Edición:** 1° Edición, 10° reimpresión.  
**Editorial:** Limusa.  
**Lugar y Año:** México, 1991.  
**I.S.B.N.:** 9681805550, 9789681805555□□  
**Contenido:** 409 páginas.  
**Descripción:** Estudio de los sistemas para transmitir señales en las emisiones de radio y televisión, telefonía, comunicaciones por satélite, telemetría y diversos servomecanismos.

**Usos:** 1, 2, 3, 4, 5, 6.

## LIMAN



- Autor(es):** Otto Limann, Oriol Izard i Badia  
**Título:** **Fundamentos de Radio.**  
**Edición:** 1º Edición.  
**Editorial:** Boixareu.  
**Lugar y Año:** Marcombo, 1989.  
**I.S.B.N :** 8426707319, 9788426707314.  
**Contenido:** 361 paginas.  
**Descripción:** Esta obra explica los fundamentos de la propia emisión y recepción por radio y los componentes que los integran.  
**Usos:** 2, 3.

## LINDNER



- Autor(es):** Douglas K. Lindner.  
**Título:** **Introducción a las Señales y los Sistemas.**  
**Edición:** 2º Edición.  
**Editorial:** McGraw Hill.  
**Lugar y Año:** 2001.  
**I.S.B.N :** 980-373-049-5.  
**Contenido:** 970 paginas.  
**Descripción:** Este texto ha sido diseñado para uno o dos semestres del curso de señales y sistemas para estudiantes de segundo y tercer año de educación superior.  
**Usos:** 1.

## LLINARES



- Autor(es):** Llinares, J y Page, A.  
**Título:** **Electromagnetismo y Semiconductores**  
**Edición:** 1º Edición.  
**Editorial:** Servicio de Publicaciones.  
**Lugar y Año:** Valencia, 1997.  
**I.S.B.N :** 84-7721-521-9.  
**Contenido:** 719 páginas.  
**Descripción:** Este libro básicamente describe lo que compone el cuerpo de Física como son la Mecánica, Óptica, Acústica, Termodinámica y Electromagnetismo aplicados.  
**Usos:** 1, 2.



## MARÍN



**Autor(es):** Salvador Marín Hernández.  
**Título:** **Las Competencias Profesionales Relacionadas con las TIC y el Espíritu Emprendedor.**  
**Edición:** 1º Edición.  
**Editorial:** Ministerio de Educación.  
**Lugar y Año:** Madrid, 2007.  
**ISBN:** 8436945344, 9788436945348  
**No. Páginas:** 304 páginas.  
**Descripción:** En esta obra literaria se tratan temas sobre la categorización de las profesiones relacionadas con las tecnologías de la información.  
**Usos:** 1.

## MARTÍN



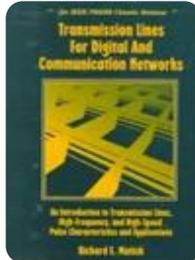
**Autor:** Martín, Juan C.  
**Título:** **Infraestructuras Comunes en Telecomunicaciones.**  
**Edición:** 2º Edición.  
**Editorial:** Editex.  
**Lugar y Año:** España, 2009.  
**I.S.B.N :** 978-84-9771-653-6.  
**Contenido:** 57 paginas.  
**Descripción:** De lo que trata este libro es de proporcionar la información necesaria, para adecuar las casetas, edificios, locales que serán empleados como sitios de telecomunicaciones.  
**Usos:** 1.

## MARTÍN



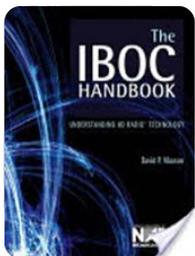
**Autor(es):** Martín, Juan C.  
**Título:** **Instalaciones de Telecomunicaciones.**  
**Edición:** 1º Edición.  
**Editorial:** Editex.  
**Lugar y Año:** España, 2009.  
**I.S.B.N :** 978-84-9771-527-0.  
**Contenido:** 85 paginas.  
**Descripción:** Lo que busca este libro es de dar al usuario una visión general de lo que se emplea para instalar los sitios de telecomunicación, material, equipos etc.  
**Usos:** 1.

## MATRICK



- Autor(es):** Matrick, Richard E.  
**Título:** **Transmission Lines for Digital and Communication.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** IEEE.  
**Lugar y Año:** 1995.  
**I.S.B.N :** 0-7803-6043-5.  
**Contenido:** 360 paginas.  
**Descripción:** Este libro trata, de cómo los ingenieros han sido capaces de desarrollar las líneas de transmisión para la comunicación digital.  
**Usos:** 1.

## MAXSON



- Autor(es):** Maxson. David P.  
**Título:** **The IBOC Handbook: Understanding HD Radio Technology.**  
**Edición:** 1° Edición..  
**Editorial:** Taylor & Francis, 2007.  
**Lugar y Año:** 0240808444, 9780240808444.  
**I.S.B.N :** 497 paginas.  
**Contenido:** Este libro expone toda la estructura de este sistema de transmisión digital. Ecuaciones del sistema se presentan de una manera que sea útil para los interesados en ellos, al tiempo que conserva una narrativa clara para aquellos que buscan un conocimiento general de cómo funciona la tecnología.  
**Descripción:**  
**Usos:** 1.

## MEDINA



- Autor(es):** Medina, A. Washington.  
**Título:** **Fundamentos y Principios de Líneas de Transmisión G.O.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Dreams Magnet.  
**Lugar y Año:** Chile, 2012.  
**I.S.B.N :** 8098-4049-266.  
**Contenido:** 232 paginas.  
**Descripción:** Este libro trata acerca de los fundamentos, comportamientos y el principio del análisis matemático de los fenómenos asociados, con las Líneas y guías de onda.  
**Usos:** 1.

## MENÉNDEZ



- Autor(es):** Menéndez, José R.  
**Título:** **Conceptos de Electromagnetismo.**  
**Edición:** Servicio de Publicaciones U. de Oviedo  
**Editorial:** Guijón España, 1999.  
**Lugar y Año:** 84-8317-143-0  
**I.S.B.N :**  
**Contenido:** 201 paginas  
**Descripción:** Este libro se aborda al estudio del electromagnetismo a través de las ecuaciones de Maxwell, procurando hacer hincapié en los principios que lo sustentan.
- Usos:** 1.

## MOLINEAUX



- Autor(es):** Villeta Molineaux Jesus.  
**Título:** **Diseño de Proyectos de Ingeniería.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** -  
**Lugar y Año:** Santo Domingo 2000.  
**I.S.B.N :** 9993425133, 9789993425137  
**Contenido:** 449 paginas.  
**Descripción:** Es un libro muy interesante y directo con las experiencias profesionales del autor, es estupendo.
- Usos:** 1, 2.

## MONTAÑA



- Autor(es):** Montaña, Johny.  
**Título:** **Teoría de Puestas a Tierra.**  
**Edición:** Editorial U. del Norte.  
**Lugar y Año:** Colombia, 2011.  
**I.S.B.N :** 978-958-741-125-6.  
**Contenido:** 97 paginas  
**Descripción:** Este libro aborda el análisis de los sistemas puestas tierra y el desarrollo de equipos para su mejor entendimiento.
- Usos:** 1.

## MONTOTO



- Autor(es):** Montoto, Luis.  
**Título:** **Fundamentos Físicos de la Informática y Comunicaciones.**  
**Edición:** 2° Edición.  
**Editorial:** Ediciones Paraninfo.  
**Lugar y Año:** República Dominicana, 2000.  
**I.S.B.N :** 8098-4049-266.  
**Contenido:** 455 paginas.  
**Descripción:** Este libro trata de responder a la necesidad de un texto básico sobre Física y una comprensión de las técnicas y los dispositivos de las ciencias de la información.  
**Usos:** 1.

## MORENO



- Autor(es):** Moreno, Germán, Valencia, Jaime, Cárdenas, Carlos.  
**Título:** **Fundamentos e Ingeniería de las Puestas a Tierra.**  
**Edición:** 1° edición.  
**Editorial:** Universidad de Antioquia.  
**Lugar y Año:** Colombia, 2007.  
**I.S.B.N :** 978-958-714-057-6.  
**Contenido:** 189 paginas.  
**Descripción:** Este libro trata sobre qué tan indispensables y necesarias son las medidas de protección puesta tierra y como han ganado importancia.  
**Usos:** 1.

## MOUST



- Autor(es):** Jos H. C. Moust, Peter A. J. Bouhuijs, Henk G. Schmidt.  
**Título:** **El Aprendizaje Basado en Problemas: Guía del Estudiante.**  
**Edición:** Univ de Castilla La Mancha, 2007.  
**Lugar y Año:** Universidad de Castilla-La Mancha.  
**I.S.B.N :** 848427540X, 9788484275404.  
**Contenido:** 112 páginas.  
**Descripción:** Es un libro que explica y justifica los pormenores de una metodología activa por excelencia.  
**Usos:** 1.

## MUJAL



- Autor(es):** Mujal, Ramón M.  
**Título:** **Cálculo de Líneas y Redes Eléctricas.**  
**Edición:** 1º edición.  
**Editorial:**  
**Lugar y Año:** España, 2002.  
**I.S.B.N :** 84-8301-606-0.  
**Contenido:** 221 paginas.  
**Descripción:** Este libro pretende introducir al lector en el cálculo de los sistemas eléctricos de potencia.  
**Usos:** 1.



## NAUTEL



**Tipo:** Página Web.  
**Título:** Nautel.  
**URL:** <http://www.nautel.com/>  
**Consultado:** 16/09/2014.  
**Descripción:** Página oficial Nautel distribuidor de transmisores de FM y AM y otros equipos de radio y televisión.

**Usos:** 1.

## NMX-H-004-2008-SCFI



**Tipo:** Archivo PDF.  
**Título:** NMX-H-004-2008- SCFI y sus modificaciones FM.  
**Consultado:** 18/09/2014.  
**Descripción:** Norma de referencia NRF-023-CFE-2009 "Herrajes y sus Accesorios".

**Usos:** 1, 2.

## NOM-001-SEDE-1999



**Tipo:** Archivo PDF.  
**Título:** NOM-001-SEDE-1999 Instalaciones Electricas.  
**Consultado:** 16/03/2015.  
**Descripción:** Norma de instalaciones eléctricas, implementación y requerimientos técnicos y legales.

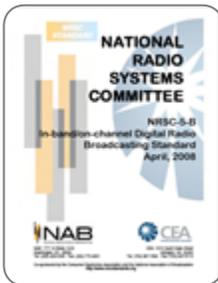
**Usos:** 1.

## NOM-02-SCT1-1993



**Tipo:** Archivo PDF.  
**Título:** **NOM-02-SCT1-1993 y sus modificaciones FM.**  
**Consultado:** 18/06/2012.  
**Descripción:** Norma proporcionado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de la radiodifusoras de FM.  
**Usos:** 1, 2, 3.

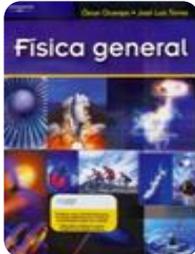
## NRSC-5-B



**Tipo:** Archivo PDF.  
**Título:** **National Radio Systems Committee.**  
**Consultado:** 05/04/2015.  
**Descripción:** Descripción técnica del estándar IBOC de la UIT para su implementación por parte de los interesados.  
**Usos:** 1, 2.

