



**UNIVERSIDAD NACIONAL**

**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**“TELEFONÍA SATELITAL:**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**P R E S E N T A:**

**ASESOR: ING. MARCELO BASTIDA TAPIA**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO.**

**2006**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

**Te agradezco señor por llenarme de oportunidades en mi vida así como permitirme aprovecharlas al máximo.**

**Gracias Mamá por todo tu apoyo incondicional, por tus sabios consejos por tus desvelos, por escuchar mis teorías y ayudarme a razonarlas te dedico este título a ti.**

**Gracias Papá por tu apoyo en mi vida y por hacerme una persona con valores.**

**A mis hermanos Juan Carlos y Héctor Manuel que no dejaron que me diera por vencido y me dieron todo su apoyo incondicional, les**

**Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México por formarme profesionalmente.  
“ Por Mi Sangre Azul y Mi Piel Dorada” toda**

**Al Ing. Marcelo por todo su apoyo en la realización de este trabajo de tesis le doy las gracias.**

**A los profesores Coronel y Patlan por todos sus consejos y su apoyo en mis lagunas de información, les agradezco el favor de dedicarme su tiempo.**

**A mis amigos con quienes he disfrutado de momentos placenteros y llenos de alegría así como su apoyo y buenos consejos: Jesica, German, Carlos “Flaco”, Diana, Erika, Angeles, Claudia, Ernesto, Gilberto, Imelda, Leonides, Fabiola, Carlos, Israel, Cecilia, José Luis y por los que me faltaron.**

**A mis amigos los Super Chuys de Alberto “Presi”, Jaime “Saya”, Alejandro “Cuas”, por todo su apoyo en los malos y en los buenos ratos en que han estado conmigo.**

**A mis muy buenas amigas Alejandra y Noemi por darme una mano de apoyo en mi estancia en Xhala.**

“El miedo no permite al hombre desarrollarse plenamente, quien tiene valor y enfrenta las situaciones adversas, es capaz de lograr lo imposible”

**MARIO ALBERTO VERGARA ALCALÁ**

***Con todo cariño a dos Ángeles: Abuela Delfina y Tía Meche***

# ÍNDICE

<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>i</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>ii</b>
 <b>CAPITULO I SATELITES</b>	
<b>1.1 HISTORIA DE LA COMUNICACION VIA SATELITE.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 SATELITES.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1 Satélites Meteorológicos.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.2 Satélites de Navegación.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.3 Satélites de Comunicación. ....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.4 Satélites Científicos.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.5 Satélites Militares. ....</b>	<b>9</b>
<b>1.3 ESTRUCTURA DE UN SATELITE. ....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.1 Módulo de comando y datos.....</b>	<b>10</b>
<b>1.3.2 Módulo de control de navegación.....</b>	<b>11</b>
<b>1.3.3 Módulo de alimentación.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3.4 Módulo de carga útil.....</b>	<b>12</b>

<b>1.3.5 Módulo de comunicaciones.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3.6 Módulo de control térmico. ....</b>	<b>13</b>
<b>1.4 ORBITAS.....</b>	<b>14</b>
<b>1.4.1 Tipos de Elevación de los Satélites.....</b>	<b>14</b>
<b>1.4.1.1 Orbita Geoestacionaria. ....</b>	<b>15</b>
<b>1.4.1.2. Orbita Media (MEO). ....</b>	<b>15</b>
<b>1.4.1.2.1 Satélites de Orbita Media Elíptica.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4.1.3 Orbita Baja (LEO). ....</b>	<b>17</b>
<b>1.4.1.3.1 Satélites de Orbita Baja (LEO). ....</b>	<b>17</b>
<b>1.4.1.3.2 Satélites de Orbita baja Polar.....</b>	<b>17</b>
<b>1.4.2 Selección de orbita.....</b>	<b>18</b>
<b>1.4.3 Inclinación Orbital.....</b>	<b>21</b>
<b>1.5 SISTEMAS MOVILES.....</b>	<b>21</b>
<b>1.6 COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SATÉLITES.....</b>	<b>22</b>
<b>1.7 COMUNICACIONES CON SATÉLITES LEO.....</b>	<b>23</b>

1.7.1 Sistemas de satélites “little-LEO” .....	23
1.7.2 Sistemas de satélites "big-LEO" .....	24
1.7.3 Hand-off. ....	24
1.7.4 Enlaces Inter-satélites (Intersatellite link [ ISL ]). ....	25
1.7.5 Haces puntuales. ....	26

## **CAPITULO II SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR SATELITE.**

2 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR SATELITE.....	29
2.1 ANGULO VISUAL DE UNA ANTENA. ....	29
2.1.2 Angulo de elevación.....	30
2.1.3 Angulo azimut. ....	31
2.1.4 Limite de visibilidad. ....	31
2.2 PATRON DE RADIACION DE ANTENAS.....	32
2.2.1 Haces puntuales (spot-beam).....	33
2.2.2 Haces Hemisféricos. ....	34
2.2.3 Haces Globales.....	34
2.2.4 Reuso. ....	34

<b>2.2.5 Huellas (Coberturas).</b> .....	<b>35</b>
<b>2.3 SISTEMA SATELITAL.</b> .....	<b>37</b>
<b>2.3.1 Enlace de subida.</b> .....	<b>38</b>
<b>2.3.2 Transpondedor.</b> .....	<b>39</b>
<b>2.3.3 Enlace de bajada.</b> .....	<b>39</b>
<b>2.4 PARAMETROS DEL SISTEMA SATELITAL...</b> .....	<b>40</b>
<b>2.4.1 Perdida por reducción.</b> .....	<b>40</b>
<b>2.4.2 Potencia de transmisión y energía de bit...</b> .....	<b>40</b>
<b>2.4.3 Potencia efectiva irradiada isotrópicamente PIER.....</b>	<b>41</b>
<b>2.5 TEMPERATURA EQUIVALENTE DE RUIDO.....</b>	<b>42</b>
<b>2.5.1 Densidad de ruido.....</b>	<b>43</b>
<b>2.6 RED DE COMUNICACIONES PERSONALES.....</b>	<b>44</b>
<b>2.6.1 Altas Frecuencias.....</b>	<b>45</b>
<b>2.7 MODULACION.</b> .....	<b>46</b>
<b>2.7.1 Modulación digital.....</b>	<b>47</b>

2.7.1.1 Transmisión por Desplazamiento De Frecuencia (FSK Phase Shift Keying). .....	48
2.7.2 Codificación M-aria. ....	48
2.7.2.1 Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM Qadrature Amplitude Modulation). ....	49
2.7.2.2 Transmisión por Desplazamiento de Fase Cuaternaria (QPSK Quaternary Frequency Shift Keying). ....	50
2.8 TECNICAS DE ACCESO MULTIPLE.....	51
2.8.1 Técnicas de Acceso Múltiple en sistemas de satélites.....	54
2.8.2 Consideraciones sobre tráfico. ....	55
2.8.3 Tráfico en constelaciones globales de satélites. ....	55
2.8.4 Efecto de la posición del satélite de relación señal a interferencia (SIR).....	56
2.8.4.1 Efecto de la no uniformidad del tráfico de usuario relación señal a interferencia (SIR).....	57
2.8.5 Control de la asignación del tráfico.....	58
2.8.6 Identificación de satélites.....	59
2.8.7 Comandos.....	60

<b>2.8.8 Telemetría. ....</b>	<b>60</b>
<b>2.9 SISTEMAS DE COMUNICACION PERSONAL. ....</b>	<b>61</b>
<b>2.9.1 Sistema Globalstar. ....</b>	<b>61</b>
<b>2.9.2 Sistema Odyssey. ....</b>	<b>61</b>
<b>2.9.3 Sistema NOAA. ....</b>	<b>61</b>
<b>2.9.4 Sistema de Posicionamiento Global GPS. ....</b>	<b>62</b>
<b>2.9.5 Otros sistemas de comunicaciones móviles vía satélite.....</b>	<b>63</b>

### **CAPITULO III SISTEMA IRIDIUM.**

<b>3 SISTEMA IRIDIUM.....</b>	<b>65</b>
<b>3.2 SEGMENTOS DEL SISTEMA IRIDIUM.....</b>	<b>67</b>
<b>3.3 SATELITE IRIDIUM. ....</b>	<b>68</b>
<b>3.4 BUS. ....</b>	<b>69</b>
<b>3.5 MODULO DE COMUNICACIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>3.5.1 Antenas de comunicación con la puerta de enlace.....</b>	<b>72</b>
<b>3.5.2 Antenas de comunicación entre satélites. ....</b>	<b>73</b>
<b>3.5.3 Antenas de telemetría y control. ....</b>	<b>74</b>

3.5.3.1 Control. ....	75
3.5.4 Antena de misión principal. ....	76
3.5.4.1 Calidad y capacidad de la antena MMA. ....	80
3.5.4.2 CELDAS. ....	81
3.6 CONECTIVIDAD DE LA RED. ....	83
3.7 CONEXION INTERSATELITE EN IRIDIUM (Inter Satellite Link, ISL).....	84
3.8 TÉCNICA DE ACCESO EN SISTEMA IRIDIUM. ....	86
3.8.1 Desempeño de la red. ....	88
3.9 MODULACION DE LA SEÑAL. ....	89
 <b>CAPITULO IV SEGMENTO TERRESTRE DE SISTEMA IRIDIUM.</b>	
4 SEGMENTO TERRESTRE DE SISTEMA IRIDIUM. ....	91
4.1 SEGMENTO DE CONTROL DEL SISTEMA. ....	92
4.1.1 Control de Red. ....	92
4.2 PUERTA DE ENLACE (GATEWAY).....	94
4.3 LA UNIDAD DE MULTICAMBIOS (Multi Exchange Unit MXU).....	95

<b>4.4 TELEFONO MOTOROLA 9505 PARA SISTEMA IRIDIUM. ....</b>	<b>97</b>
<b>4.4.1 Antena Cuadrifilar Helicoidal.....</b>	<b>99</b>
<b>4.4.2 Características.....</b>	<b>100</b>
<b>4.4.3 Duración de la Batería. ....</b>	<b>101</b>
<b>4.4.3 Características de Llamada. ....</b>	<b>101</b>
<b>4.4.4 Control de Uso. ....</b>	<b>101</b>
<b>4.5 ENLACE A TELÉFONO PORTÁTIL.....</b>	<b>101</b>
<b>4.6 PROCESO DE UNA LLAMADA. ....</b>	<b>102</b>
<b>CAPITULO V DISTRIBUCION DE SERVICIO IRIDIUM.</b>	<b>103</b>
<b>5 DISTRIBUCION DE SERVICIO IRIDIUM.....</b>	<b>108</b>
<b>5.1 VAR (Value Added Reseller) .....</b>	<b>108</b>
<b>5.2 VAM (Value Added Manufacturer) .....</b>	<b>108</b>
<b>5.3 VAD (Value Added Developer).....</b>	<b>109</b>
<b>5.4 SERVICIO PROPORCIONADO AL DEPARTAMENTO DE DEFENSA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA .....</b>	<b>109</b>
<b>5.5 SATÉLITES EN EL ÁREA DE LOS MULTIMEDIOS. ....</b>	<b>110</b>
	<b>110</b>

<b>5.6 TERMINAL DE USUARIO.....</b>	
	<b>111</b>
<b>5.7 TELEDESIC.....</b>	
	<b>113</b>
<b>5.8 CELESTRI.....</b>	
	<b>114</b>
<b>5.9 LA TELEFONIA SATELITAL EN LA ACTUALIDAD.....</b>	
	<b>115</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	
	<b>117</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	
	<b>120</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	
	<b>128</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPITULO I