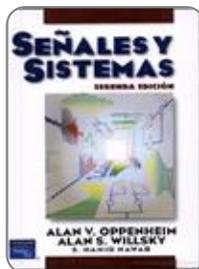


## OCAMPO



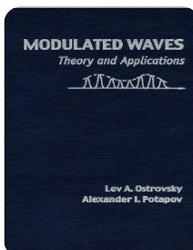
- Autor(es):** Ocampo, Oscar.  
**Título:** **Física General.**  
**Edición:** 4° Edición.  
**Editorial:** Learning Editores.  
**Lugar y Año:** 2006.  
**I.S.B.N :** 970-686-614-0.  
**Contenido:** 280 paginas.  
**Descripción:** Desarrolla los temas más importantes de la física.  
**Usos:** 1, 2, 3, 4.

## OPPENHEIM



- Autor(es):** Oppenheim, Alan y Willsky, Alan.  
**Título:** **Señales y Sistemas.**  
**Edición:** 2° edición.  
**Editorial:** Paerson.  
**Lugar y Año:** México, 1997.  
**I.S.B.N :** 970-17-0116.  
**Contenido:** 941 paginas.  
**Descripción:** Este libro es la segunda edición de un texto diseñado de señales y sistemas a nivel licenciatura.  
**Usos:** 1.

## OSTROVSKY



- Autor(es):** Ostrovsky, L.A. y Potatov, A.S.  
**Título:** **Modulated waves, Theory and Applications.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** B&W Illus.  
**Lugar y Año:** Baltimore, 1999.  
**I.S.B.N.:** 9780801873256. □□  
**Contenido:** 392 páginas.  
**Descripción:** Los autores de esta obra consideran que las ondas pueden ser lineales y no lineales como solitones, ondas en medios no homogéneos, y muchos otros.  
**Usos:** 1.



## PASCUAL



| Tabla de contenidos                      |   |
|--|---|
| 1. Descripción general                   | 2 |
| 1.1 Información de Propiedad Intelectual | 2 |
| 1.2 Datos de Identificación              | 2 |
| 1.3 Descripción general                  | 2 |
| 2. Introducción                          | 3 |
| 3. Características                       | 4 |
| 4. Clasificación                         | 4 |
| 5. Requisitos para su uso                | 4 |
| 6. Tipos de montaje                      | 5 |
| 7. Tipos de montaje                      | 5 |
| 8. Tipos de montaje                      | 5 |
| 9. Tipos de montaje                      | 5 |
| 10. Tipos de montaje                     | 5 |
| 11. Tipos de montaje                     | 5 |
| 12. Tipos de montaje                     | 5 |

**Autor(es):** Pascual, Alberto.  
**Título:** **Instalaciones para Exteriores.**  
**Edición:** 1º Edición.  
**Editorial:** -  
**Lugar y Año:** 2007.  
**Contenido:** 87 paginas.  
**Descripción:** Desarrolla la instalación de torres de radio y describe puntos a tomar en consideración.  
**Usos:** 1.

## PAYÁ



**Autor(es):** Payá, Miguel.  
**Título:** **Aislamiento Térmico y Acústico**  
**Edición:** 2004.  
**Contenido:** 160 paginas.  
**Descripción:** Ofrece un completo retrato de los distintos materiales empleados en la construcción: piedras naturales y artificiales, hormigón, materiales cerámicos, materiales de aislamiento térmico y acústico.  
**Usos:** 1, 2.

## PÉREZ



**Autor(es):** Pérez, Constantino y Casanueva, Alicia.  
**Título:** **Sistemas de Telecomunicación.**  
**Edición:** Servicio de Publicaciones de la U. Cantabria  
**Lugar y Año:** España, 2007.  
**I.S.B.N :** 978-84-8102-454-8.  
**Contenido:** 389 páginas  
**Descripción:** Esta obra trata fundamentalmente los aspectos de los sistemas de comunicación eléctrica, particularmente de los sistemas radioeléctricos.  
**Usos:** 1.

## PÉREZ



- Autor(es):** Pérez, José Antonio.  
**Título:** **Gestión de Calidad Orientada a los Procesos.**  
**Edición:** 2º Edición.  
**Editorial:** ESIC Editorial.  
**Lugar y Año:** 1999.  
**I.S.B.N.:** 473561988, 9788473561983¶¶  
**Contenido:** 208 páginas.  
**Descripción:** El autor nos regala una investigación orientada e los procesos de calidad.  
**Usos:** 2.

## PERROUND



- Autor(es):** Perroud, Philippe.  
**Título:** **Construire des Compétences des l'école.**  
**Edición:** 2º Edición.  
**Editorial:** EFS Éditeur.  
**Lugar y Año:** Paris, 1998.  
**I. S. B. N:** 7101 1250 7.  
**Contenido:** 52.  
**Descripción:** Esta bibliografía trata acerca del problema del aprendizaje, específicamente de cómo llevar loa prendido en las aulas a la práctica.  
**Usos:** 1.

## PIERCE



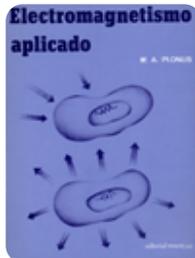
- Autor(es):** Pierce, John y Noll Michael.  
**Título:** **Señales: Ciencias de la Telecomunicación.**  
**Edición:** 1º Edición.  
**Editorial:** Reverté.  
**Lugar y Año:** España, 2002.  
**I.S.B.N :** 84-291-4387-4.  
**Contenido:** 245 paginas.  
**Descripción:** Este libro aborda los diferentes tipos de señales en las telecomunicaciones y como han impactado en la vida cotidiana.  
**Usos:** 1.

## PLAZOLA



- Autor(es):** Plazola, Cisneros Alfredo.  
**Título:** **Enciclopedia de Arquitectura Plazola vol. 7.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Plazola Editores.  
**Lugar y Año:** México, 1998.  
**I.S.B.N.:** 968-7478-00-4.  
**Contenido:** 687 páginas.  
**Descripción:** Esta obra comprende la historia resumida del desarrollo arquitectónico de las principales culturas y países con la información de sus estilos, ciudades principales, exponentes y obras representativas.  
**Usos:** 1, 2, 3, 4, 5, 6.

## PLONUS



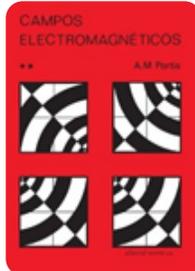
- Autor(es):** Plonus, M.A.  
**Título:** **Electromagnetismo Aplicado.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Reverte.  
**Lugar y Año:** España, 1994.  
**I.S.B.N :** 84-291-3063-2.  
**Contenido:** 644 páginas.  
**Descripción:** Este libro va destinado para los estudiantes en electromagnetismo, que sigan cursos introductorios de física.  
**Usos:** 1.

## POMETTI



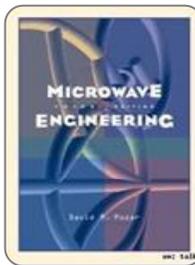
- Autor(es):** Ing. Daniel Pometti.  
**Título:** **Curso Teórico de Transmisores.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** -  
**Lugar y Año:** Perú, 2005.  
**Contenido:** 19 páginas.  
**Descripción :** Describe las partes de un transmisor, así como su funcionamiento y mantenimiento.  
**Usos:** 1.

## PORTIS



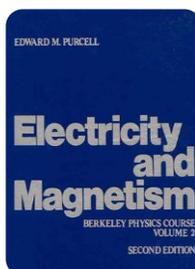
- Autor(es):** Portis, Alan M.  
**Título:** **Campos Electromagnéticos.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Reverte.  
**Lugar y Año:** España, 1985.  
**I.S.B.N :** 84-291-4331-9.  
**Contenido:** 939 paginas.  
**Descripción:** Este libro se aborda a los fenómenos electromagnéticos antiguos y modernos, que resultan al estar relacionados.  
**Usos:** 1.

## POZAR



- Autor(es):** Davis M. Pozar.  
**Título:** Microwave Engineering.  
**Edición:** 3° edición.  
**Editorial:** 2005.  
**Lugar y Año:** 0-471-44878-8.  
**I.S.B.N :** 700 paginas.  
**Contenido:** Este libro trata del estudio de las microondas, su historia y aplicaciones a las nuevas tecnologías.  
**Descripción:** Este libro trata del estudio de las microondas, su historia y aplicaciones a las nuevas tecnologías.  
**Usos:** 1.

## PURCELL



- Autor(es):** Purcell, Edward M.  
**Título:** **Electricity and Magnetism Vol. II.**  
**Edición:** Segunda.  
**Editorial:**  
**Lugar y Año:** EUA, 1984.  
**I.S.B.N.:** 0070049084. □□  
**Contenido:** 484 páginas.  
**Descripción:** Este es segundo volumen revisado de 5 cursos realizados por los físicos de Berkeley para tres de cuatro semestres introductorios al cálculo basados en la física.  
**Usos:** 1.



## QUINTANILLA



- Autor(es):** Miguel Ángel Quintanilla.
- Título:** **Tecnología: un enfoque Filosófico y otros Ensayos de Filosofía de la Tecnología.**
- Edición:** 2º Edición.
- Editorial:** Fondo de Cultura Económica
- Lugar y Año:** 2005.
- I.S.B.N.:** 9681675649, 9789681675646.
- Contenido:** 295 páginas.
- Descripción:** La tecnología transforma la realidad, la manera en que la conocemos e, incluso, nuestros valores éticos, y constituye un campo de gran interés para los estudios filosóficos por las repercusiones sociales y económicas del desarrollo tecnológico.
- Usos:** 1.

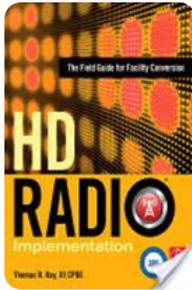


## RAE



**Tipo:** Página Web.  
**Título:** Real Academia de la Lengua Española.  
**URL:** <http://www.rae.es/>  
**Consultado:** 24/11/2013.  
**Descripción:** Página oficial de la Real Academia de la Lengua Española.  
**Usos:** 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

## RAY



**Autor(es):** Ray, Thomas R.  
**Título:** HD Radio Implementation.  
**Edición:** 1º Editorial.  
**Editorial:** Taylor & Francis.  
**Lugar y Año:** 2012.  
**I.S.B.N :** 1136031774, 9781136031779.  
**Contenido:** 224 páginas.  
**Descripción:** Desarrolla de manera práctica y conocida el misterio de la radio digital.  
**Usos:** 1.

## RDT



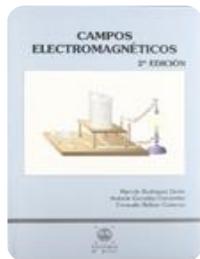
**Tipo:** Archivo PDF.  
**Título:** Lineamientos para la Transición a la Radio Digital Terrestre (RDT).  
**Consultado:** 20/02/2015.  
**Descripción:** Estudios realizados para resaltar los lineamientos que se requieren para instalar una radio digital.  
**Usos:** 1.

## RICHARDSON



- Tipo:** Página Web.  
**Título:** Richardson Electronics.  
**URL:** <http://www.rell.com/index.html>  
**Consultado:** 17/08/2014.  
**Descripción:** Portal de Richardson electronics en la cual se podrá encontrar numerosos productos relacionados con la radiodifusión o televisión para su venta.  
**Usos:** 1.

## RODRÍGUEZ



- Autor:** Rodríguez, Marcelo, González, Antonio y Bellver, Consuelo.  
**Título:** **Campos Electromagnéticos.**  
**Edición:** 2ª Edición.  
**Editorial:** UAE.  
**Lugar y Año:** España, 1999.  
**I.S.B.N :** 84-472-0540-1.  
**Contenido:** 673 paginas.  
**Descripción:** Este libro trata sobre la formulación covariante del Electromagnetismo y algunas exposiciones teóricas.  
**Usos:** 1.

## ROUGERON



- Autor:** Rougeron Claude.  
**Título:** **Aislamiento Acústico y Térmico en la Construcción.**  
**Edición:** 1ª Edición.  
**Editorial:** Reverte.  
**Lugar y Año:** 1977.  
**I.S.B.N :** 8471460971, 9788471460974.  
**Contenido:** 301 paginas.  
Esta obra, muestra técnicas de aislamiento acústico y térmico orientado a construcciones.  
**Usos:** 1.

## RTG



**Tipo:** Página Web.

**Título:** **O.P.D. Radio y Televisión de Guerrero.**

**URL:** <http://rtvgro.net/nt/>

**Consultado:** 24/02/2013.

**Descripción:** Portal de O.P.D. Radio y Televisión de Guerrero, la cual transmite su señal de radio y televisión teniendo cobertura en cinco ciudades.

**Usos:** 1, 2.

## RUDD



**Autor(es):** Dale F. Rudd, Charles C. Watson.

**Título:** **Estrategia en Ingeniería de Procesos.**

**Edición:** 1° Edición.

**Editorial:**

**Lugar y Año:** Alhambra, 1982.

**I.S.B.N :** 842050307X, 9788420503073.

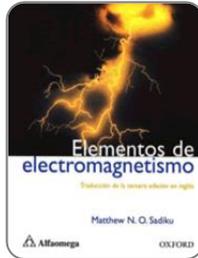
**Contenido:** 546 paginas.

**Descripción:** Esta bibliografía ofrece más que estrategias en ingeniería de Procesos, te muestra conceptos básicos y presenta diferentes maneras de realizar mapas conceptuales.

**Usos:** 2.



## SADIKU



- Autor(es):** Sadiku, Matthew N.O.  
**Título:** **Elementos de electromagnetismo.**  
**Edición:** 3° Edición.  
**Editorial:** Oxford University Press.  
**Lugar y Año:** México, 2003.  
**I.S.B.N.:** 968-444-327-7.  
**Contenido:** 767 páginas.  
**Descripción:** El objetivo fundamental de este libro es presentar los conceptos del electromagnetismo en una forma más clara e interesante que en los textos anteriores.  
**Usos:** 1, 2.

## SÁNCHEZ



- Autor(es):** Sánchez, José Salvador.  
**Título:** **Ingeniería de Proyectos Informáticos: Actividades y Procedimientos.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Universitat Jaume I.  
**Lugar y Año:** 2003.  
**I.S.B.N :** 8480214082, 9788480214087.  
**Contenido:** 166 paginas.  
**Descripción:** Los autores ofrecen una guía metodológica básica para el diseño, desarrollo y gestión de proyectos, que también contempla dentro de una perspectiva más amplia a la maquinaria, las comunicaciones, los dispositivos de almacenamiento de datos, los procedimientos de trabajo y los recursos humanos de las organizaciones que utilizan.  
**Usos:** 1.

## SANCHIS VOL. I



- Autor(es):** Sanchis, Sabater Antonio.  
**Título:** **Fundamentos Físicos para Ingenieros Vol. I.**  
**Edición:** 2° Edición.  
**Editorial:** Servicio de Publicaciones.  
**Lugar y Año:** Valencia, 1999.  
**I.S.B.N :** 84-7721-757-2.  
**Contenido:** 819 páginas  
**Descripción:** Describe los fundamentos físicos para el área de la ingeniería.  
**Usos:** 1.

## SANCHIS VOL. II



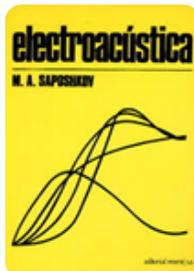
**Autor(es):** Sanchis, Sabater Antonio.  
**Título:** **Fundamentos Físicos para Ingenieros Vol. II**  
**Edición:** 2° Edición.  
**Editorial:** Servicio de Publicaciones.  
**Lugar y Año:** Valencia, 1999.  
**I.S.B.N :** 84-7721-757-2.  
**Contenido:** 839 páginas.  
**Descripción:** Describe los fundamentos físicos para el área de la ingeniería.  
**Usos:** 1.

## SANZ



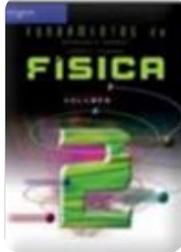
**Autor(es):** Sanz, José y Toledano, José.  
**Título:** **Técnicas y Procesos en las Instalaciones Eléctricas.**  
**Edición:** 6° Edición.  
**Editorial:** -  
**Lugar y Año:** España, 2009.  
**I.S.B.N :** 978-84-9732-663-6.  
**Contenido:** 353 paginas.  
**Descripción:** Este libro trata acerca de las técnicas y procesos de instalaciones eléctricas y la normativa y la característica, de transformación.  
**Usos:** 1.

## SAPOSHKOV



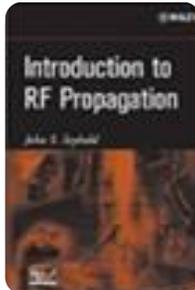
**Autor(es):** Saposhkov M.A.  
**Título:** **Electroacústica.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Reverté.  
**Lugar y Año:** 1983.  
**I.S.B.N :** 842-914-350-5.  
**Contenido:** 273 paginas.  
**Descripción:** Instruye a los ingenieros cuales y como son los tipos de micrófonos, y como deben emplearse.  
**Usos:** 1, 2.

## SERWAY



- Autor(es):** Serway, Raymond A.  
**Título:** **Fundamentos de Física Vol. II.**  
**Edición:** 6° edición.  
**Editorial:** Paerson.  
**Lugar y Año:** 2004.  
**I.S.B.N :** 970-686-381-8.  
**Contenido:** 448 paginas.  
**Descripción:** Introduce los conceptos básicos de la física , de manera más comprensible.  
**Usos:** 1.

## SEYBOLD



- Autor(es):** Seybold, John S.  
**Título:** **Introduction to RF Propagation.**  
**Edición:** 3° Edición.  
**Editorial:** John Wiley & Sons.  
**Lugar y Año:** USA, 2005.  
**I.S.B.N :** 978-0-471-65596-1.  
**Contenido:** 317 paginas.  
**Descripción:** Este aborda la introducción a la RF y como se propaga. Análisis y estudio detallado de sus características en los medios de propagación.  
**Usos:** 1.

## SMITH



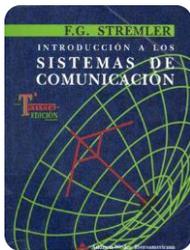
- Autor(es):** Smith, Albert A. Jr.  
**Título:** **Radio Frequency Principles And Applications.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Paerson.  
**Lugar y Año:** NJ, 1998.  
**I.S.B.N :** 0-7803-3431-0.  
**Contenido:** 219 páginas.  
**Descripción:** Este libro esta principalmente diseñado para explicar las radio frecuencias, análisis, y electromagnetismo fallas y efectos.  
**Usos:** 1.

## SOTO



- Autor(es):** Soto, Pablo, Carbonell Jorge, Tarin Eva.  
**Título:** **Problemas de Medios de Transmisión.**  
**Edición:** 1° edición.  
**Editorial:** UABJ.  
**Lugar y Año:** España, 2006.  
**I.S.B.N :** 84-9705-954-9.  
**Contenido:** 255 paginas.  
**Descripción:** Con la presente obra se pretende realizar una amplia recopilación de problemas que cubran el tópic de los medios de transmisión en los medios de telecomunicación.  
**Usos:** 1.

## STREMLER



- Autor(es):** Stremler, Ferrel G.  
**Título:** **Introducción a los Sistemas de Comunicación.**  
**Edición:** 3° Edición.  
**Editorial:** Addison-Wesley Iberoamericana.  
**Lugar y Año:** E.U.A., 1993.  
**I.S.B.N.:** 0-201-51878-3.  
**Contenido:** 761 páginas.  
**Descripción:** Este texto presenta a los estudiantes de licenciatura una explicación introductoria de los sistemas de comunicación, destacando diseño y la modulación de señales.  
**Usos:** 1.

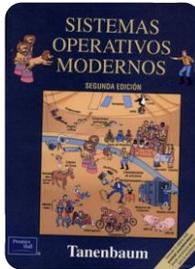
## SYSCOM



- Tipo:** Página Web.  
**Título:** **Syscom.**  
**URL:** <http://www.syscom.mx/>  
**Consultado:** 10/09/2014.  
**Descripción:** Portal de empresa dedicada a la construcción y venta de torres arriostradas y autosoportadas.  
1.



## TANENBAUM



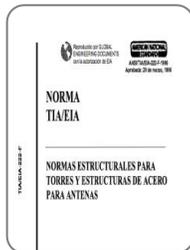
- Autor(es):** Tanenbaum Andrew S.  
**Título:** **Sistemas Operativos Modernos.**  
**Edición:** 3° Edición.  
**Editorial:** Pearson Educación.  
**Lugar y Año:** 2003  
**I.S.B.N.:** 9702603153, 9789702603153.  
**Contenido:** 951 páginas.  
**Descripción:** El autor revela una investigación acerca de los sistemas operativos nuevos.  
**Usos:** 1, 2.

## TAVERA



- Autor(es):** Francisco Tavera Escobar.  
**Título:** **La Calidad en la Enseñanza de la Ingeniería ante el Siglo XXI.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Limusa.  
**Lugar y Año:** México, 2000.  
**ISBN:** 9681861329, 9789681861322.  
**No. Páginas:** 128 páginas.  
**Descripción:** En este volumen se presentan el aspecto fundamental para el mejoramiento de la calidad en la enseñanza de la ingeniería, resultante de una amplia investigación realizada a nivel nacional e internacional sobre el tema, para la formación de ingenieros de excelencia y competitivo.  
**Usos:** 1.

## TIA/EIA-222-F



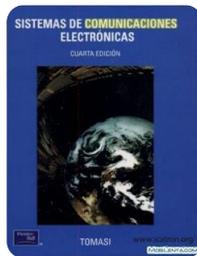
- Tipo:** Archivo PDF.  
**Título:** **Normas Estructurales para Torres y Estructuras de Acero para Antenas.**  
**Lugar y Año:** 1996.  
**Contenido:** 87 páginas.  
**Descripción:** Se describen las normas generales para la construcción de torres de radio comunicación.  
**Usos:** 1.

## TOBÓN



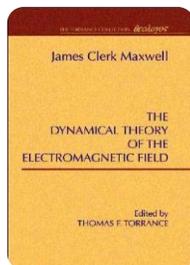
- Autor(es):** Tobón, S. et al.  
**Título:** **Competencias, calidad y educación superior.**  
**Edición:** 2° Edición.  
**Editorial:** Cooperativa editorial magisterio.  
**Lugar y Año:** Colombia, 2006.  
**I.S.B.N.:** 9582008733.  
**Contenido:** 210 páginas.  
**Descripción:** Describe las competencias del nivel profesional.  
**Usos:** 1.