<b>Fig.1.1 Luna utilizada como satélite pasivo. ....</b>	<b>2</b>
<b>Fig. 1.2 Globo Echo 1. ....</b>	<b>3</b>
<b>Fig. 1.3 Cohete Atlas-Score. ....</b>	<b>4</b>
<b>Fig. 1.4 Satélite Sputnik 1. ....</b>	<b>4</b>
<b>Fig. 1.5 Satélite Courier 1B. ....</b>	<b>4</b>
<b>Fig. 1.6 Satélite de la serie Molniya. ....</b>	<b>5</b>

<b>Fig. 1.7 Ciclo de transmisión Transmisor, Satélite, Receptor. ....</b>	<b>8</b>
<b>Fig. 1.8 Componentes de un satélite. ....</b>	<b>10</b>
<b>Fig. 1.9 Tipos de Orbitas según su elevación. ....</b>	<b>15</b>
<b>Fig. 1.10 Receptor, satélite y señal. ....</b>	<b>16</b>
<b>Fig. 1.11 Satélite en Orbita Media Elíptica. ....</b>	<b>16</b>
<b>Fig. 1.12 Satélites en Orbita Baja. ....</b>	<b>17</b>
<b>Fig. 1.13 Área cubierta por un satélite en órbita GEO. ....</b>	<b>19</b>
<b>Fig. 1.14 Cobertura de satélites de orbita Baja. ....</b>	<b>20</b>
<b>Fig. 1.15 Ejemplo de la Inclinación Orbital de un satélite. ....</b>	<b>21</b>
<b>Fig. 1.16 Enlace Inter-Satélites (Intra-Orbita). ....</b>	<b>25</b>
<b>Fig.1.17 Enlace Inter-Satélites (Inter-Orbita). ....</b>	<b>26</b>
<b>Fig. 1.18 Representación visual de un haz. ....</b>	<b>27</b>

## **CAPITULO II**

<b>Fig. 2.1 Sistema de transmisión. ....</b>	<b>29</b>
<b>Fig. 2.2 Punto Subsatelital. ....</b>	<b>30</b>
<b>Fig. 2.3 Az.- Angulo azimut, El.- Angulo de elevación. ....</b>	<b>31</b>

<b>Fig. 2.4 Limite de visibilidad. ....</b>	<b>32</b>
<b>Fig. 2.5 Patrón de radiación. ....</b>	<b>33</b>
<b>Fig. 2.6 Reuso. ....</b>	<b>35</b>
<b>Fig. 2.7 Ejemplo de Cobertura. ....</b>	<b>37</b>
<b>Fig. 2.8 Diagrama a bloques de enlace de subida. ....</b>	<b>38</b>
<b>Fig. 2.9 Diagrama a bloques de Transpondedor. ....</b>	<b>39</b>
<b>Fig. 2.10 Diagrama a bloques de enlace de bajada. ....</b>	<b>40</b>
<b>Fig. 2.11 Ejemplo de una red de comunicaciones satelitales. ....</b>	<b>45</b>
<b>Fig. 2.12 Desplazamiento de Frecuencia. ....</b>	<b>48</b>
<b>Fig. 2.13 Modificación de la fase y la amplitud. ....</b>	<b>50</b>
<b>Fig. 2.14 Las cuatro fases posibles de QFSK. ....</b>	<b>51</b>
<b>Fig. 2.15 Técnicas de Acceso Múltiple por División en el Tiempo. ....</b>	<b>52</b>
<b>Fig. 2.16 Técnicas de Acceso Múltiple por División en Frecuencia.....</b>	<b>53</b>
<b>Fig. 2.17 Técnicas de Acceso Múltiple por División en Código. ....</b>	<b>54</b>
<b>Fig. 2.18 Modelos de tráfico no uniforme. ....</b>	<b>56</b>

<b>Fig. 2.20 Grafica del comportamiento de satélites STD y STE. ....</b>	<b>57</b>
<b>Fig. 2.19 Grafica de alejamiento del pico de tráfico. ....</b>	<b>59</b>
<b>Fig. 2.21 Ejemplo de identificación de satélites. ....</b>	<b>60</b>
<b>Fig. 2.22 Satélites utilizados para la determinación de longitud Sistema GPS.....</b>	<b>63</b>

### **CAPITULO III**

<b>Fig. 3.1 Sistema Satelital de Orbita Baja Iridium. ....</b>	<b>66</b>
<b>Fig. 3.2 Segmentos del sistema Iridium.....</b>	<b>68</b>
<b>Fig. 3.3 Satélite Iridium.....</b>	<b>69</b>
<b>Fig. 3.4 Paneles solares de satélite Iridium.....</b>	<b>70</b>
<b>Fig. Bus completo de satélite Iridium.....</b>	<b>71</b>
<b>Fig. 3.6 Forma general del Bus del satélite Iridium equipado con antenas</b>	<b>72</b>
<b>Fig. 3.7 Las 3 antenas de las esquinas y la del centro se ocupan de la comunicación con la puerta de enlace. ....</b>	<b>73</b>
<b>Fig. 3.8 Las antenas rectangulares pequeñas se ocupan de la comunicación entre satélites.....</b>	<b>74</b>
<b>Fig. 3.9 Antenas de telemetría y control. ....</b>	<b>75</b>

<b>Fig. 3.10 Interior del modulo de control, con el que se controla el satélite por medio de interfases. ....</b>	<b>76</b>
<b>Fig. 3.11 Diagrama en bloques de la distribución térmica del panel de la Antena de Misión Principal. ....</b>	<b>79</b>
<b>Fig. 3.12 Antena de Misión Principal (Phasep Array). ....</b>	<b>81</b>
<b>Fig. 3.13 Celda de un Satélite Iridium. ....</b>	<b>82</b>
<b>Fig. 3.14 Proyección de las celdas de los satélites Iridium. ....</b>	<b>83</b>
<b>Fig. 3.15 Patrón de radiación de los satélites Iridium. ....</b>	<b>83</b>
<b>Fig. 3.16 Descripción de ISL Iridium, cada intersección representa un satélite activo.....</b>	<b>86</b>
<b>Fig. 3.17 Full Duplex de sistema Iridium.....</b>	<b>87</b>
<b>Fig. 3.18 Ancho de banda del Sistema Iridium. ....</b>	<b>87</b>
<b>Fig. 3.19 Reuso de frecuencia Iridium. ....</b>	<b>88</b>

## **CAPITULO IV**

<b>Fig. 4.1 Ubicación de Estación de Control y de Puertas de Enlace de Sistema Iridium.....</b>	<b>92</b>
<b>Fig. 4.2 Puerta de Enlace (Gateway). ....</b>	<b>95</b>
<b>Fig. 4.3 Función del Mobile Exchange Unit MXU en el Sistema Iridium...</b>	<b>97</b>

Fig. 4.4 Diagrama de antena, coaxial semirrígido, capacitor de acoplo...	98
Fig. 4.5 Módulo de RMPA-1620A-121. ....	99
Fig. 4.6 Vista de una porción de la tarjeta principal. Es el área principal del proceso en el teléfono.	99
.....	100
Fig. 4.7 Antena cuadrifilar Helicoidal. ....	102
Fig. 4.8 Teléfono Motorota 9505 para sistema Iridium.....	104
Fig. 4.9 MSISDN sistema Iridium. ....	105
Fig. 4.10 Ciclo de encendido de teléfono. ....	106
Fig. 4.11 Ciclo de encendido por Puerta de enlace visitada. ....	106
Fig. 4.12 Llamada puesta en ISL. ....	
<b>CAPITULO V</b>	
Fig. 5.1 Constelación Teledesid. ....	114
Fig. 5.2 Flujo de comunicación de los sistemas satelitales Teledesid y Celestric.....	116

# ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPITULO I

<b>Fig.1.1 Luna utilizada como satélite pasivo. ....</b>	<b>2</b>
<b>Fig. 1.2 Globo Echo 1. ....</b>	<b>3</b>

<b>Fig. 1.3 Cohete Atlas-Score. ....</b>	<b>4</b>
<b>Fig. 1.4 Satélite Sputnik 1. ....</b>	<b>4</b>
<b>Fig. 1.5 Satélite Courier 1B. ....</b>	<b>4</b>
<b>Fig. 1.6 Satélite de la serie Molniya. ....</b>	<b>5</b>
<b>Fig. 1.7 Ciclo de transmisión Transmisor, Satélite, Receptor. ....</b>	<b>8</b>
<b>Fig. 1.8 Componentes de un satélite. ....</b>	<b>10</b>
<b>Fig. 1.9 Tipos de Orbitas según su elevación. ....</b>	<b>15</b>
<b>Fig. 1.10 Receptor, satélite y señal. ....</b>	<b>16</b>
<b>Fig. 1.11 Satélite en Orbita Media Elíptica. ....</b>	<b>16</b>
<b>Fig. 1.12 Satélites en Orbita Baja. ....</b>	<b>17</b>
<b>Fig. 1.13 Área cubierta por un satélite en órbita GEO. ....</b>	<b>19</b>
<b>Fig. 1.14 Cobertura de satélites de orbita Baja. ....</b>	<b>20</b>
<b>Fig. 1.15 Ejemplo de la Inclinación Orbital de un satélite. ....</b>	<b>21</b>
<b>Fig. 1.16 Enlace Inter-Satélites (Intra-Orbita). ....</b>	<b>25</b>
<b>Fig.1.17 Enlace Inter-Satélites (Inter-Orbita). ....</b>	<b>26</b>
<b>Fig. 1.18 Representación visual de un haz. ....</b>	<b>27</b>

**CAPITULO II**

<b>Fig. 2.1 Sistema de transmisión. ....</b>	<b>29</b>
<b>Fig. 2.2 Punto Subsatelital. ....</b>	<b>30</b>
<b>Fig. 2.3 Az.- Angulo azimut, El.- Angulo de elevación. ....</b>	<b>31</b>
<b>Fig. 2.4 Limite de visibilidad. ....</b>	<b>32</b>
<b>Fig. 2.5 Patrón de radiación. ....</b>	<b>33</b>
<b>Fig. 2.6 Reuso. ....</b>	<b>35</b>
<b>Fig. 2.7 Ejemplo de Cobertura. ....</b>	<b>37</b>
<b>Fig. 2.8 Diagrama a bloques de enlace de subida. ....</b>	<b>38</b>
<b>Fig. 2.9 Diagrama a bloques de Transpondedor. ....</b>	<b>39</b>
<b>Fig. 2.10 Diagrama a bloques de enlace de bajada. ....</b>	<b>40</b>
<b>Fig. 2.11 Ejemplo de una red de comunicaciones satelitales. ....</b>	<b>45</b>
<b>Fig. 2.12 Desplazamiento de Frecuencia. ....</b>	<b>48</b>
<b>Fig. 2.13 Modificación de la fase y la amplitud. ....</b>	<b>50</b>
<b>Fig. 2.14 Las cuatro fases posibles de QFSK. ....</b>	<b>51</b>