## TOMASI



- Autor(es):** Tomasi, Wayne.  
**Título:** **Sistemas de Comunicación Electrónicas.**  
**Edición:** 3° Edición.  
**Editorial:** Paerson.  
**Lugar y Año:** México, 2003.  
**I.S.B.N.:** 097-26-0316-1.  
**Contenido:** 976 páginas.  
**Descripción:** Esta obra, presenta una descripción detallada del campo de las comunicaciones electrónicas.  
**Usos:** 1, 2, 3.

## TORRANCE



- Autor(es):** Torrance, Thomas E.  
**Título:** **Dynamical Theory of the Electromagnetic Field.**  
**Edición:** 2° Edición.  
**Editorial:** Wipf & Stock Publishers.  
**Lugar y Año:** Londres, 1864.  
**I.S.B.N.:** 9781579100155.  
**Contenido:** 116 páginas.  
**Descripción:** Esta obra contiene la publicación realizada por James Clerk Maxwell el año 1864, donde describe la teoría referente a los fenómenos electromagnéticos, la cual es el resultado del estudio de sus colegas antecesores, Gauss, Ampere y Faraday.  
**Usos:** 1.

## TORRE



**Tipo:** Documento PDF.  
**Título:** **Torres Arriostradas: Catalogo 2012.**  
**Consultado:** 01/08/2012  
**Descripción:** Catalogo 2012 de torres arriostradas para antenas AM y FM.  
**Usos:** 1.

## TX-FM



**Tipo:** Documento PDF.  
**Título:** **004 Curso Teórico Para Ingenieros de Mantenimiento Transmisores FM.**  
**Consultado:** 01/03/2014.  
**Descripción:** Curso teórico de transmisores para Ingenieros en mantenimiento. Este curso fue consultado para describir el mantenimiento de transmisores de FM redactado en el Capítulo 3.  
**Usos:** 1.

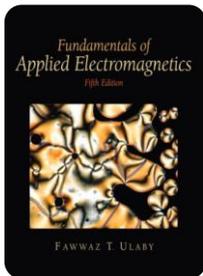


## UIT



- Tipo:** Página Web.  
**Título:** **Unión Internacional de Telecomunicaciones.**  
**URL:** <http://www.itu.int/es/Pages/default.aspx>  
**Consultado:** 11/008/2013  
**Descripción:** Es el organismo especializado de Telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras.  
**Usos:** 1, 2.

## ULABY



- Autor(es):** Ulaby, Fawwaz T.  
**Título:** **Fundamentos de Aplicaciones en Electromagnetismo.**  
**Edición:** 5° Edición.  
**Editorial:** Paerson, 5° edición.  
**Lugar y Año:** México, 2007.  
**I.S.B.N.:** 470-2b-1055-9.  
**Contenido:** 488 páginas.  
**Descripción:** Este libro presenta la teoría electromagnética. Explica entre otros temas, la manera en que se propagan las ondas planas en el espacio libre, en medio materiales y en líneas de transmisión.  
**Usos:** 1, 2.

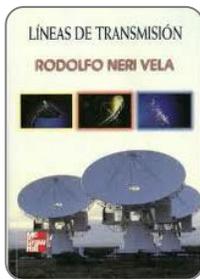


## VASEGHI



- Autor(es):** Vaseghi, Saeed V.  
**Título:** **Advanced Digital Signal Processing.**  
**Edición:** 3° edición.  
**Editorial:** Stanley.  
**Lugar y Año:** England, 2006  
**I.S.B.N :** 978-0-470-09494-X.  
**Contenido:** 453 paginas  
**Descripción:** Este libro muestra el procesamiento de señal de audio, video, para aplicaciones de comunicaciones.  
**Usos:** 1.

## VELA



- Autor(es):** Vela, Rodolfo Neri.  
**Título:** **Líneas de Transmisión.**  
**Edición:** 1° Edición.  
**Editorial:** Mc Graw-Hill.  
**Lugar y Año:** México, 1987.  
**I.S.B.N.:** 970-10-2546-6.  
**Contenido:** 479 páginas.  
**Descripción:** Líneas de transmisión es una obra que aborda, de una forma didáctica, los temas más actuales en el área de las comunicaciones.  
**Usos:** 1, 2, 3, 4.

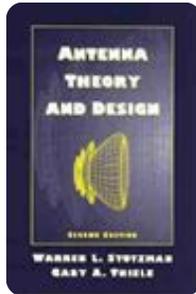
## VERGNE



- Tipo:** Archivo PDF.  
**Título:** **La Mirada Filosófica sobre la Tecnología.**  
**Consultado:** 7/03/2013.  
**Descripción:** Filosofía de la tecnología.  
**Usos:** 1, 2.



## WARREN



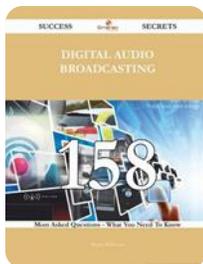
- Autor(es):** Warren, L. Stutzman y Gary, A Thiele.  
**Título:** **Antenna Theory and Design.**  
**Edición:** 2ª Edición.  
**Editorial:** -  
**Lugar y Año:** 1998.  
**I.S.B.N :** 0-471-02590-9.  
**Contenido:** 648 páginas.  
**Descripción:** Esta segunda versión está más expandida, pues incluye la nueva área de antenas, sistemas y componentes.  
**Usos:** 1.

## WEBSTER



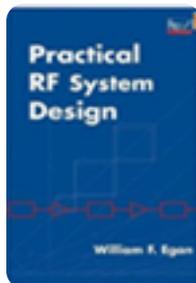
- Tipo:** Página Web.  
**Título:** **An Enciclopedia Britannica Company.**  
**URL:** <http://www.merriam-webster.com/>  
**Consultado:** 24/02/2013.  
**Descripción:** Portal de la Enciclopedia Británica Merriam-Webster.  
**Usos:** 1.

## WILKERSON



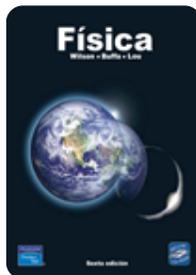
- Autor(es):** Wilkerson, Wayne.  
**Título:** **Broadcasting Audio 158 Success Secrets.**  
**Edición:** 6ª Edición.  
**Editorial:** Emereo Publishing.  
**Lugar y Año:** 2014.  
**I.S.B.N :** 1488813868, 9781488813863.  
**Contenido:** 142 paginas.  
**Descripción:** Contiene 158 respuestas, mucho más de lo que puedas imaginar; respuestas integrales y amplios detalles y referencias, con ideas que nunca antes se habían ofrecido.  
**Usos:** 1.

## WILLIAM



- Autor(es):** William, F. Egan.  
**Título:** **Practical RF System Design.**  
**Edición:** 2° Edición.  
**Editorial:** John Wiley & Sons.  
**Lugar y Año:** 2003.  
**I.S.B.N :** 0-471-20023-9.  
**Contenido:** 810 paginas.  
**Descripción:** Este libro trata acerca del análisis y diseño de sistema de RF, niveles que son necesarios para entender la relación entre las últimas tecnologías.  
**Usos:** 1.

## WILSON



- Autor(es):** Jerry D. Wilson, Anthony J. Buffa.  
**Título:** **Física.**  
**Edición:** 3° Edición.  
**Editorial:** Pearson Educación.  
**Lugar y Año:** 2003.  
**I.S.B.N :** 970-260-425-7.  
**Contenido:** 842 paginas.  
**Descripción:** Abarca temas principales de la física, como electromagnetismo, nanotecnología y ondas.  
**Usos:** 1.

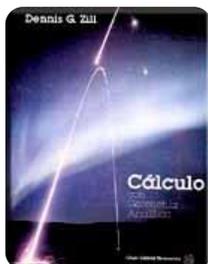


## ZHAOWEI



**Tipo:** Página Web  
**Título:** Fabricantes de Torre de comunicación, Torre de transmisión eléctrica en China.  
**URL:** <http://www.chinatowers.es/>  
**Consultado:** 13/10/2012  
**Descripción:** Proveedor de torres de telecomunicaciones.  
**Usos:** 1, 2

## ZILL



**Autor(es):** Zill, Dennis G.  
**Título:** Cálculo con Geometría Analítica.  
**Edición:** 3° Edición.  
**Editorial:** Grupo Editorial Iberoamérica.  
**Lugar y Año:** México, 1987.  
**I.S.B.N.:** 96872703-517.  
**Contenido:** 1013 páginas  
**Descripción:** Este libro es proyectado para un curso de Cálculo de tres semestres, para estudiantes de ciencias, Ingeniería, matemáticas o administración.  
**Usos:** 1, 2, 3, 4.

**I**

## **10. Índices.**

## 10. Índices.

---



10.1 Figuras.

10.2 Ecuaciones.

10.3 Tablas.

10.4 General.

## 10.1 Figuras.



---

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Universidad Americana de Acapulco. ....                             | 15 |
| Figura 2. Dirección General de Incorporación y Revalidación de Estudios. .... | 16 |
| Figura 3. Radio y Televisión de Guerrero. ....                                | 17 |
| Figura 4. Instalaciones de Radio Formula Acapulco. ....                       | 18 |
| Figura 5. COFETEL pasa a ser IFT en el año 2013. ....                         | 20 |
| Figura 6. ENOE. Clasificación Mexicana de Ocupaciones (CMO) 2009. ....        | 23 |
| Figura 7. Diagrama de competencias en Telecomunicaciones. ....                | 26 |
| Figura 8. Unión Internacional de Telecomunicaciones. ....                     | 27 |
| Figura 9. Grupo Fórmula Guerrero. ....  | 28 |
| Figura 10. Estructura lineal. ....  | 35 |
| Figura 11. Estructura alternativa para lectura breve. ....                    | 36 |
| Figura 12. Johan Beckmann (1739-1811). ....                                   | 40 |
| Figura 13. Mario Bunge (1919). ....   | 41 |
| Figura 14. Paul Watzlawick (1921-2007). ....                                  | 45 |
| Figura 15. Radiocomunicación en la milicia. ....                              | 46 |
| Figura 16. Aurora boreal: Fenómeno natural electromagnético. ....             | 48 |
| Figura 17. James Clerk Maxwell (1831-1879). ....                              | 49 |
| Figura 18. Interpretación geométrica de un Gradiente. ....                    | 52 |
| Figura 19. Cubo para demostrar la divergencia. ....                           | 54 |
| Figura 20. Cubo girado hacia una de sus caras. ....                           | 55 |
| Figura 21. Rotacional. ....   | 57 |
| Figura 22. Rotacional A. ....   | 58 |
| Figura 23. George Green (1793-1841). ....                                     | 60 |
| Figura 24. a) R como región de tipo I. b) R como región de tipo II. ....      | 61 |
| Figura 25. Región irregular seccionada en 4 partes. ....                      | 63 |
| Figura 26. Teorema de Stokes. ....  | 65 |
| Figura 27. George G. Stokes (1819-1903). ....                                 | 66 |
| Figura 28. Carl Friedrich Gauss (1777-1855). ....                             | 67 |
| Figura 29. Líneas de flujo magnético en un alambre recto. ....                | 70 |
| Figura 30. Flujo que sale de una superficie cerrada. ....                     | 71 |
| Figura 31. División sucesiva de una barra imantada. ....                      | 71 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 32. Michael Faraday (1791-1867).                                     | 73  |
| Figura 33. André-Marie Ampère (1775-1836).                                  | 77  |
| Figura 34. Diagrama general de un sistema.                                  | 79  |
| Figura 35. Diagrama de un Sistema de Comunicación.                          | 81  |
| Figura 36. Cable coaxial.   | 82  |
| Figura 37. Modo de propagación transversal electromagnético (TEM).          | 83  |
| Figura 38. a) Placas paralelas. b) Dos alambres. c) Cable coaxial.          | 84  |
| Figura 39. Antena tipo Yagi.  | 85  |
| Figura 40. Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.               | 86  |
| Figura 41. Antenas Alámbricas: Dipolo y Circular.                           | 88  |
| Figura 42. Antena parabólica.   | 89  |
| Figura 43. Antena Yagi de 5 elementos.                                      | 89  |
| Figura 44. Sistemas de coordenadas esférico.                                | 94  |
| Figura 45. Diagrama de radiación tridimensional.                            | 96  |
| Figura 46. Directividad.  | 97  |
| Figura 47. Balance de potencia entre 2 antenas.                             | 106 |
| Figura 48. Efectos de la tierra en la propagación.                          | 110 |
| Figura 49. Efecto de la ionosfera.  | 111 |
| Figura 50. Estación de Radio.   | 113 |
| Figura 51. Función periódica $f_t$ con periodo $T$ .                        | 117 |
| Figura 52. El concepto de frecuencia instantánea.                           | 118 |
| Figura 53. Muestreo de una señal.   | 126 |
| Figura 54. a) Función de Bessel de primera clase. b) Espectro de FM.        | 129 |
| Figura 55. El BW de una señal de FM en función del índice de modulación.    | 132 |
| Figura 56. $\Delta f = 75$ KHZ.   | 133 |
| Figura 57. Órgano encargado de publicar el Diario Oficial de la Federación. | 135 |
| Figura 58. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.                      | 137 |
| Figura 59. Esquema de un Proceso.   | 146 |
| Figura 60. Diagrama de Venn de la jerarquía de procesos.                    | 148 |
| Figura 61. Bulbo YU148.   | 150 |
| Figura 62. Clasificación de los procesos.                                   | 151 |
| Figura 63. Diagrama Piramidal del Macroproceso.                             | 154 |
| Figura 64. Estación de radio completa.                                      | 160 |
| Figura 65. Terreno usado para construir un sitio de transmisores y torre.   | 162 |