<b>Fig. 2.15 Técnicas de Acceso Múltiple por División en el Tiempo. ....</b>	<b>52</b>
<b>Fig. 2.16 Técnicas de Acceso Múltiple por División en Frecuencia.....</b>	<b>53</b>
<b>Fig. 2.17 Técnicas de Acceso Múltiple por División en Código. ....</b>	<b>54</b>
<b>Fig. 2.18 Modelos de tráfico no uniforme. ....</b>	<b>56</b>
<b>Fig. 2.20 Grafica del comportamiento de satélites STD y STE. ....</b>	<b>57</b>
<b>Fig. 2.19 Grafica de alejamiento del pico de tráfico. ....</b>	<b>59</b>
<b>Fig. 2.21 Ejemplo de identificación de satélites. ....</b>	<b>60</b>
<b>Fig. 2.22 Satélites utilizados para la determinación de longitud Sistema GPS.....</b>	<b>63</b>

### **CAPITULO III**

<b>Fig. 3.1 Sistema Satelital de Orbita Baja Iridium. ....</b>	<b>66</b>
<b>Fig. 3.2 Segmentos del sistema Iridium.....</b>	<b>68</b>
<b>Fig. 3.3 Satélite Iridium.....</b>	<b>69</b>
<b>Fig. 3.4 Paneles solares de satélite Iridium.....</b>	<b>70</b>
<b>Fig. Bus completo de satélite Iridium.....</b>	<b>71</b>
<b>Fig. 3.6 Forma general del Bus del satélite Iridium equipado con antenas</b>	<b>72</b>

<b>Fig. 3.7 Las 3 antenas de las esquinas y la del centro se ocupan de la comunicación con la puerta de enlace. ....</b>	<b>73</b>
<b>Fig. 3.8 Las antenas rectangulares pequeñas se ocupan de la comunicación entre satélites.....</b>	<b>74</b>
<b>Fig. 3.9 Antenas de telemetría y control. ....</b>	<b>75</b>
<b>Fig. 3.10 Interior del modulo de control, con el que se controla el satélite por medio de interfases. ....</b>	<b>76</b>
<b>Fig. 3.11 Diagrama en bloques de la distribución térmica del panel de la Antena de Misión Principal. ....</b>	<b>79</b>
<b>Fig. 3.12 Antena de Misión Principal (Phasep Array). ....</b>	<b>81</b>
<b>Fig. 3.13 Celda de un Satélite Iridium. ....</b>	<b>82</b>
<b>Fig. 3.14 Proyección de las celdas de los satélites Iridium. ....</b>	<b>83</b>
<b>Fig. 3.15 Patrón de radiación de los satélites Iridium. ....</b>	<b>83</b>
<b>Fig. 3.16 Descripción de ISL Iridium, cada intersección representa un satélite activo.....</b>	<b>86</b>
<b>Fig. 3.17 Full Duplex de sistema Iridium.....</b>	<b>87</b>
<b>Fig. 3.18 Ancho de banda del Sistema Iridium. ....</b>	<b>87</b>
<b>Fig. 3.19 Reuso de frecuencia Iridium. ....</b>	<b>88</b>

## CAPITULO IV

<b>Fig. 4.1 Ubicación de Estación de Control y de Puertas de Enlace de Sistema Iridium.....</b>	<b>92</b>
<b>Fig. 4.2 Puerta de Enlace (Gateway). .....</b>	<b>95</b>
<b>Fig. 4.3 Función del Mobile Exchange Unit MXU en el Sistema Iridium...</b>	<b>97</b>
<b>Fig. 4.4 Diagrama de antena, coaxial semirrígido, capacitor de acoplo...</b>	<b>98</b>
<b>Fig. 4.5 Módulo de RMPA-1620A-121. ....</b>	<b>99</b>
<b>Fig. 4.6 Vista de una porción de la tarjeta principal. Es el área principal del proceso en el teléfono.</b>	<b>99</b>
.....	<b>100</b>
<b>Fig. 4.7 Antena cuadrifilar Helicoidal. ....</b>	<b>102</b>
<b>Fig. 4.8 Teléfono Motorota 9505 para sistema Iridium.....</b>	<b>104</b>
<b>Fig. 4.9 MSISDN sistema Iridium. ....</b>	<b>105</b>
<b>Fig. 4.10 Ciclo de encendido de teléfono. ....</b>	<b>106</b>
<b>Fig. 4.11 Ciclo de encendido por Puerta de enlace visitada. ....</b>	<b>106</b>
<b>Fig. 4.12 Llamada puesta en ISL. ....</b>	<b>106</b>

## CAPITULO V

**Fig. 5.1 Constelación Teledesid. ....**

**Fig. 5.2 Flujo de comunicación de los sistemas satelitales Teledesid y  
Celestric..... 116**

## OBJETIVO GENERAL

Mostrar a los interesados en comunicaciones satelitales de orbita Baja, los beneficios de uso del sistema Iridium y la comunicación que se puede ejercer por medio de este sistema.

## OBJETIVOS PARTICULARES

- Definir la importancia de los satélites de orbita baja para comunicaciones, mostrando las diferencias con respecto a los satélites colocados en orbita Geoestacionaria y de Orbita Media.
- Describir el funcionamiento del sistema Iridium para dar cobertura global, a las personas que necesitan del servicio de telefonía satelital

# INTRODUCCIÓN

La comunicación ha sido un aspecto importante entre los seres humanos, la rapidez con que sea transmitida, y la nula modificación de la información, sin importar la distancia que tenga que recorrer, son aspectos importantes y de gran valor.

La comunicación transmitida a través de satélites es una efectiva solución a la necesidad de comunicaciones claras, rápidas y que además dan cobertura de comunicación a grandes zonas. Para lograr esta comunicación los satélites son colocados en el espacio, a una distancia determinada, girando alrededor de la Tierra.

Debido a su gran efectividad en comunicaciones satelitales, la orbita Geoestacionaria, presenta una gran saturación de satélites, por lo que se tuvo la necesidad de explorar nuevas orbitas que pudieran presentar los mismos beneficios de comunicación y en proporción a las actuales necesidades, se mejorara el servicio.

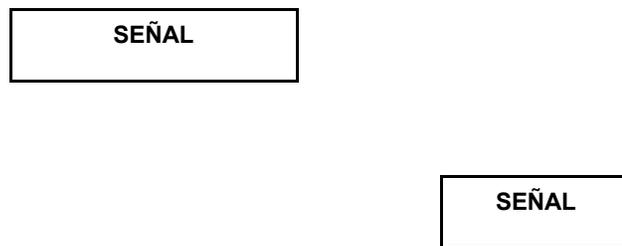
La orbita Baja presenta características para las comunicaciones que mejoran notablemente las condiciones en satélites colocados en orbita Geoestacionaria.

El sistema de orbita Baja Iridium forma parte importante en el área de las comunicaciones vía satélite, pues presenta características técnicas y funcionales, que permiten a quien hace uso del sistema al mantener un servicio constante y flexible, ya que puede hacer uso de infraestructura de telecomunicaciones en la Tierra o mantener comunicación a través de los satélites para países en vías de desarrollo, que no cuentan con infraestructura de telecomunicaciones.

## 1.1 HISTORIA DE LA COMUNICACIÓN VIA SATELITE.

El hombre siempre ha buscado la forma de cómo transmitir señales que le permitan comunicación a través de largas distancias, sin la necesidad de cables.

Debido a la búsqueda de una transmisión inalámbrica, la Marina de los Estados Unidos de América (E.U.A.), utilizó con éxito el satélite natural de la Tierra (la Luna) para establecer comunicación entre dos puntos lejanos en el planeta, transmitiendo señales de radar que dicho cuerpo celeste reflejaba, logrando con ello comunicar a la ciudad de Washington con la Isla de Hawai.



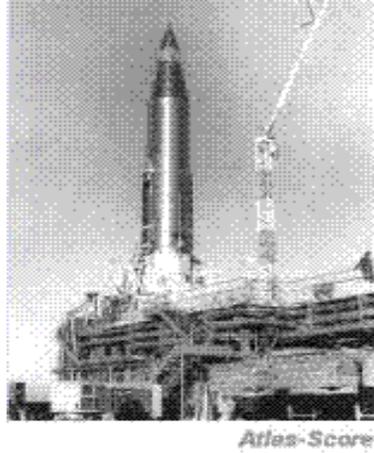
**Fig.1.1 Luna utilizada como satélite pasivo.**

Esto comprobó que se podrían utilizar satélites artificiales con los mismos fines, pero salvando la desventaja de depender de la hora del día para obtener las señales reflejadas. Se emprendió, un ambicioso proyecto denominado Echo 1, mostrado en la fig. 1.2, el cual consistía en utilizar un enorme globo recubierto de aluminio para que sirviera como espejo y reflejara las señales emitidas desde la Tierra. El artefacto, visible a simple vista, fue el primer satélite artificial de tipo pasivo (por su característica de servir solamente como reflejo y no tener aparatos para retransmisión); los llamados satélites activos vendrían después, con la necesidad de un sistema de transmisión activo, por ejemplo una versión orbital de las torres de retransmisión por microondas así como los avances tecnológicos, que poco a poco fueron enriqueciendo el conocimiento en este campo.



**Fig. 1.2 Globo Echo 1.**

El primer experimento en comunicaciones desde el espacio se realizó, cuando la primera voz humana se retransmitió desde el espacio, la voz transmitida fue la del presidente norteamericano Dwight D. Eisenhower, con el contexto del proyecto Comunicación de Señal por el Equipo Orbitando de Repetición (Signal Communication By Orbiting Relay Equipment SCORE) se puso en órbita un misil Atlas, equipado con un transmisor y un reproductor, emitió hacia la Tierra un mensaje de Navidad grabado con anterioridad por el presidente. La grabadora podía también almacenar mensajes para retransmitirlos más tarde, lo que dio origen a los llamados satélites de retransmisión diferida. El Atlas-Score, fig. 1.3, permitió demostrar que la voz humana podía propagarse superando la considerable distancia existente entre el planeta y el satélite. El concepto fundamental era sencillo: un repetidor colocado en un lugar suficientemente elevado podría dominar mucha mayor superficie que las antenas de transmisión terrestres. El repetidor, por supuesto, sería colocado en órbita, aunque su limitación principal sería la movilidad del objeto en el espacio.



**Fig. 1.3 Cohete Atlas-Score.**

El primer satélite espacial el Sputnik 1, fig. 1.4, llevaba a bordo un radiofaro el cual emitía una señal que podía ser recibida por simples receptores, realizándose de esta forma, la primera prueba de transmisión y recepción de señales desde el espacio.



**Fig. 1.4 Satélite Sputnik 1.**

Un Satélite posterior de este tipo fue el Courier 1B, mostrado en la fig. 1.5, este satélite militar podía almacenar y retransmitir hasta 68,000 palabras por minuto.



**Fig. 1.5 Satélite Courier 1B.**

La red nacional más extensa de satélites fue desarrollada por la Unión Soviética, con una serie de satélites Molniya (relámpago), fig. 1.6, situados en órbita elíptica con el cenit sobre el hemisferio norte. De este modo, diversos centros del extenso territorio de la URSS quedaron unidos por programas de televisión en blanco y negro, teléfono y telégrafo.



*Fig. 1.6 Satélite de la serie Molniya.*

## **1.2 SATELITES.**

Un satélite es un objeto que orbita o gira alrededor de otro objeto. Por ejemplo, la Luna es un satélite de la Tierra, y la Tierra es un satélite del Sol.

Los satélites artificiales son objetos creados por el hombre que se colocan en órbita alrededor de un cuerpo celeste como un planeta o un satélite natural y que llevan acabo tareas todos los días. Describen una trayectoria elíptica, denominada órbita.

Como ejemplo, se tienen los utilizados para el diagnostico meteorológico, de navegación, de comunicación, científicos y militares.