|  |            |
|--|------------|
| Figura 66. Panel de espuma, Sheetblok y Rockwool. ....                               | 168        |
| Figura 67. 1. Locutores, 2. Operadores y 3. Grabación. ....                          | 169        |
| Figura 68. Nomenclatura para medidas de contratrabes. ....                           | 172        |
| Figura 69. Alzado Arquitectónico (fachada). ....                                     | 175        |
| Figura 70. 1) Sala de Operaciones. 2) Sala de Fuerza. 3) Área de Maniobras. ....     | 176        |
| Figura 71. Planta de azotea. ....  | 177        |
| Figura 72. Planta con escalerillas. ....   | 179        |
| Figura 73. Tipos de torres: a) Autosoportada. B) Arriostrada. ....                   | 182        |
| Figura 74. a) Base tipo pata de gallo. b) Tramo de torre. c) Remate de torre. ....   | 183        |
| Figura 75. (a) Retenidas. (b) Placas igualadoras. (c) Templadores. ....              | 184        |
| Figura 76. a) Guardacabos. B) Perno ojo. C) Cable para retenida. ....                | 185        |
| <b>Figura 77. a) Aisladores. b) Tornillos "perro". ....</b>                          | <b>186</b> |
| Figura 78. Terreno rectangular de 10.2 x 5.6 m. ....                                 | 188        |
| Figura 79. Ubicación de la torre para diferentes formas de terreno. ....             | 189        |
| Figura 80. Vista superior y lateral de la instalación de la torre. ....              | 189        |
| Figura 81. Cimiento de la Torre: zapata y dado. ....                                 | 191        |
| Figura 82. Alineación de anclas. ....  | 193        |
| Figura 83. Ancla: Zapata y perno ojo. ....   | 194        |
| Figura 84. Torre arriostrada con 4 tensores en un ancla en vista lateral. ....       | 194        |
| Figura 85. a) Base de torre. B) instalación de torre tramo a tramo. ....             | 197        |
| Figura 86. Instalación de sujetadores. ....  | 198        |
| Figura 87. a) Aisladores. b) Amarre en retenida. c) Amarre en ancla. ....            | 198        |
| Figura 88. Metodología del Proceso de Obra Civil. Parte 1. ....                      | 200        |
| Figura 89. Midiendo flujo de corriente en un centro de carga. ....                   | 202        |
| Figura 90. Diagrama del Sistema Eléctrico de la estación de radio. ....              | 203        |
| Figura 91. Acometida con voltaje menor a 600 V. ....                                 | 204        |
| Figura 92. Logotipo de la CFE. ....  | 205        |
| Figura 93. Interruptores de protección termomagnéticos. ....                         | 206        |
| Figura 94. Partes de la tierra física: a) Cable de tierras. b) Barra de tierra. .... | 208        |
| Figura 95. Sistema de tierra. ....   | 211        |
| Figura 96. Tipos de aparta rayos. ....   | 212        |
| Figura 97. Conmutador marca Ottomotores. ....  | 213        |
| Figura 98. Vista interior de una Planta de Emergencia. ....                          | 214        |
| Figura 99. Planta de emergencia marca Ottomotores. ....                              | 216        |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 100. Centro de carga. ....  | 217 |
| Figura 101. Metodología para la instalación del Sistema Eléctrico. ....    | 218 |
| Figura 102. Diagrama general del Proceso de Radiodifusión. ....            | 219 |
| Figura 103. Diagrama esquemático una estación de radio. ....               | 221 |
| Figura 104. Cabina de Locutores. ....                                      | 222 |
| Figura 105. Cabina de Operadores. ....                                     | 223 |
| Figura 106. Diagrama de un Radio Enlace. ....                              | 224 |
| Figura 107. Antena tipo Yagi. ....   | 225 |
| Figura 108. Procesador de audio con canales L, R y canales MPX. ....       | 226 |
| Figura 109. Excitador FM marca Yirecom de 30 W. ....                       | 227 |
| Figura 110. Transmisor de 50 W a 1 KW. ....                                | 228 |
| Figura 111. Transmisor de 2.5 KW a 5 KW. ....                              | 229 |
| Figura 112. Ejemplo de Transmisor de 10 KW a 40 KW. ....                   | 230 |
| Figura 113. Sistema de respaldo de Planta Transmisora. ....                | 230 |
| Figura 114. Fabricantes de transmisores. ....                              | 232 |
| Figura 115. Línea rígida con dieléctrico de aire. ....                     | 233 |
| Figura 116. Línea de transmisión flexible. ....                            | 234 |
| Figura 117. Conectores: a) Tipo 7/16 , b) Tipo N, c) Tipo BNC. ....        | 236 |
| Figura 118. Porción del catálogo Jampro Antennas. ....                     | 240 |
| Figura 119. Metodología de Radiodifusión. ....                             | 241 |
| Figura 120. Metodología DP-LGCD. ....                                      | 244 |
| Figura 121. Jules Henri Poincaré (1854-1912). ....                         | 245 |
| Figura 122. Diagrama General del Macroproceso del Caso de Estudio. ....    | 254 |
| Figura 123. Terreno de Radio Fórmula Guerrero en Acapulco. ....            | 257 |
| Figura 124. Vista desde la calle de Radio Fórmula. ....                    | 257 |
| Figura 125. Planta de Estudio de Radio Fórmula. ....                       | 258 |
| Figura 126. 1) Grabación. 2) Locutores. 3) Operadores. ....                | 259 |
| Figura 127. Sitio de Transmisores. ....                                    | 260 |
| Figura 128. Planta Arquitectónica del Sitio de Transmisores de Radio. .... | 261 |
| Figura 129. Planta Arquitectónica de la Planta de Emergencia. ....         | 261 |
| Figura 130. Armado de zapata y dado. ....                                  | 265 |
| Figura 131. Cimiento acabado. ....   | 266 |
| Figura 132. Armado del ancla. ....   | 266 |
| Figura 133. Acabado de zapata para retenida. ....                          | 267 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 134. Aplicación de pintura roja y blanca para señalización de torre. .... | 268 |
| Figura 135. Anclaje de la torre sobre la base de concreto. ....                  | 269 |
| Figura 136. A) Montaje. B) Ajuste de los tensores. ....                          | 269 |
| Figura 137. Transformador con capacidad de 150 KVA. ....                         | 271 |
| Figura 138. Centro de Cargas principal. ....                                     | 272 |
| Figura 139. Conmutador marca Ottomotores®. ....                                  | 273 |
| Figura 140. Generador con motor diésel. ....                                     | 274 |
| Figura 141. Diagrama General Eléctrico. ....                                     | 275 |
| Figura 142. Diagrama general de conexión del Proceso de Radiodifusión. ....      | 276 |
| Figura 143. Diagrama de conexión de la Cabina de Grabación. ....                 | 277 |
| Figura 144. Diagrama de Conexión de la Cabina de Locutores y Operadores. ....    | 281 |
| Figura 145. Cabina de Operadores (frente) y locutores (fondo). ....              | 281 |
| Figura 146. Procesador de audio Orban 5500 optimod. ....                         | 282 |
| Figura 147. Excitador RVR TEX 500LCD. ....                                       | 283 |
| Figura 148. Transmisor ECO-22 (centro). ....                                     | 284 |
| Figura 149. Diagrama a bloques del Transmisor ECO 22. ....                       | 285 |
| Figura 150. Revisión de las tarjetas de control del Tx ECO 22. ....              | 287 |
| Figura 151. Combinador de 2 a 1 y ducto de aire. ....                            | 287 |
| Figura 152. Conexión de las fases a la fuente de poder. ....                     | 288 |
| Figura 153. Diagrama de encendido del Tx ECO 22. ....                            | 289 |
| Figura 154. Colocación de la línea de transmisión Heliac de 1 5/8. ....          | 295 |
| Figura 155. Antena modelo JMPC-6 CF en su caja. ....                             | 297 |
| Figura 156. Numeración de tramos y acoplamientos de antena. ....                 | 298 |
| Figura 157. Acoplamiento de las antenas a las líneas rígidas. ....               | 299 |
| Figura 158. Antena montada sobre la Torre. ....                                  | 299 |
| Figura 159. Mapa de cobertura de la frecuencia 106.3 FM. ....                    | 300 |
| Figura 160. Diagrama del Macroproceso. ....                                      | 315 |
| Figura 161. Metodología DP-LGCD®. ....   | 324 |
| Figura 162. Metodología DP-LGCD®. ....   | 325 |
| Figura 163. Radio digital. ....  | 334 |
| Figura 164. Cara del dodecaedro. ....  | 347 |
| Figura 165. Área del Pentágono. ....   | 347 |
| Figura 166. Gregori Parelman (1966). ....  | 354 |
| Figura 167. Páginas por Capítulo. ....   | 484 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 168. Palabras por Sección.....  | 484 |
| Figura 169. Referencias por Letra..... | 485 |
| Figura 170. Referencias por Tipo.....  | 485 |

## 10.2 Ecuaciones.



| No.  | Descripción  | Pág |
|------|--|-----|
| 2.1  | Ley de Gauss para campo eléctrico en forma diferencial vectorial....             | 50  |
| 2.2  | Ley de Gauss para campo eléctrico en forma integral.....                         | 50  |
| 2.3  | Ley de Gauss para campo magnético en forma diferencial vectorial.                | 50  |
| 2.4  | Ley de Gauss para campo magnético en forma integral.....                         | 50  |
| 2.5  | Ley de Faraday en forma diferencial vectorial.....                               | 50  |
| 2.6  | Ley de Faraday en forma integral.....  | 50  |
| 2.7  | Ley de Ampère generalizada en forma diferencial vectorial.....                   | 50  |
| 2.8  | Ley de Ampère generalizada en forma integral.....                                | 50  |
| 2.9  | Velocidad de la luz en el vacío.....   | 50  |
| 2.10 | Operador gradiente se aplica a campos escalares.....                             | 51  |
| 2.11 | Divergencia de $\vec{A}$ .....   | 52  |
| 2.12 | Definición de la divergencia del campo vectorial $\vec{A}$ en el punto $P$ ..... | 53  |
| 2.13 | La divergencia en un sistema de coordenadas cartesianas.....                     | 54  |
| 2.14 | La divergencia en un sistema de coordenadas cartesianas.....                     | 56  |
| 2.15 | La divergencia en un sistema de coordenadas cartesianas.....                     | 56  |
| 2.16 | Rotacional de un campo vectorial $\vec{A}$ .....                                 | 56  |
| 2.17 | Rotacional de un campo vectorial $\vec{A}$ en coordenadas cartesianas.....       | 57  |
| 2.18 | Rotacional de un campo vectorial $\vec{A}$ en coordenadas cartesianas.....       | 58  |
| 2.19 | Rotacional de un campo vectorial $\vec{A}$ por medio de una matriz.....          | 59  |
| 2.20 | La divergencia de un rotacional es cero.....                                     | 59  |
| 2.21 | El rotacional de un gradiente es cero.....                                       | 59  |
| 2.22 | Teorema de Green en el Plano.....  | 61  |
| 2.23 | Campo vectorial bidimensional.....   | 63  |
| 2.24 | Forma vectorial del Teorema de Green en el Plano.....                            | 63  |
| 2.25 | Integral de una superficie cerrada.....  | 64  |
| 2.26 | Integral de una superficie cerrada.....  | 64  |
| 2.27 | Teorema de la divergencia.....   | 65  |
| 2.28 | Teorema de Stokes.....   | 66  |
| 2.29 | Densidad de flujo eléctrico ( $\vec{D}$ ).....                                   | 68  |
| 2.30 | Relación entre $\mathbf{B}$ y $\mathbf{H}$ .....                                 | 69  |
| 2.31 | Flujo magnético a través de una superficie $\mathbf{S}$ .....                    | 69  |
| 2.32 | El flujo en una superficie cerrada es igual a la carga cerrada.....              | 70  |
| 2.33 | Fuerza electromotriz (FEM).....  | 74  |
| 2.34 | Ley de Lenz.....   | 74  |
| 2.35 | FEM en forma integral.....   | 75  |
| 2.36 | Aplicando el teorema de Stokes a la integral de línea cerrada.....               | 76  |
| 2.37 | Ley de Ampère.....   | 77  |
| 2.38 | <b>Teorema de Stokes</b> en ecuación de la Ley de Ampère.....                    | 78  |
| 2.39 | Integral de línea encerrada.....   | 78  |
| 2.40 | Campo magnetostático no conservativo.....  | 78  |
| 2.41 | Potencia radiada.....  | 91  |

| <b>No.</b> | <b>Descripción</b>  | <b>Pág</b> |
|------------|---|------------|
| 2.42       | Potencia entregada.....   | 91         |
| 2.43       | Eficiencia de la antena.....  | 92         |
| 2.44       | <b>Densidad de flujo por unidad de superficie</b> .....   | 93         |
| 2.45       | <b>Densidad de potencia radiada</b> .....   | 94         |
| 2.46       | Potencia total radiada.....   | 94         |
| 2.47       | Intensidad de radiación y la densidad de potencia radiada.....  | 95         |
| 2.48       | Potencia total radiada.....   | 95         |
| 2.49       | Potencia total radiada en coordenadas esféricas.....  | 95         |
| 2.50       | Directividad.....   | 97         |
| 2.51       | Relación axial de una onda elípticamente polarizada.....  | 99         |
| 2.52       | Ancho de banda.....   | 99         |
| 2.53       | Banda ancha.....  | 99         |
| 2.54       | Coefficiente de reflexión.....  | 100        |
| 2.55       | Relación de onda estacionaria.....  | 100        |
| 2.56       | Impedancia de entrada de una <b>antenas</b> de banda estrecha.....  | 100        |
| 2.57       | Relación de frecuencias para el factor de calidad Q.....  | 100        |
| 2.58       | Ancho de banda al margen de frecuencias donde la relación de estacionaria es menor que un determinado valor <b>S</b> .....  | 100        |
| 2.59       | Ancho de banda cuando la resistencia de la antena coincide con la impedancia característica de la línea de transmisión..... | 101        |
| 2.60       | Impedancia de la antena.....  | 101        |
| 2.61       | Impedancia de carga.....  | 101        |
| 2.62       | Impedancia complejas conjugadas.....  | 102        |
| 2.63       | Impedancia complejas conjugadas máxima.....   | 102        |
| 2.64       | Impedancia complejas conjugadas máxima.....   | 102        |
| 2.65       | Coefficiente de desadaptación.....  | 102        |
| 2.66       | Área efectiva.....  | 102        |
| 2.67       | Área efectiva con la impedancia de carga, la adaptación y la polarización de la onda.....                                   | 103        |
| 2.68       | Longitud efectiva.....  | 103        |
| 2.69       | Área efectiva dependiente de la dirección angular.....  | 104        |
| 2.70       | Longitud efectiva variante proporcionalmente al diagrama de radiación del campo.....  | 104        |
| 2.71       | Densidad de potencia.....   | 105        |
| 2.72       | Densidad de potencia multiplicada por una antena isotrópica por la Directividad.....  | 105        |
| 2.73       | Potencia Isótropa Radiada Equivalente (PIRE).....   | 105        |
| 2.74       | Ecuación de transmisión de Friis.....   | 105        |
| 2.75       | Temperatura de Ruido de Antena.....   | 106        |
| 2.76       | Temperatura de antena general.....  | 107        |
| 2.77       | Propagación en el espacio libre.....  | 107        |
| 2.78       | Función sinusoidal generalizada.....  | 118        |
| 2.79       | Función sinusoidal ordinaria de frecuencia fija.....  | 119        |
| 2.80       | Frecuencia angular.....   | 119        |
| 2.81       | Ángulo $\theta(t)$ de una portadora.....  | 119        |
| 2.82       | Frecuencia instantánea $\omega_i$ .....   | 120        |
| 2.83       | Frecuencia instantánea $\omega_i$ para una portadora modulada en frecuencia.....  | 120        |

| <b>No.</b> | <b>Descripción</b>   | <b>Pág</b> |
|------------|--|------------|
| 2.84       | Integral de una frecuencia instantánea $\omega_i$ para una portadora modulada en frecuencia..... | 120        |
| 2.85       | Señal FM.....  | 121        |
| 2.86       | Portadora de FM.....   | 122        |
| 2.87       | Portadora de FM es expresada en su forma general.....  | 122        |
| 2.88       | Ecuación de Frecuencia modulada.....   | 123        |
| 2.89       | Ecuación de Amplitud modulada.....   | 123        |
| 2.90       | FM de banda angosta.....   | 124        |
| 2.91       | Ancho de banda $W$ .....   | 124        |
| 2.92       | Muestreo de Nyquist.....   | 126        |
| 2.93       | Frecuencia instantánea $\omega_i$ .....  | 126        |
| 2.94       | Máxima desviación de la frecuencia portadora.....  | 126        |
| 2.95       | Índice de modulación $m_f$ .....   | 127        |
| 2.96       | Índice de modulación $m_f$ en forma exponencial.....   | 127        |
| 2.97       | Función de Bessel de primera clase.....  | 128        |
| 2.98       | Integral tabulada par e impar.....   | 128        |
| 2.99a      | Ecuación modulante en frecuencia.....  | 128        |
| 2.99b      | Ecuación modulante en frecuencia.....  | 129        |
| 2.100      | El ancho de banda total $W$ .....  | 131        |
| 2.101      | El ancho de banda total $W$ exacta.....  | 131        |
| 2.102      | El ancho de banda de una señal de FM en función del índice de modulación.....                    | 132        |
| 2.103      | Ancho de banda aproximado.....   | 133        |
| 3.1        | Área total del terreno.....  | 159        |
| 3.2        | Área necesario para el sitio de transmisores.....  | 159        |
| 3.3        | Altura de la torre.....  | 190        |
| 3.4        | Eficiencia de la antena.....   | 342        |

## 10.3 Tablas.



---

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1. Ecuaciones de Maxwell. ....   | 50  |
| Tabla 2. Espectro Radioeléctrico. ....   | 87  |
| Tabla 3. Calibre de los conectores y su potencia asignada. ....                      | 235 |
| Tabla 4. Características técnicas registradas de la estación <b>106.3 MHz</b> . .... | 252 |
| Tabla 5. Requisitos de Obra Civil. ....  | 255 |
| Tabla 6. Parámetros autorizados por COFETEL. ....                                    | 262 |
| Tabla 7. Listado de equipo para Cabina de Grabación. ....                            | 278 |
| Tabla 8. Lista de equipos que conforman la Cabina de Locutores. ....                 | 279 |
| Tabla 9. Tabla de equipo de la Cabina de Operadores. ....                            | 280 |
| Tabla 10. Medición de las tres fases del Transmisor ECO 22. ....                     | 291 |
| Tabla 11. Medición del Power Out del Transmisor ECO 22. ....                         | 292 |
| Tabla 12. Medición de los IPAs 1, 2, 3 y 4 del Transmisor ECO 22. ....               | 292 |
| Tabla 13. Parámetros de la antena. ....  | 296 |
| Tabla 14. Características del Dodecaedro. ....                                       | 348 |

## 10.4 General.



---

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Introducción.....</b>             | <b>14</b> |
| 1.1 Problemática.....                   | 20        |
| 1.2 Objeto y Competencia.....           | 22        |
| 1.3 Objetivo y Caso de Estudio.....     | 28        |
| 1.4 Preguntas y Tareas.....             | 29        |
| 1.5 Métodos e Hipótesis.....            | 31        |
| 1.6 Aportación y Novedad.....           | 33        |
| 1.7 Capitulado.....                     | 34        |
| <br>                                    |           |
| <b>2. Fundamentos.....</b>              | <b>38</b> |
| 2.1 Filosóficos.....                    | 39        |
| 2.2 Teóricos.....                       | 47        |
| 2.2.1 Teoría Electromagnética.....      | 47        |
| 2.2.1.1 Operadores Vectoriales. ....    | 51        |
| 2.2.1.2 Teoremas Vectoriales. ....      | 60        |
| 2.2.1.3 Ecuaciones de Maxwell.....      | 67        |
| 2.2.2 Sistemas de Comunicación.....     | 79        |
| 2.2.2.1 Medios Tx Alámbricos. ....      | 82        |
| 2.2.2.2 Medios Tx Inalámbricos. ....    | 85        |
| 2.2.2.2.1 Parámetros de Antenas Tx..... | 90        |
| 2.2.2.2.2 Parámetros de Antenas Rx..... | 101       |
| 2.2.3 Radiocomunicación.....            | 112       |
| 2.2.3.1 Modulación y Demodulación. .... | 114       |
| 2.2.3.2 Modulación Angular. ....        | 116       |
| 2.2.3.3 FM de Banda Ancha. ....         | 123       |
| 2.2.3.4 Comparativa AM y FM. ....       | 134       |
| 2.3 Marco Legal.....                    | 135       |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| <b>2.4 Estado Actual.....</b> | <b>140</b> |
|-------------------------------|------------|