### **1.2.1 Satélites Meteorológicos.**

Los satélites meteorológicos se han convertido en una de las herramientas más prácticas que ha producido la tecnología espacial para la predicción del tiempo. La

puesta en órbita del primer satélite meteorológico, constató la enorme capacidad informativa aportada para el estudio de la atmósfera, así como la importancia de observar la Tierra desde el espacio. Desde 480 Km. o más de altura estos satélites usan cámaras para observar el planeta, estudiar los cambios que sufre la superficie terrestre causada por el hombre. Por ejemplo algunas características observadas por este satélite, es la desertificación del oeste africano, así como la deforestación que sufre Sudamérica.

Los instrumentos en este tipo de satélites estudian las regiones del planeta, su composición química, así como la superficie acuática entre algunas otras características. El satélite envía datos sobre el medio ambiente de todo el mundo para que la información sea examinada por meteorólogos. Las personas que trabajan en industrias como la agrícola, pesquera, minera así como algunas otras industrias, encuentran esta información muy útil.

La información recibida es enviada rápidamente a la Tierra, debido a que las condiciones meteorológicas pueden variar en muy poco tiempo. La transmisión de imágenes, aunque ofrecen menor definición que la película fotográfica, permiten la suficiente resolución para el trabajo meteorológico.

El esfuerzo económico que efectúan los gobiernos en el mantenimiento y actualización de los sistemas de teledetección, es compensado por la mayor rapidez y exactitud de los datos, que en las anteriores observaciones convencionales se obtenían a partir de barcos científicos.

Los satélites climáticos, como es el satélite llamado TIROS (Television Infrared Observation Satellite) registran los patrones del clima alrededor del mundo. Los datos tomados por TIROS sirven para pronosticar el clima, las tormentas eléctricas y hacer investigaciones científicas acerca de estas.

### **1.2.2 Satélites de Navegación.**

Una aplicación, relativamente nueva es la de navegación y localización con un sistema compuesto por satélites, el cual permite la localización exacta de cualquier punto móvil sobre la Tierra, mediante el empleo de un dispositivo receptor, a un costo relativamente económico.

Los satélites de navegación, tienen un común denominador, fueron concebidos inicialmente para fines militares, aunque en la actualidad son utilizados también para usos civiles. Estos satélites proveen de la posición [altitud, longitud, elevación y tiempo exacto] a millones de usuarios alrededor del mundo a través de las señales que emiten y el cálculo de coordenadas desde tierra a través de receptores provistos con relojes muy precisos pero a pesar de ofrecer sus señales a usuarios civiles, su operación sigue estando bajo el control militar, un ejemplo es el Sistema GPS (Global Position System).

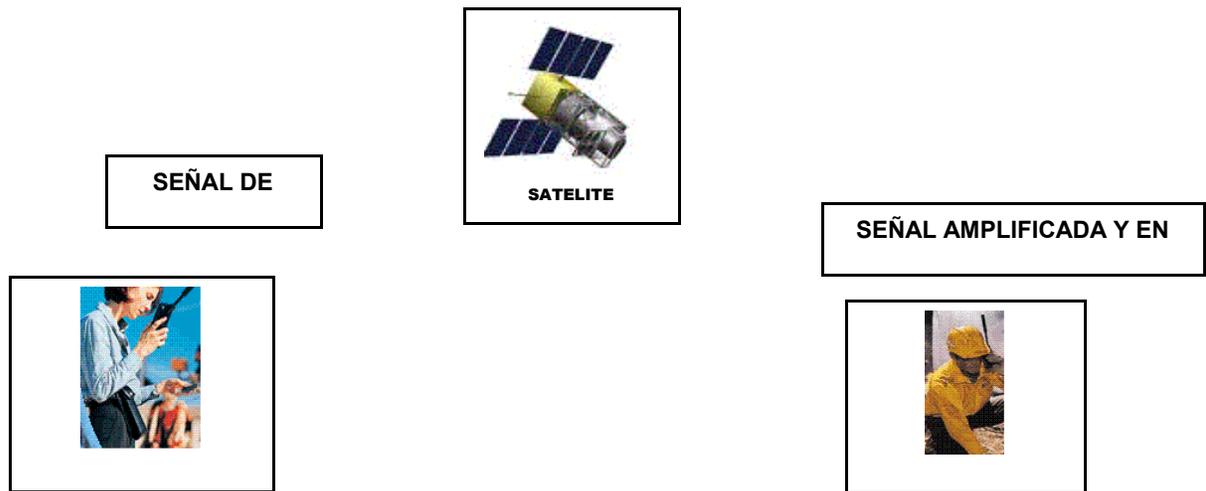
### **1.2.3 Satélites de Comunicación.**

Un satélite puede tener la capacidad de transmitir una gran diversidad de señales de manera simultánea, como puede ser: señales de televisión (video), conversaciones telefónicas (voz) y señales digitales (datos).

El área en la tierra que puede "cubrir" un satélite, se llama "huella del satélite". Así las personas que se encuentren dentro de la huella podrán comunicarse por medio del satélite. Por ejemplo una persona en África puede utilizar un satélite para comunicarse con cualquier persona en otro lugar de África ya que se encuentran dentro de la misma área cubierta por el satélite.

Se usa el sistema de repetición para transmitir señales a cualquier parte del mundo. Un satélite actúa como una estación de relevación (relay station) o repetidor. Como se observa en la fig. 1.7, un transpondedor recibe la señal de un transmisor, luego la amplifica y la retransmite hacia la tierra a una frecuencia diferente a la que fue recibida. Debe notarse que la estación terrena transmisora envía a un solo satélite. El satélite, sin embargo, envía a cualquiera de las estaciones terrenas

receptor s en su área de cobertura o huella (foot print).



*Fig. 1.7 Ciclo de transmisión Transmisor, Satélite, Receptor.*

Si se desea enviar una señal de África a Asia sur-oriental, se utiliza el sistema de repetición del satélite. Las personas en el mundo se comunican de esta forma. Por ejemplo tenemos comunicaciones telefónicas, imágenes de TV así como acceso a conexiones al Internet por medio de la comunicación satelital.

#### **1.2.4 Satélites Científicos.**

Varios institutos de investigación dentro o fuera de las universidades poseen la capacidad de construir y llevar acabo misiones científicas dedicadas en el espacio.

Los dos objetivos principales de los satélites científicos son:

- Desarrollar una experiencia científica de interés no solo para la universidad o

país que los desarrolló, sino también para toda la comunidad científica, por medio del desarrollo de experimentos.

- Proporcionar a la industria del país que los lanza la experiencia necesaria en desarrollo y fabricación de equipos espaciales.

### **1.2.5 Satélites Militares.**

A diferencia de las investigaciones civiles, la gran ventaja de los sistemas militares es que tienen mayores fondos económicos disponibles para investigaciones.

Estos satélites militares, llevan detectores infrarrojos para proveer aviso de ataques por misiles balísticos, en la detección de misiles balísticos, buscando la emisión que delata su lanzamiento, trazar su trayectoria, identificar la reentrada para cada uno de las cabezas nucleares que portan, y calcular su punto de impacto. Con tecnología infrarroja es posible detectar a larga distancia los misiles, seguir los blancos, y discriminar los diferentes sistemas. Aplicaciones mas simples incluyen la detección de la emisión de calor de tropas enemigas ocultas en el espesor de la selva, o de la emisión del calor de los motores de un avión que sigue un misil con la intención de hacer blanco en él.

### **1.3 ESTRUCTURA DE UN SATELITE.**

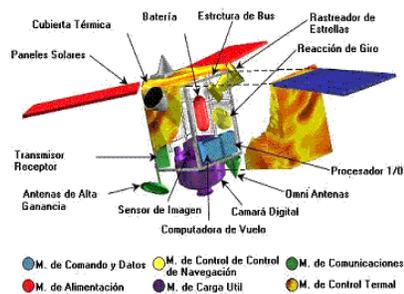
Un satélite es un dispositivo complejo. Todos los satélites son altamente sofisticados a la vez de que se componen de varios módulos que trabajan juntos para ayudar al satélite a realizar su misión.

La estructura del satélite es el armazón que sostiene a todos los equipos que lo forman, este importante modulo debe ser durable, resistente y lo mas ligero posible. Los materiales mas utilizados son aluminio, magnesio, titanio, acero y plástico

reforzado con carbón.

Un satélite esta compuesto básicamente de los siguientes módulos:

- MODULO DE COMANDO Y DATOS
- MODULO DE CONTROL DE NAVEGACION
- MODULO DE ALIMENTACION
- MODULO DE CARGA UTIL
- MODULO DE COMUNICACIONES
- MODULO DE CONTROL TERMICO



**Fig. 1.8 Componentes de un satélite.**

### 1.3.1 Módulo de comando y datos.

Los comandos y datos son parte del subsistema de control, se muestra en la fig. 1.8 en color azul, se utilizan para la navegación del satélite. Este modulo está compuesto por circuitos electrónicos que incluyen el equipo transmisor, el receptor y las antenas, los cuales le permiten al satélite recibir y retransmitir la información procedente de una estación terrena a otra.

Las señales van codificadas por cuestiones de seguridad, como observamos en la fig. 1.8 el satélite cuenta con un procesador de entrada y salida, que le da dirección y control a los datos. Por ejemplo, le son enviados comandos al satélite, el satélite retransmite al centro de control los comandos recibidos, estos son verificados en tierra comprobando que las órdenes fueron recibidas correctamente, el centro da la orden para que se ejecuten los comandos.

### **1.3.2 Módulo de control de navegación.**

El modulo de Control de Navegación, se muestra la fig. 1.8 en color amarillo, mantiene al satélite estabilizado y en dirección correcta, como el satélite cuenta con un modulo de navegación que le permite recibir instrucciones para corregir su órbita (reacción de giro) cada vez que se sale de la misma a causa de la atracción terrestre.

Los satélites estabilizados por giro presentan una forma cilíndrica, llevan las celdas solares montadas en la mayor parte de su superficie, envolviendo casi totalmente al satélite, en donde la "rigidez" giroscópica intrínseca de un cuerpo rotatorio se usa para mantener su orientación en el espacio inercial

Los satélites con estabilización triaxial son de forma similar a un cubo, con dos largos paneles solares a los lados, en forma de alas. La estabilización se asegura mediante el uso de un giroscopio interno.

El tipo de control de navegación se determina por el tipo de misión a desarrollar por el satélite, contiene sensores que orientan al satélite, para que de esta forma pueda enfocar el objetivo al que va a transmitir. Por ejemplo un satélite desarrollado para visualizar fenómenos atmosféricos, registra observaciones hechas a la atmósfera terrestre utilizando un telescopio y sensores de imagen por lo que necesita entonces de un control de navegación y una propulsión exacta.

Cuenta con un motor iónico de propulsión que produce una presión de iones

acelerados o de alta velocidad con lo que se mantiene en su orbita y corrige su trayectoria cuando se sale de posición.

El motor esta cargado con helio, al que se le han separado los electrones negativos de sus átomos, ionizándolos y convirtiéndolos en átomos con carga eléctrica positiva, dentro de un cañón de electrones, es acelerado el rayo de electrones que produce la propulsión.

Por esta razón es que cuando un satélite agota su combustible, termina su "vida útil", ya que no puede hacer esta clase de correcciones, saliéndose definitivamente de su orbita. El periodo aproximado de "vida útil" de un satélite es de 10 o 12 años, sin embargo en los nuevos satélites éste periodo se podrá incrementar hasta en 20 años.