## **3. Proceso de Instalación.....143**

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| <b>3.1 Generalidades.....</b> | <b>144</b> |
|-------------------------------|------------|

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| <b>3.2 Macroproceso.....</b> | <b>153</b> |
|------------------------------|------------|

|  |            |
|--|------------|
| <b>3.3 Obra Civil y Subprocesos.....</b> | <b>155</b> |
|--|------------|

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 3.3.1 Elección del Terreno..... | 156 |
|---------------------------------|-----|

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 3.3.2 Estudio de Radio..... | 163 |
|-----------------------------|-----|

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 3.3.3 Sitio de Transmisores..... | 170 |
|----------------------------------|-----|

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 3.3.4 Torre de Comunicación..... | 180 |
|----------------------------------|-----|

|   |            |
|---|------------|
| <b>3.4 Sistema Eléctrico y Subprocesos.....</b> | <b>202</b> |
|---|------------|

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 3.4.1 Acometida..... | 204 |
|----------------------|-----|

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 3.4.2 Protección..... | 206 |
|-----------------------|-----|

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 3.4.3 Conmutación..... | 213 |
|------------------------|-----|

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 3.4.4 Generación..... | 214 |
|-----------------------|-----|

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 3.4.5 Distribución..... | 217 |
|-------------------------|-----|

|   |            |
|---|------------|
| <b>3.5 Radiodifusión y Subprocesos.....</b> | <b>219</b> |
|---|------------|

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 3.5.1 Ensamble..... | 220 |
|---------------------|-----|

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 3.5.1.1 Grabación..... | 220 |
|------------------------|-----|

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 3.5.1.2 Locutores..... | 222 |
|------------------------|-----|

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 3.5.1.3 Operadores..... | 223 |
|-------------------------|-----|

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 3.5.2 Transmisión FM..... | 224 |
|---------------------------|-----|

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 3.5.2.1 Procesador..... | 226 |
|-------------------------|-----|

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 3.5.2.2 Excitador..... | 227 |
|------------------------|-----|

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 3.5.2.3 Transmisor..... | 228 |
|-------------------------|-----|

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 3.5.2.4 Líneas..... | 233 |
|---------------------|-----|

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 3.5.2.5 Antena..... | 238 |
|---------------------|-----|

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| <b>3.6 Metodología DP-LGCD®.....</b> | <b>242</b> |
|--------------------------------------|------------|

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| <b>4. Caso de Estudio. ....</b>    | <b>247</b> |
| <b>4.1 Selección.....</b>          | <b>248</b> |
| <b>4.2 Macroproceso.....</b>       | <b>253</b> |
| <b>4.3 Obra Civil. ....</b>        | <b>255</b> |
| 4.3.1 Predio: Cumbres.....         | 256        |
| 4.3.2 Estudio de Radio.....        | 258        |
| 4.3.3 Sitio de Transmisores.....   | 260        |
| 4.3.4 Torre Arriostrada.....       | 262        |
| <b>4.4 Sistema Eléctrico. ....</b> | <b>271</b> |
| 4.4.1 Acometida.....               | 271        |
| 4.4.2 Protección.....              | 272        |
| 4.4.3 Conmutación.....             | 273        |
| 4.4.4 Generación.....              | 274        |
| 4.4.5 Distribución.....            | 275        |
| <b>4.5 Radiodifusión. ....</b>     | <b>276</b> |
| 4.5.1 Ensamble.....                | 277        |
| 4.5.1.1 Grabación.....             | 277        |
| 4.5.1.2 Locutores.....             | 279        |
| 4.5.1.3 Operadores.....            | 280        |
| 4.5.2 Transmisión FM.....          | 282        |
| 4.5.2.1 Procesador.....            | 282        |
| 4.5.2.2 Excitador.....             | 283        |
| 4.5.2.3 Transmisor.....            | 284        |
| 4.5.2.4 Líneas.....                | 293        |
| 4.5.2.5 Antena.....                | 296        |
| <b>4.6 Síntesis. ....</b>          | <b>301</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>5. Conclusiones y Recomendaciones....</b> | <b>307</b> |
| 5.1 Conclusiones.....                        | 308        |
| 5.2 Recomendaciones. ....                    | 327        |
| <b>6. Líneas, Alcance y Trabajos.....</b>    | <b>329</b> |
| 6.1 Alcance Tecnológico.....                 | 330        |
| 6.2 Líneas de investigación.....             | 332        |
| 6.3 Trabajos Futuros.....                    | 334        |
| <b>7. Anexos. ....</b>                       | <b>337</b> |
| 7.1 Autorización Señal FM.....               | 338        |
| 7.2 Elementos de Antena. ....                | 343        |
| 7.3 Conjetura de Poincaré.....               | 344        |
| <b>8. Referencias.....</b>                   | <b>357</b> |
| A.....                                       | 359        |
| B.....                                       | 360        |
| C.....                                       | 361        |
| D.....                                       | 361        |
| E.....                                       | 362        |
| F.....                                       | 362        |
| G.....                                       | 363        |
| H.....                                       | 364        |
| I.....                                       | 365        |
| J.....                                       | 365        |
| K.....                                       | 366        |
| L.....                                       | 366        |
| M.....                                       | 367        |

|                |            |
|----------------|------------|
| <b>N</b> ..... | <b>368</b> |
| <b>O</b> ..... | <b>368</b> |
| <b>P</b> ..... | <b>369</b> |
| <b>Q</b> ..... | <b>369</b> |
| <b>R</b> ..... | <b>370</b> |
| <b>S</b> ..... | <b>371</b> |
| <b>T</b> ..... | <b>372</b> |
| <b>U</b> ..... | <b>372</b> |
| <b>V</b> ..... | <b>372</b> |
| <b>W</b> ..... | <b>373</b> |
| <b>Z</b> ..... | <b>373</b> |

**9. Fichas Bibliográficas..... 375**

|                |            |
|----------------|------------|
| <b>A</b> ..... | <b>377</b> |
| <b>B</b> ..... | <b>381</b> |
| <b>C</b> ..... | <b>387</b> |
| <b>D</b> ..... | <b>392</b> |
| <b>E</b> ..... | <b>395</b> |
| <b>F</b> ..... | <b>400</b> |
| <b>G</b> ..... | <b>403</b> |
| <b>H</b> ..... | <b>407</b> |
| <b>I</b> ..... | <b>412</b> |
| <b>J</b> ..... | <b>416</b> |
| <b>K</b> ..... | <b>418</b> |
| <b>L</b> ..... | <b>421</b> |
| <b>M</b> ..... | <b>424</b> |
| <b>N</b> ..... | <b>430</b> |
| <b>O</b> ..... | <b>433</b> |
| <b>P</b> ..... | <b>435</b> |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| <b>Q</b> .....                       | <b>440</b> |
| <b>R</b> .....                       | <b>442</b> |
| <b>S</b> .....                       | <b>446</b> |
| <b>T</b> .....                       | <b>451</b> |
| <b>U</b> .....                       | <b>455</b> |
| <b>V</b> .....                       | <b>457</b> |
| <b>W</b> .....                       | <b>459</b> |
| <b>Z</b> .....                       | <b>462</b> |
| <br>                                 |            |
| <b>10. Índices.</b> .....            | <b>465</b> |
| <b>10.1 Figuras.</b> .....           | <b>466</b> |
| <b>10.2 Ecuaciones.</b> .....        | <b>472</b> |
| <b>10.3 Tablas.</b> .....            | <b>475</b> |
| <b>10.4 General.</b> .....           | <b>476</b> |
| <br>                                 |            |
| <b>11. Ficha Técnica.</b> .....      | <b>483</b> |
| <br>                                 |            |
| <b>12. Acerca de.</b> .....          | <b>487</b> |
| <b>12.1 Autores.</b> .....           | <b>488</b> |
| Catalán Soriano Josimar. ....        | 488        |
| Gallardo Basurto Miguel Ángel. ....  | 489        |
| López Vera Raffra Emir. ....         | 490        |
| <b>12.2 Asesor.</b> .....            | <b>491</b> |
| Dávila Zurita Francisco Narcés. .... | 491        |



# **11. Ficha Técnica.**

# 11. Ficha Técnica.



Referencia: López, Gallardo y Catalán (2015).  
Autor(es): López Vera Raffra Emir, Gallardo Basurto Miguel Ángel y Catalán Soriano Josimar.

Título: **Proceso de instalación de una señal de FM mediante un caso de estudio.**

Derechos: Autores y Universidad Americana de Acapulco A.C.

No. de capítulos: 12.

No. de páginas: 492.

No. de palabras: 66,954.

Material: Archivo de lectura.

Tipo: Adobe® Acrobat® Document.

Tamaño: 17,2037 KB.

Material de origen: Archivo de texto.

Tipo: Documento de Microsoft® Office® Word®.

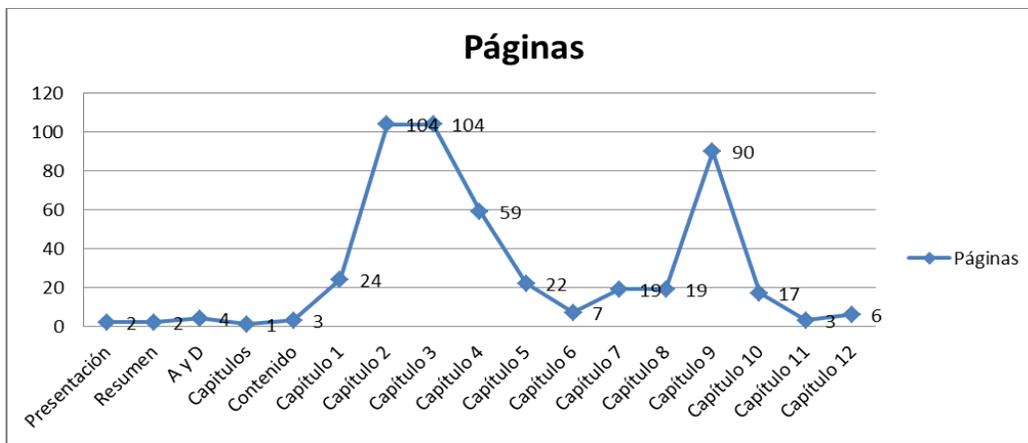
Tamaño: 70,797 KB.

Descripción: La Tesis trata acerca de la puesta en marcha de una Señal de Radio, usando como Caso de Estudio la Frecuencia XHACA-FM 106.3 MHz, concesionada a la empresa Grupo Fórmula en Acapulco, Guerrero, México; el análisis se basa en la Ingeniería de Procesos, describiendo como Procesos principales —dentro del Macroproceso de la Instalación— a la Obra Civil, así como los Sistemas Eléctrico y de Transmisión; fundamentado en un Enfoque Tecno-Metafísico general, y Óptico-Tecnológico particular para las Radiocomunicaciones; dando como resultado la propuesta de la Metodología DP-LGCD®, inspirada en el Espacio Dodecaédrico de Poincaré, como una posible solución para la instalación de este tipo de señales y que fue exitosa en el caso estudiado; abriendo la posibilidad de adaptar esta misma metodología para los nuevos Sistemas de Transmisión Digital.

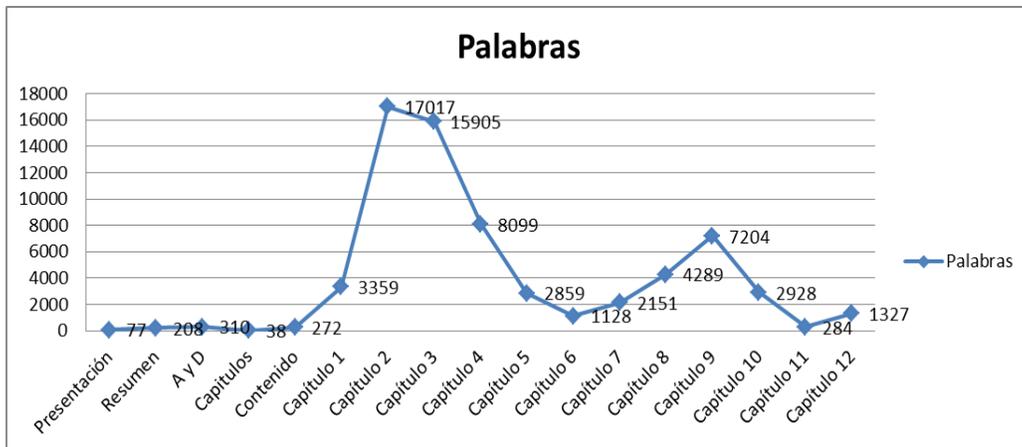
Hardware: Laptop Toshiba® Satellite L855D, Procesador AMD® A10-4600M APU with Raedon™ HD Graphics 2.30 Ghz. Memoria RAM de 8.00 GB; Impresora HP Ink 1800.

Software: S.O. Windows 8.1® 64 bits, procesador x64, id: 00179-40239-98190-AAOEM; Microsoft® Office® Word® 2010, Microsoft® Office® Power Point® 2010, Microsoft® Office® Excel®, todos versión 14.0.71.47.5001 (32 bits) con id: 02260-018-0000106-48531 parte de Microsoft® Office Professional Plus 2010, ©2010 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos; Smartdraw® 7; Adobe® Acrobat® X versión 10.1.12.

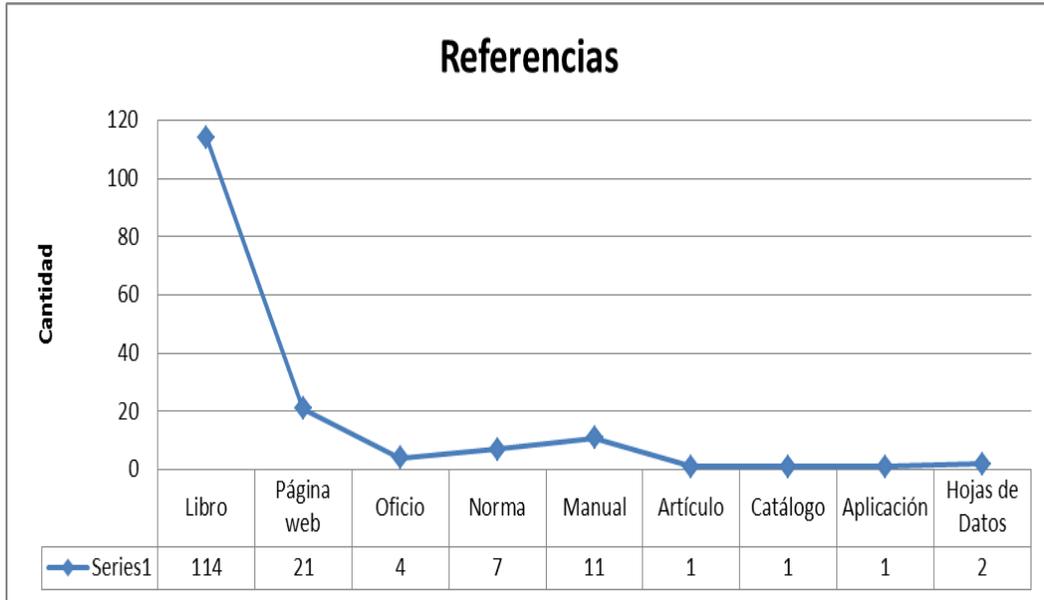
### Gráficas:



**Figura 167.** Páginas por Capítulo.



**Figura 168.** Palabras por Sección.



**Figura 169.** Referencias por Letra.



**Figura 170.** Referencias por Tipo.



## **12. Acerca de.**



## **12. Acerca de.**

---



### **12.1 Autores.**

Catalán Soriano Josimar.

Gallardo Basurto Miguel Ángel.

López Vera Raffra Emir.

### **12.2 Asesor.**

Dávila Zurita Francisco Narcés.

## 12.1 Autores.



### Catalán Soriano Josimar.



Hasta ahora comprendo que todo el tiempo invertido para elaborar este trabajo de investigación, valió la pena. Valió la pena y más que eso, valió todo el esfuerzo realizado durante ¡10 años! Si, ya casi 10 años desde que empecé la universidad. Sé que es un largo periodo de tiempo, pero la calidad es la calidad y necesita algunos años para obtenerla. A partir de la elaboración de esta tesis, con mis compañeros de carrera, comprendí que la calidad cuesta, cuesta tiempo, tiempo que la vida te regresa en forma de frutos, y esta obra es uno de mis primeros frutos: "Proceso de Instalación de una Señal de FM mediante un Caso de Estudio". Ahora mi querido lector permíteme contarte acerca de mi vida académica. En el año de 1992, estudié en la Escuela Primaria Hermandad México Israel; después en 1998, estudié en la Escuela Secundaria Técnica No. 194. Luego, continué mi escolaridad en la preparatoria Colegio Simón Bolívar. En aquel punto de mi vida, es cuando surgió el interrogante: ¿qué carrera profesional estudiaría? Analizando mis talentos y las diferentes carreras ofrecidas en el puerto, elegí la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones que proporcionaba la Universidad Americana de Acapulco (UAA), y en el 2004 inicié con dichos estudios. Dentro de esta etapa, y por parte de la universidad, realicé mi servicio social en el Organismo Público Descentralizado, Radio y Televisión de Guerrero (OPD RTG) donde tuve la oportunidad de aprender las tecnologías de radio y televisión. Fue en ese tiempo donde tuve interés por especializarme en televisión. Cuando terminé la universidad, en el año 2009, los ingenieros de RTG me hacen saber de una plaza vacante en la empresa TV Azteca, donde me presenté y obtuve el trabajo. Hoy en día sigo laborando dentro de estas instalaciones, en el puesto de operador de señal de estación repetidora, pero no me quiero conformar, tengo el deseo ferviente de escalar dentro de la empresa o buscar otras alternativas donde pueda crecer, y pueda explotar el potencial generado con la experiencia que me dejó la elaboración de esta investigación. Mi estimado lector, espero que al leer estas líneas, yo lo pueda motivar a redactar una tesis con calidad, ya que le ayudará en mucho, sino es que en todo a lo referente a ser profesional, profesional en lo que sea que te dediques y donde sea que labores. Espero que esta tesis te guíe en tus instalaciones.



---

## **Gallardo Basurto Miguel Ángel.**



Nací en el cálido lugar de Carrizo: Acapulco, Guerrero, México, el segundo día del doceavo mes del año MCMLXXXVI. Egresado del CBTis 14, estudié en la Universidad Americana de Acapulco la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones incorporada a la UNAM, del 2004 al 2009. Actualmente trabajo en el departamento de comunicaciones de una compañía y en una unidad académica; además participo en la Iglesia Juan 3:16 sirviendo al Señor Jesús.

Amigo estudiante, técnico o ingeniero, espero que esta investigación te sirva de guía práctica, que la tesis te genere un panorama claro y amplio de lo que involucra la instalación de una señal de radio FM, y que al mismo tiempo te motive a seguir cualquiera de las líneas de investigación sugeridas en el capítulo 6. La propuesta es que tú también seas participe y pongas tu granito de arena en este tema.

*"Más a Dios gracias, el cual nos lleva siempre en triunfo en Cristo Jesús"*

*-2 de Corintios 2:14a*



---

## **López Vera Raffra Emir.**



Francamente, la elaboración de esta investigación, fue para mí un verdadero reto. Redactar esta tesis conllevó de mi parte un gran esfuerzo que veo reflejado en estas páginas, en las cuales, mi estimado lector, espero sean de mucha ayuda en tus instalaciones de radiodifusión. Estimado amigo que estás leyendo acerca de un servidor, permíteme contarte de manera breve mi formación académica. En 1992 estudié en el CONALEP plantel II, dónde cursé como técnico en Electrónica Industrial. En el año 2003, Estudié en la Universidad Americana de Acapulco (UAA) la carrera de Ingeniería en telecomunicaciones, la cual está incorporada a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Dentro de mi estancia en la universidad, realicé mi servicio social en Radio y Televisión de Guerrero, donde colaboré en el departamento de televisión, pero el hacer el servicio no fue suficiente para mí. Después, participé con mis prácticas profesionales en la misma dependencia, pero ahora en el departamento de radio. Este departamento fue el parte aguas, que me hizo inclinarme a trabajar sobre esta línea, y es que los ingenieros de este departamento me recomendaron con los ingenieros de Radio Fórmula Guerrero cuando surgió una oportunidad de trabajo en el departamento de ingeniería de aquella radiodifusora. Hoy en día trabajo en esta dependencia, donde participo como Director Regional de Ingeniería. Debo reconocer que estoy ganando experiencia, y en mi estancia en esta empresa me he dado cuenta que no existen manuales que guíen al personal para llevar a cabo la instalación de los equipos de radiodifusión desde cero, de manera sencilla y explícita. Es por esto que me siento orgulloso de haber realizado esta tesis, que puede ser usada por alumnos, técnicos e ingenieros de esta rama de la ingeniería, y así formar un panorama general en ellos de lo que conlleva el "Proceso de instalación de una señal de FM". Ahora, me guío en este trabajo de investigación para resolver de manera más rápida y sencilla cualquier instalación y trámite legal en la instalación de nuevas frecuencias, incluso me sirve para asesorar a otros colegas.

Amigo lector, espero que esta tesis te sirva de mucho, te guíe, y si es posible que la puedas complementar siguiendo alguna de las líneas de investigación presentadas en el capítulo 6. Esta tesis es para ti, me despido esperando saber que estas líneas hayan despertado tu interés.

## 12.2 Asesor.

---



### **Dávila Zurita Francisco Narcés.**



Nace en Acapulco de Santa Lucía, Guerrero, México de San Felipe de Jesús, el día Sábado en la fiesta de María Santísima y en particular de San Antonio María Zaccaría (1502-1539), el 5 de Julio de 1975, año del Señor. De fe católica, ha sido bautizado, confirmado, reconciliado, comulgado, hijo y hermano, casado con dos hijos y extremaungido. Ha sido Cursillista y Adorador Nocturno Activo. Ha estudiado cosas de matemáticas y electrónica a nivel de postgrado. Trabaja en instituciones de nivel medio superior, superior y postgrado. Ha dirigido trabajos de investigación.



**Esta tesis se terminó de elaborar el día 21 de Mayo del año 2015, a las 16:10 horas, de la zona horaria (UTC-06:00), en la ciudad de Acapulco, Guerrero, México, de América, en el planeta tierra, del sistema solar, perteneciente a la Vía Láctea del universo conocido.**