### **1.3.3 Módulo de alimentación.**

Todos los satélites necesitan de energía para operar. El Sol es un proveedor de energía, que es utilizada por la mayoría de los satélites que orbitan en la atmósfera terrestre. En la fig.1.8, en color rojo se observa al modulo de alimentación. Este modulo esta compuesto por paneles solares desplegados en el exterior del satélite, así como una serie de baterías que alimentan al equipo electrónico del mismo. Este sistema de alimentación utiliza la energía solar para transformarla en energía eléctrica, las baterías que lleva el satélite abordo almacenan toda esta energía eléctrica que después se distribuye a todos los instrumentos del satélite. Los paneles se pueden distinguir por la forma en que se encuentran conectados, en serie o en paralelo.

### **1.3.4 Módulo de carga útil.**

El modulo de carga útil es todo aquello que los satélites necesitan para llevar acabo la misión a la que fueron destinados con una optima operación, se observa en la fig. 1.8 en color morado.

Por ejemplo la carga útil para un satélite atmosférico incluye cámaras para tomar imágenes de formaciones de nubes, mientras que la carga útil para un satélite de comunicaciones incluye antenas reflectoras grandes para transmitir señales de TV o telefónicas a la tierra.

Un satélite que realiza investigaciones científicas necesita un telescopio y sensores de imagen para registrar las observaciones hechas a estrellas así como observaciones hechas a otros planetas.

### 1.3.5 Módulo de comunicaciones.

En la fig.1.8, se observa en color verde, el modulo de comunicaciones. El cual es utilizado a bordo de los satélites para transmitir instrucciones de operación al procesador del satélite.

Este sistema también puede transmitir enlace satélite – Tierra, así como otros datos capturados por el satélite, como son, imágenes, telemetría de datos de vuelo, transmisión del código de identificación, transmisión y recepción de datos para ejecutar comandos.

El modulo de comunicaciones cuenta con:

- **Antenas:** Dispositivos que permiten captar señales provenientes de la Tierra, a través de enlaces ascendentes y retransmitir hacia ella a través de enlaces descendentes.
- **Transpondedor:** Sistema encargado de cambiar la frecuencia de la señal recibida y la retransmite a la Tierra.
- **Amplificador de potencia:** Amplifica las señales que recibe el satélite.

En el interior del satélite las señales son separadas por el transpondedor, amplificadas, y trasladadas a una frecuencia distinta a la que se recibió.

### **1.3.6 Módulo de control térmico.**

En la fig.1.8, en color amarillo moteado se observa el modulo de control térmico. Se encarga de proteger el equipo que lleva el satélite de posibles daños producidos dentro del medio ambiente espacial que es muy hostil. Un satélite en orbita esta expuesto a severos cambios de temperatura que pueden ir desde 120 ° C bajo cero en la sombra hasta 180° C sobre cero en el Sol. El modulo de control de temperatura utiliza elementos que distribuyen el calor, por ejemplo las caras norte y sur son cubiertas con reflector óptico de cuarzo, semejante a un gran espejo, que rechaza el calor del exterior y al mismo tiempo lo transfiere del interior al vacío, los amplificadores de potencia se colocan junto a estos espejos por generar más calor, así como cobertores térmicos de diferentes materiales por ejemplo el kevlar y el mylar, que protegen los delicados instrumentos electrónicos del satélite de ser dañados por los severos cambios de temperatura. El modulo le permite al satélite conservar una temperatura adecuada para su funcionamiento.

### **1.4 ORBITAS.**

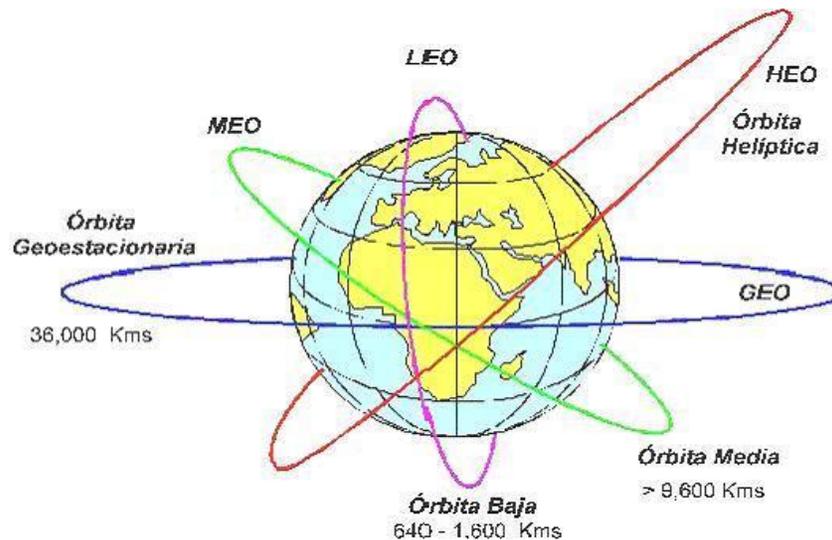
Los satélites giran en torno a la tierra en trayectorias llamadas órbitas, estas trayectorias pasan por el centro de gravedad de la tierra. En una orbita la velocidad depende de la altura en que se coloque el satélite, sobre la tierra. Es mayor cuando el satélite esta cerca de la tierra que cuando esta mas alejado.

La efectividad de los satélites en un sistema satelital depende también de los siguientes factores:

- Tipos de Elevación de los Satélites
- Selección de órbita
- Inclinación orbital

### 1.4.1 Tipos de Elevación de los Satélites.

Los diferentes tipos de satélites se pueden clasificar según la elevación de la órbita en la que se encuentren instalados así se observan tres distintos tipos de satélites.



*Fig. 1.9 Tipos de Órbitas según su elevación.*

#### 1.4.1.1 Órbita Geoestacionaria.

Un satélite en la órbita ecuatorial Geoestacionaria está situado directamente sobre el ecuador, a aproximadamente 35,850 Km. de altitud alrededor de la tierra. A esta distancia, toma al satélite 24 horas completas para circundar el planeta, puesto que a la Tierra le lleva 24 horas dar la vuelta sobre su propio eje, el satélite se mueve al mismo tiempo que la tierra. Un satélite en órbita Geoestacionaria permanece siempre directamente sobre el mismo punto en la tierra.

Muchos satélites de comunicaciones viajan en órbita Geoestacionaria, incluyendo los que retransmitan señales de la TV en nuestros hogares.

Un ejemplo es: Solidaridad II. Los satélites que proporcionan servicios de

comunicación convencionales así como los meteorológicos, son colocados en una órbita geoestacionaria.

#### 1.4.1.2. Órbita Media (MEO).

Los satélites de comunicación que cubren el Polo Norte y el Polo Sur son colocados en una órbita media de tipo ovalada, con el fin de que los receptores puedan captar su señal, debido a que las órbitas medias son de mayor tamaño que las bajas, los receptores pueden rastrear la señal de los satélites posicionando horizontalmente sus antenas durante largos periodos de tiempo, como se muestra en la fig 1.10. Este tipo de órbita está comprendida entre los 9,600 y los 19,200 Km. de altitud.



*Fig. 1.10 Receptor, satélite y señal.*

##### 1.4.1.2.1 Satélites de Órbita Media Elíptica.

Un satélite en órbita elíptica sigue una trayectoria en forma oval a una distancia de 5,000 a 12,000 Km. de la tierra. El diámetro de cobertura es de 10,000 a 15,000 Km. Estos satélites tienen un retardo de propagación medio de 50ms.

Como se muestra en la fig. 1.11, una porción de la órbita está muy cercana a la tierra a la que se llama perigeo y la otra parte está mucho muy lejana de la tierra a la que se le llama apogeo. Un satélite que se encuentra en esta órbita le toma cerca de 12 horas darle vuelta a la tierra. Como en las órbitas polares, las órbitas elípticas se mueven en dirección norte-sur.



*Fig. 1.11 Satélite en Órbita Media Elíptica.*

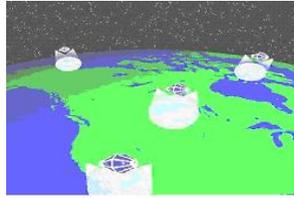
#### **1.4.1.3 Órbita Baja (LEO).**

Las órbitas bajas, son órbitas típicamente circulares, cuya altitud varía entre 500 y 2.000 kms., muy inferior a la altitud de la órbita geostacionaria (35869 kms.). Su órbita es de tipo circular y su periodo varía entre 90 minutos y 2 horas. Los ángulos de inclinación de las órbitas varían entre 45° y 90°.

##### **1.4.1.3.1 Satélites de Órbita Baja (LEO).**

Cuando un satélite circula cerca de la tierra se dice que se encuentran en una órbita baja terrestre. Los satélites que se encuentran en órbita Baja LEO están a una distancia que va desde los 500 Km. a 2,000 Km. de altura con respecto a la superficie terrestre. Los satélites que se encuentran en esta órbita, dan una vuelta completa a la tierra, con un tiempo de hora y media, a dos horas. El diámetro de cobertura es de unos 8,000 Km. El retardo de propagación es de unos 20 ms.

Por las características que tienen estos satélites, de ir y venir rápidamente, son utilizados para tomar imágenes muy detalladas de la superficie terrestre, observando nuestro planeta en una forma similar a la forma en como lo hacen los satélites atmosféricos.



*Fig. 1.12 Satélites en Órbita Baja.*

#### **1.4.1.3.2 Satélites de Órbita baja Polar.**

Una órbita polar es un tipo particular de órbita baja terrestre. La única diferencia es que el satélite viaja en órbita polar en una dirección norte-sur, y no la dirección este-oeste que es la más común en sistemas satelitales. La órbita polar tiene una

inclinación o ángulo de  $90^\circ$ .

Se puede señalar a los satélites de comunicaciones en órbitas elípticas como una mejor opción ya que cubren también las áreas en los altos hemisferios norteños y meridionales que no son cubiertos por los satélites de órbita Geoestacionaria GEO.

#### **1.4.2 Selección de órbita.**

Un sistema de comunicaciones satelital tiene que cumplir el requisito de ofrecer una cobertura total del globo terráqueo, para llevar a cabo esto es importante para los diversos sistemas de comunicación satelital la altura a la que se encuentran instaladas sus redes satelitales.

La elección de la altura de la órbita es un factor importante para determinar cuántos satélites se necesitan en un sistema para conseguir una cobertura mundial, también define el costo del satélite, así como el costo de ponerlo en órbita ya que estos aspectos aumentan conforme la altura de la órbita. Para órbitas muy elevadas se necesitan una menor cantidad de satélites y de órbitas para una cobertura global,

por lo tanto, el número de satélites y de orbitas, necesarios decrecerá al aumentar la altura de la órbita que se elija. También la elección de la altura de la orbita ayuda a determinar la potencia que debe tener el satélite en sus transmisiones, ya que la potencia necesaria para transmitir desde una orbita baja es muy inferior a la necesitada en casos de mayor altura. De la órbita también se determina el área de cobertura de la antena del satélite, que será mucho menor estando en una orbita de poca altura que en otra de mayor altura.

Si un satélite se encuentra en orbita Geoestacionaria cubrirá mas área de comunicaciones como se observa en la fig. 1.13 y se ocupara un numero reducido de satélites, pero es mayor el tiempo de transmisión requerido.



**Fig. 1.13 Área cubierta por un satélite en órbita GEO.**

Desafortunadamente la órbita Geoestacionaria no puede soportar los requerimientos de un sistema de comunicación personal. Los satélites en órbita Geoestacionaria tienen inconvenientes comparándolos con los de otras órbitas más bajas.

Las comunicaciones con satélites en orbitas Geoestacionaria sufren un gran retardo debido a la gran distancia a la que están. Este retardo, que es del orden de 240 a 270 ms produce un efecto de eco, que en comunicaciones de voz puede eliminarse con supresores de eco, pero es más grave en el caso de comunicación de datos. Otra desventaja son las altas pérdidas de propagación. Las terminales móviles que se esperaba fueran utilizados para estos servicios no podrían proporcionar la potencia necesaria para establecer la comunicación.

La principal objeción a satélites en orbita Geoestacionaria fue la falta de cobertura a latitudes muy al norte o al sur. Debido a que giran en el plano del Ecuador estas zonas requieren ángulos de elevación muy bajos para acceder al satélite. Sin embargo, para un servicio constante se necesitan ángulos de elevación por encima de 40°, elevaciones que no pueden conseguirse con satélites en orbita Geoestacionaria.

Estos problemas, además de un elevado costo por la puesta en órbita, hicieron que se estudiara el uso de otras órbitas para la constelación de satélites para la red de comunicaciones personales. Las órbitas Medias MEO y Bajas LEO tienen la ventaja adicional de permitir una mayor flexibilidad, puesto que, a diferencia de que existe una órbita geoestacionaria, existen, al menos teóricamente un número infinito de órbitas Medias MEO y Bajas LEO.

En una transmisión satelital en orbita Media MEO y orbita Baja LEO se tiene un tiempo de transmisión reducido pero por estar tan cercanos la cobertura es menor, también el número de satélites se ve incrementado ya que cuantos mas satélites interconectados estén dentro de una constelación, va a ser mas grande el área de cobertura y una comunicación mas larga puede ser mantenida con los satélites; La desventaja es que incrementa el costo a medida que aumenta el número de satélites. Por ejemplo la huella de cada uno de los satélites Iridium sobre la superficie terrestre tiene unos 660 Km. de diámetro. Por lo que para cubrir la superficie total de la tierra se requieren 66 satélites.



**Fig. 1.14 Cobertura de satélites de orbita Baja.**

Como resulta obvio, la huella de un satélite a mayor altura proporciona una mayor cobertura que el de otro a una altura menor, por lo que los diferentes sistemas de orbita baja que existen han sido diseñados con un mayor número de satélites de los necesarios, para tener una comunicación más fiable.

En las orbitas Medias MEO y Bajas LEO se observan características excelentes para la instalación de una red de comunicaciones móviles como son un ancho de banda extraordinario, una latencia (retrazo en la llamada) reducida de tan solo unas pocas centésimas de segundo así como la ventaja adicional de permitir una mayor flexibilidad puesto que existen al menos teóricamente un número infinito de orbitas Bajas LEO.

### **1.4.3 Inclinación Orbital.**

Es el ángulo que forma el plano ecuatorial terrestre con el plano orbital de un satélite, medido en dirección de las manecillas del reloj, en el punto de la órbita donde cruza el plano ecuatorial, yendo de sur a norte a este punto se le llama nodo ascendente. Al punto donde una orbita polar o inclinada cruza al plano ecuatorial cuando va de norte a sur se le llama nodo descendente y la línea que une los nodos ascendente y descendente que pasa por el centro de la Tierra se llama línea de los nodos. Los ángulos de inclinación varían de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ .

El ángulo de la orbita de los satélites con el ecuador también determina el área de la cobertura efectiva. Los satélites que orbitan en cero grados o cerca de cero grados relativos al ecuador terrestre pueden proveer buena cobertura a las regiones ecuatoriales pero las regiones polares podrán recibir poca o ninguna cobertura. Por otro lado, los satélites en ángulos más grandes relativos al ecuador terrestre pueden alcanzar regiones polares, pero las comunicaciones continuas pueden ser realizadas únicamente incrementando el número de satélites en orbita. Por ejemplo la serie de sistemas de comunicaciones móviles vía satélite de la Agencia Espacial Europea (ESA), llamado LEONET, cuenta con quince satélites en tres órbitas con  $54^\circ$  de inclinación, siendo esta cantidad de satélites y de orbitas necesaria para tener una

cobertura casi total de la superficie terrestre.



*Fig. 1.15 Ejemplo de la Inclinación Orbital de un satélite.*

**1.5 SISTEMAS MOVILES.**

En la actualidad hay una serie de sistemas de telefonía móvil que usan redes de satélites para proporcionar una cobertura global. La mayoría de estos sistemas usan satélites GEO y sus terminales móviles son muy grandes y pesadas como para poder formar parte de la red de comunicación personal (Personal Communication Network PCN).

Como ejemplos de los sistemas moviles tenemos el sistema japonés NASDA (National Space Development Agency), que empezó en 1987 INMARSAT (International MARitime telecommunication SATellite), QUALCOMM, que da servicio a Norteamérica desde 1989, ALCATEL QUALCOM y en Europa desde 1991, corresponden a la primera generación de sistemas de comunicación móvil con satélites GEO.

Alrededor de 1995 se dio paso a los sistemas de segunda generación, con el estándar mini-M de INMARSAT, AMSC (American Mobile Satellite Corporation), NSTAR de Japón, EMS (European Mobile Satellite) y el OPTUS en Australia. También hay propuestas de sistemas de satélites LEO, que pueden ser divididos en dos grupos: "big-LEO" y "little-LEO".

**1.6 COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SATÉLITES.**

	LEO	MEO	GEO
--	-----	-----	-----

<b>Costo de los satélites</b>	Máximo	Mínimo	Medio
<b>Vida del satélite</b>	3-7 años	10-15 años	10-15 años
<b>Terminales portátiles</b>	Posible	Posible	Imposible
<b>Retardo de propagación</b>	Pequeño	Medio	Grande
<b>Pérdidas de propagación</b>	Bajas	Medias	Altas
<b>Complejidad de la red</b>	Compleja	Media	Simple
<b>Hand-off</b>	Muy frecuentes	Frecuencia media	No hay
<b>Periodo de desarrollo</b>	Largo	Corto	Largo
<b>Visibilidad de un satélite</b>	Corta	Media	Siempre

*Tabla 1.1 Comparación de los tipos de elevación de satélites.*

## 1.7 COMUNICACIONES CON SATÉLITES LEO.

Las constelaciones de satélites de orbita Baja LEO son las más apropiadas para una red de comunicaciones personales cuyo objetivo es el establecimiento de comunicaciones móviles mediante satélites en orbita manteniendo contacto con estaciones terrenas fijas y estaciones terrenas móviles, para así obtener un sistema global de comunicaciones móviles por satélite, que permita el acceso a lugares remotos sin necesidad de grandes infraestructuras terrestres adicionales. Las personas que viajan a cualquier lugar del planeta, pueden usar la misma terminal móvil con los servicios a los que estén suscritos por ejemplo voz y transmisión de datos, sin necesidad de utilizar equipos diferentes, cuando cambien de país.

Mientras que cualquier sistema de telefonía móvil presenta problemas debidos a barreras reguladoras al cambiar de país, esto no sucede con el sistema de

comunicaciones personales por satélite de órbita Baja LEO, facilitando la definición y el lanzamiento de los sistemas de comunicaciones móviles mundiales.

Varios operadores de Comunicaciones Personales por Satélite como GlobalStar, Inmarsat-P, Iridium, son sistemas basados en diferentes tecnologías como son sistemas de órbita Baja LEO, sistemas de órbita Media (ICO o MEO) etc.

Es necesario distinguir los siguientes aspectos: Hand – off, enlaces ínter - satélites y haces puntuales para distinguir las características de los sistemas que utilizan satélites Leo.

### **1.7.1 Sistemas de satélites "little-LEO".**

Los sistemas little-LEO utiliza satélites LEO de pequeño tamaño y bajo peso que usan frecuencias dentro de los 800 MHz para aplicaciones de velocidades binarias de 1Kbps -10 kbps. Los sistemas "little-LEO" tienen una mayor limitación estos servicios adicionales en mensajes y transmisión de datos.

La Conferencia Administrativa Mundial de Radio (World Administrative Radio Conference WARC) asignó la frecuencia de operación de 399.9 a 400.05 MHz para todas las regiones y las de 455 - 456 MHz y 459 - 460 MHz para las comunicaciones tierra-espacio (enlace ascendente) en la Región 2 (América).

### **1.7.2 Sistemas de satélites "big-LEO".**

Comparándolos con los sistemas "little-LEO", los sistemas "big-LEO" se caracterizan por ser los satélites de mayor tamaño y por disponer de mayor potencia y usan frecuencias dentro de los 2GHz con una frecuencia de operación de 1610-1626.5 / 2483.05 - 2500 MHz, soportando velocidades de varios Mbps para poder proporcionar diferentes servicios a sus usuarios, que incluyen servicios de voz, transmisión de datos, fax y radio-ubicación. Los sistemas "big-LEO" tienen mayor capacidad y ofrecen servicios como, transmisión de voz y datos en tiempo real.

### 1.7.3 Hand-off.

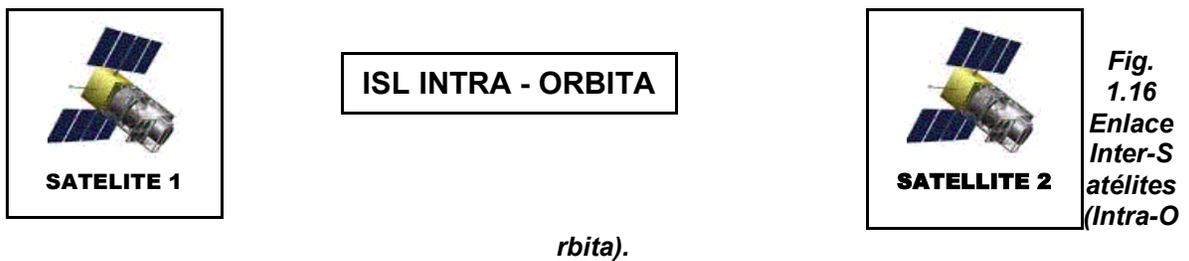
Una característica de los satélites de órbita Baja Leo es el hand-off (o hand-over) que se produce en el momento en el que un usuario abandona, durante el transcurso de una comunicación, el área de influencia de un satélite para pasar a la zona de influencia de otro satélite, este hecho es igual al caso de telefonía móvil celular terrestre, salvo en el hecho de que las estaciones base de ésta están fijas y es el usuario el que se mueve, mientras que en un sistema de satélites la terminal móvil puede considerarse fija debido a la gran velocidad, respecto de la superficie de la Tierra, con la que se mueve el satélite. Hace que el número de hand-off sea mucho mayor, siendo, por lo tanto, este aspecto más crítico que en el caso de la telefonía celular terrestre.

Cuando se produce un hand-off el objetivo principal es mantener la comunicación, por lo que se inicia la comunicación utilizando un nuevo satélite antes de terminar la comunicación con el antiguo satélite sin interrumpir por tanto la llamada. Debido a esto es necesario tener satélites colocados muy cercanos uno detrás de otro para que así las huellas de los satélites, estén prácticamente encimadas en la última porción una con otra, para que el usuario mantenga una comunicación continua a través de la red.

### 1.7.4 Enlaces Inter-satélites (Intersatellite link [ ISL ]).

La posibilidad en los sistemas big-LEO de establecer una red entre los satélites, independiente de la red terrestre, mediante el uso de enlaces Inter-satélites, es una característica importante de los sistemas de órbita Baja LEO. Estos enlaces posibilitan el diseño de un sistema independiente de la red terrestre, pudiendo, al menos teóricamente, ofrecer servicio aún en el caso de desastres como puede ser un terremoto. También facilitan el proceso de hand-off, y en algunos casos son necesarios para el funcionamiento de la red, como puede ser el caso de un satélite que sobrevuela un océano y no tiene ninguna Puerta de enlace terrestre a la vista.

Estos enlaces se realizan con estaciones contiguas (al norte, sur, este y oeste) y hay que señalar que existen dos tipos de enlaces Inter-satélites, entre los de la misma órbita (intra-órbita) y entre los de dos órbitas distintas (inter-órbita). Los primeros son más fáciles de realizar como se muestra en la fig.1.16, puesto que al girar en la misma órbita la posición relativa de los dos satélites es la misma en todo instante y la antena que lo hace posible puede permanecer inmóvil.



En el caso de los enlaces inter-órbita fig.1.17 la solución no es tan sencilla, necesiándose una redirección del haz de la antena. Es por esto que algunos sistemas de satélites LEO consideran los enlaces intra-órbita, mientras que no implementan enlaces inter-órbita.



Fig. 1.7 Enlace Inter-Satélites (Inter-Órbita).

1.7.5 Haces puntuales.

Al igual que en el caso de la telefonía celular, en el que el área a cubrir se divide en células de menor tamaño para poder llevar a cabo una reutilización de frecuencias, se puede hacer una división del área de cobertura de un satélite en células de menor tamaño utilizando en él antenas con múltiples haces puntuales. Además de la ventaja que supone la reutilización de frecuencias, hay que añadir que al tener cada uno de estos haces una mayor directividad aumenta a su vez la ganancia de la antena, con lo que se puede reducir la potencia que la terminal móvil debe transmitir.

La elección de la técnica de acceso múltiple al medio a utilizar está muy relacionada con las ventajas finales de dividir el área de cobertura del satélite en pequeñas células. En sistemas CDMA se puede utilizar la misma frecuencia en distintas áreas, reduciéndose el efecto de interferencia entre las distintas señales mediante un receptor, que discrimina las señales según el código que se usó para crearla. Por lo tanto, en redes que utilizan CDMA el partir el área de cobertura en células pequeñas no es una ventaja tan grande como en otros que utilicen FDMA. Por ejemplo, Iridium, que emplea TDMA con FDMA considera 48 haces en cada satélite, mientras que Globalstar, que emplea CDMA, tiene 16 haces por satélite, aunque el área de cobertura de cada uno sea significativamente mayor que los de Iridium. Comparando los haces, es mejor un haz mas estrecho que a pesar de cubrir menos área, proporciona mayor potencia en la huella que proyecta, mientras que un haz que abarca una mayor área, proporciona una potencia menor en su huella, este aspecto es significativo para señalar que Iridium proporciona mayor potencia por sus haces que Globalstar.



*Fig. 1.18 Representación visual de un haz.*

## 2 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR SATELITE.

Un sistema de comunicación, comprende un transmisor, un medio de transmisión y un receptor, como se observa en la fig. 2.1.



*Fig. 2.1 Sistema de transmisión.*

**Transmisor:** Es el conjunto de uno o mas dispositivos electrónicos, que convierten la información de la fuente original a una señal que puede ser enviada a través del medio de transmisión.

**Medio de transmisión:** Transporta las señales desde el transmisor hasta el receptor. Se transportan en formas de onda electromagnética, utilizando conductores de cobre, fibra óptica y el espacio libre. El espacio libre es muy util para transmitir a grandes distancias, sobre terrenos difíciles y en los cuales sea costosa la instalación de conductores.

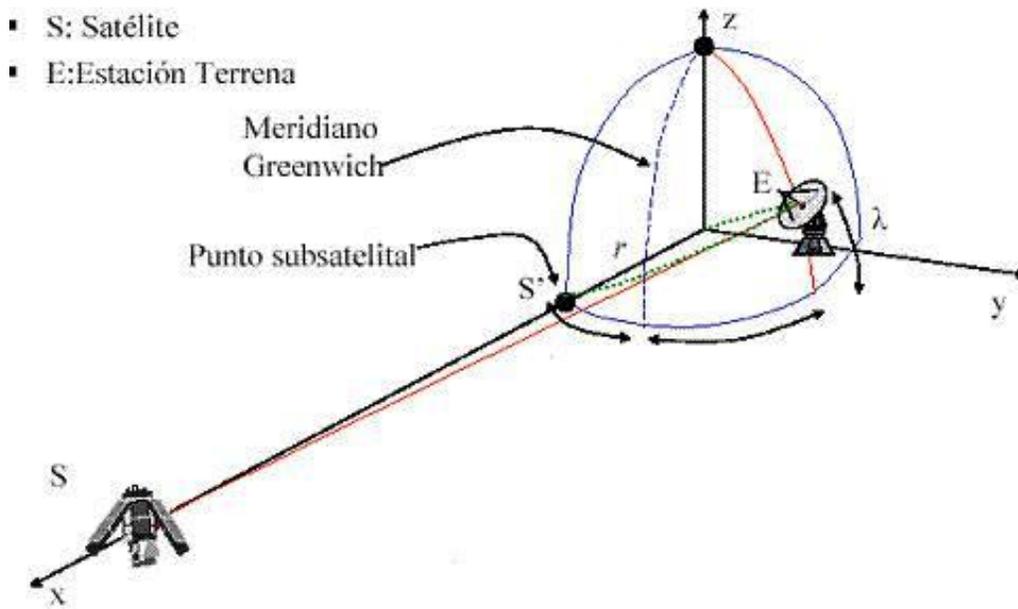
**Receptor:** Un conjunto de dispositivos electrónicos, que aceptan del medio de transmisión las señales trasmitidas y las reconvierte a su forma original.

En un sistema satelital, la transmisión de señales es enviada por medio de satélites y por las estaciones terrestres el medio de transmisión que se ocupa es el espacio libre. Un sistema de comunicaciones por satélite tiene un óptimo funcionamiento cuando la dirección de ganancia máxima de la antena de estación terrestre, se apunta directamente hacia el satélite.

### 2.1 ANGULO VISUAL DE UNA ANTENA.

Para asegurar que la antena de la estación terrestre esta alineada se deben determinar dos ángulos: El azimut y la elevación. Que en conjunto se les llama ángulo visual de la antena.

Como se muestra en la fig.2.2, la ubicación de un satélite se identifica con un punto en la superficie terrestre directamente abajo del satélite al que se le llama punto subsatelital (SSP, SubSatellite Point). Estos puntos y las ubicaciones de las estaciones terrestres se especifican con coordenadas normales de latitud y longitud. La convención normal especifica los ángulos de longitud entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$  al este o al oeste del meridiano de Greenwich. Las latitudes de hemisferio norte y de hemisferio sur son ángulos de  $0$  a  $90^\circ$ .



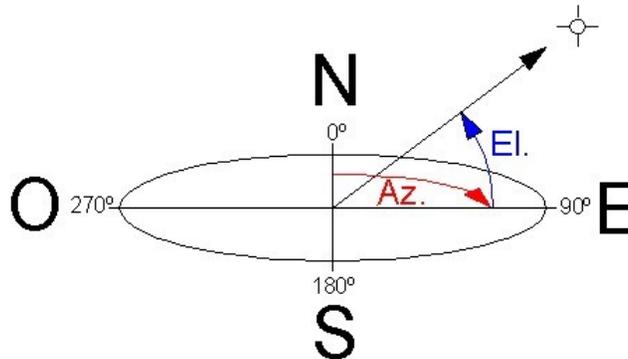
**Fig. 2.2 Punto Subsatelital.**

### 2.1.2 Ángulo de elevación.

Es el ángulo vertical que se forma entre la dirección de movimiento de una onda electromagnética irradiada por una antena de estación terrestre que apunta directamente hacia un satélite, y el plano horizontal. En tanto el ángulo de elevación, es menor la distancia que debe recorrer una onda propagada a través de la atmósfera terrestre es mayor. Como una onda propagada por la atmósfera terrestre, sufre absorción y se puede contaminar con ruido, se considera que  $5^\circ$  es ángulo de elevación mínimo aceptable.

### 2.1.3 Angulo azimut.

Es el ángulo horizontal de apuntamiento de una antena de estación terrestre, que puede ser desde el punto norte o desde el punto sur, como se observa en la fig.2.3.

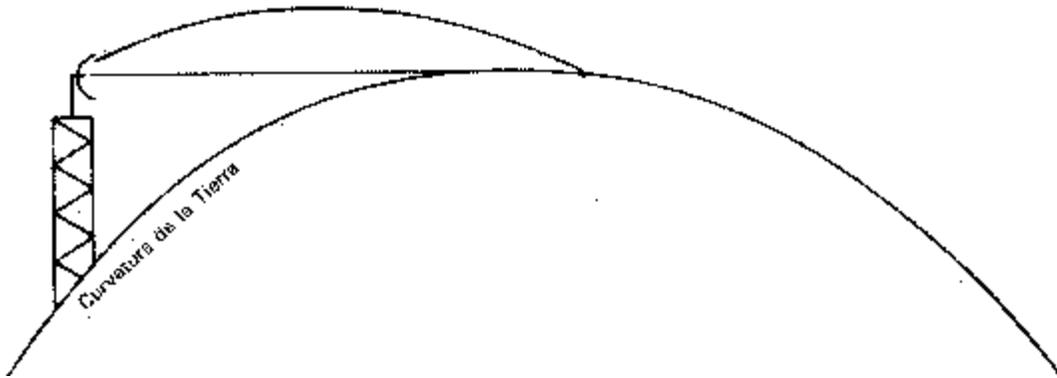


*Fig. 2.3 Az.- Angulo azimut, El.- Angulo de elevación.*

### 2.1.4 Limite de visibilidad.

Como se observa en la fig. 2.4, para una estación terrestre en un lugar determinado, la curva de la Tierra establece los límites de visibilidad, es decir, los límites de la línea de vista, que determina el máximo alejamiento del satélite que se puede ver en dirección este u oeste de la longitud de la estación.

La distancia máxima de línea de vista se tiene cuando la antena de estación terrestre apunta en el plano horizontal, ángulo de elevación cero. Sin embargo en la practica el ruido que se capta de la Tierra y la atenuación de la señal por la atmósfera terrestre con ángulo de elevación cero son excesivos. Se suele aceptar que  $5^\circ$  es el ángulo de elevación útil. Los límites de visibilidad dependen, en parte de la elevación del satélite así como de la latitud y longitud de la estación terrestre.



*Fig. 2.4 Limite de visibilidad.*

## 2.2 PATRON DE RADIACION DE ANTENAS.

La direccionalidad de la antena esta caracterizada en términos de su radiación.

La ganancia de una antena varía de acuerdo con la dirección y se muestra por medio de los patrones de radiación.

Estos patrones son un conjunto de fuerza relativa de campo radiado, amplitud y fase, como funciones de parámetros angulares de un sistema esférico coordinado con un radio constante.

Los patrones de radiación comprenden un haz principal y una estructura de lóbulos laterales, que es mostrada como un conjunto bidimensional.

Son considerados dos patrones de radiación. Un patrón que irradia potencia sobre el plano vertical y otro que irradia potencia en el plano horizontal.

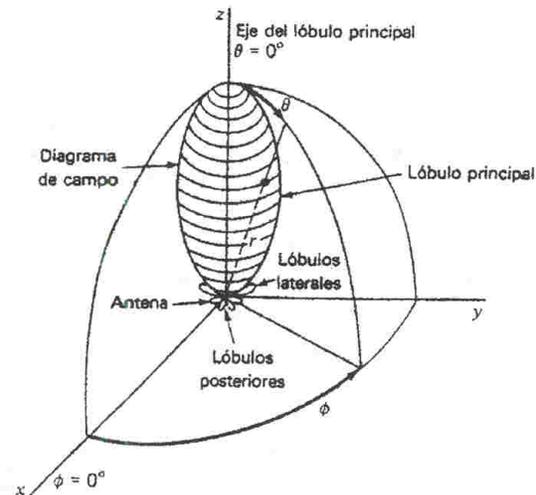
- **Lóbulo Principal:** La dirección con mayor importancia a donde se desea concentrar la mayor cantidad de potencia.

- Lóbulos Laterales y Posteriores: Direcciones donde no se tiene interés en concentrar potencia.

El pico del Lóbulo principal representa el más alto nivel de fuerza de campo. La región de lóbulos laterales representa una fuente potencial de interferencia en el enlace de comunicación.

Cuando el Patrón de Radiación se considera en términos de la intensidad de Campo Eléctrico o de la Densidad de Potencia, se denomina Patrón de Radiación Absoluto. Cuando se considera la intensidad de Campo Eléctrico ó la Densidad de Potencia en relación a un valor sobre un punto de referencia, se llama Patrón de Radiación Relativo.

El patrón de radiación debe concentrar la mayor cantidad de potencia sobre una dirección o área específica. Por lo que se procura que la señal tenga un camino donde exista mayor potencia para hacer un mejor enlace, también, para eliminar la potencia radiada en otra dirección pues originan interferencias sobre las señales.



**Fig. 2.5 Patrón de radiación.**

### 2.2.1 Haces puntuales (spot-beam).

Los haces mas pequeños son los haces puntuales, y les siguen los haces

zonales. Los haces puntuales encuentran su potencia en áreas geográficas muy pequeñas y en consecuencia suelen tener PIER (Potencia Isotrópica Efectiva Radiada) mayores que los que abarcan áreas mucho mayores, por que determinada potencia de salida se puede concentrar más. Los haces puntuales y los zonales cubren menos del 10% de la superficie terrestre. Mientras mayor sea la frecuencia del enlace de bajada, un haz puede ser enfocado con más facilidad hacia una zona más pequeña.

### **2.2.2 Haces Hemisféricos.**

Las antenas de enlace descendente hemisférico en forma característica cubren hasta el 20% de la superficie terrestre y, por consiguiente el PIER que es 50% menos que las transmitidas por haces localizados que abarcan el 10 % de la superficie terrestre. Término relativo a los haces. Se refiere a las zonas de cobertura y más concretamente, a las señales de un satélite. Puede cubrir toda una porción de la superficie de la Tierra, 21 % de la superficie total del globo. Los satélites Inelsat o Gorizont, por ejemplo, poseen haces hemisféricos.

### **2.2.3 Haces Globales.**

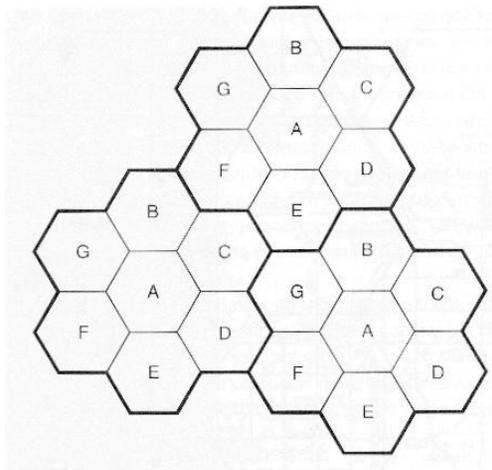
Las zonas de coberturas globales de los satélites, es la máxima zona de cobertura, es decir, que ésta cubre toda la región de la Tierra, visible del satélite. Es la más extendida con lo que el PIRE es el más débil. El haz global cubre un tercio de la tierra, los niveles de potencia son bastante menores en los haces globales que en los localizados y son necesarios grandes platos receptores para detectar en forma adecuada emisiones de video, audio y datos.

### **2.2.4 Reuso.**

Cuando se llena una banda asignada de frecuencias, se puede obtener una capacidad adicional reusando el espectro de frecuencias. Si se aumenta el tamaño de

una antena (aumenta la ganancia de la antena), también se reduce su ancho de banda. Así se pueden dirigir distintos haces de la misma frecuencia a distintas áreas geográficas de la Tierra. A esto se le llama reuso de frecuencia. Otro tipo de reuso es la polarización dual. Se transmiten distintas señales de información hacia distintos receptores en Tierra usando la misma banda de frecuencias, tan solo con orientar sus polarizaciones electromagnéticas ortogonalmente (desfasadas  $90^\circ$ ). La polarización dual es menos efectiva, porque la atmósfera terrestre tiene una tendencia a reorientar, o repolarizar, una onda electromagnética que pase por ella. El reuso es otro modo para aumentar la capacidad del ancho de banda limitado.

En la fig. 2.6 se observa la aplicación del reuso de frecuencia, las células con la misma letra utilizan la misma frecuencia, la capacidad de canales es directamente proporcional a la cantidad de veces que se duplica un grupo.



**Fig. 2.6 Reuso.**

### **2.2.5 Huellas (Coberturas).**

Las antenas del satélite reciben las señales de radiofrecuencia provenientes de las estaciones terrenas transmisoras, y después de que son procesadas en el satélite, la transmiten de regreso hacia la Tierra, concentradas en un haz de potencia. Las señales de varios transpondedores se enlazan de bajada a través de la misma antena, emitiendo energía que se entrega a los equipos receptores.

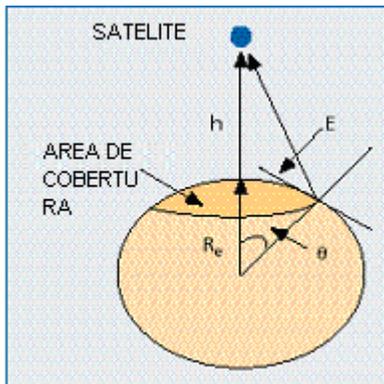
Los niveles de potencia de recepción son mayores en las áreas hacia las que apunta la mira de la antena de bajada y más débiles fuera de esas áreas. Un plato de antena receptora cerca de la orilla del área de cobertura de un satélite debe de ser mayor que los que estén en el centro o cerca del centro del mapa de la huella. Son necesarias antenas de estación terrestre con diámetros extremadamente grandes para recibir emisiones satelitales en áreas geográficas a grandes distancias de la mira de la antena de enlace de bajada. Los satélites lanzados recientemente han empleado antenas más complicadas de conformación de haz, en el enlace de bajada, que permiten conformar las huellas para llegar solo a áreas específicas y, por lo mismo no desperdician potencia en áreas no planeadas.

Es posible diseñar antenas satelitales de enlace de bajada que puedan cubrir áreas sobre la tierra cuyo tamaño va desde ciudades extremadamente pequeñas hasta llegar a cubrir un 42 % de la superficie terrestre. El tamaño, forma, orientación de estas antenas y la potencia generada por cada transpondedor de terminan la cobertura geográfica y los PIER.

El área de cobertura de un satélite, se puede considerar como el segmento esférico de la superficie terrestre en que el satélite puede ser visto bajo un ángulo de elevación, el límite de la huella esta dado por el ángulo mínimo de elevación y la altura de la orbita en que se encuentra ubicado el satélite.

En la fig. 2.7 se muestra una imagen del área de cobertura, de la cual se pueden apreciar:

- **(Re) Radio de la Tierra.**- Es la distancia formada de la circunferencia de la Tierra al centro de la superficie terrestre.
- **( ) Angulo central.**- Es todo ángulo cuyo vértice está en el centro de la circunferencia que forma la Tierra.
- **(h) Altura del satélite.**- Altura a la que se encuentra situado el satélite.
- **(E) Angulo mínimo de elevación.**- Angulo de elevación mínimo, en que el satélite puede ser visto.



*Fig. 2.7 Ejemplo de Cobertura.*

### 2.3 SISTEMA SATELITAL.

Básicamente un sistema satelital es un sistema repetidor. La capacidad de recibir y retransmitir se debe a un dispositivo receptor-transmisor llamado transponder recibe una parte del espectro, la amplifica y retransmite a otra frecuencia para evitar la interferencia de señales.

Un sistema satelital consiste de un número determinado de transponders, además de una estación terrena maestra para controlar su operación, y una red de estaciones terrenas de usuarios, cada uno de los cuales posee facilidad de transmisión y recepción.

El control se realiza generalmente con dos estaciones terrenas especiales que se encargan de la telemetría, el rastreo y la provisión de los comandos para activar los servicios del satélite.

Los sistemas satelitales constan de las siguientes partes: Estación emisora, satélites, estación receptora.

- **Estación emisora:** Esta compuesta por el transmisor y la antena de emisión. Esta señal es enviada y captada por el satélite.

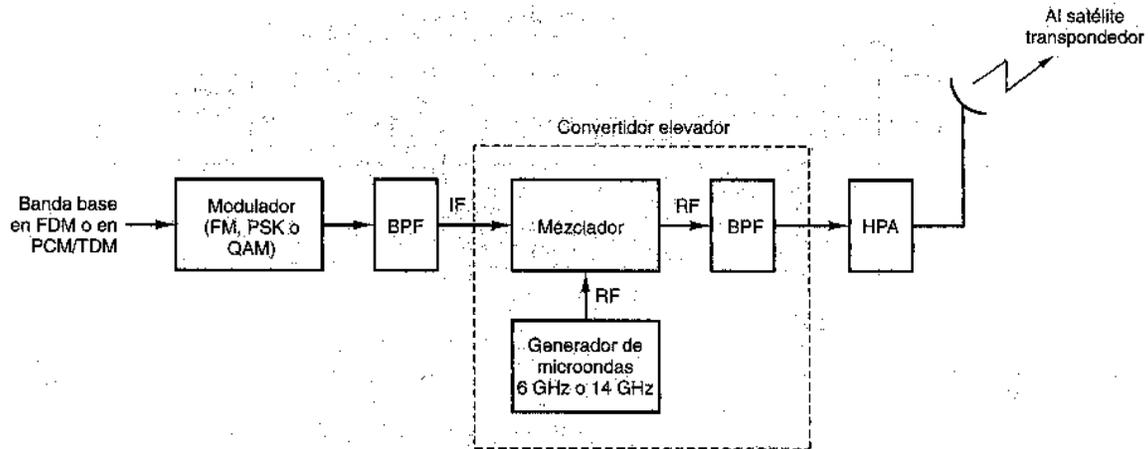
- **Satélites**.- Recibe la señal transmitida y la envía a la estación receptora.
- **Estación receptora:** Recibe toda la información generada en la estación transmisora y retransmitida por el satélite.

Un sistema satelital consta de tres secciones básicas: un enlace de subida, un satélite transpondedor y el enlace de bajada.

### 2.3.1 Enlace de subida.

El principal componente de esta sección en un sistema satelital es la estación terrestre transmisora. Una estación terrestre transmisora consiste en un modulador de FI (frecuencia Intermedia), típicamente a 70 MHz después de pasar a través un convertidor elevador de frecuencia FI a microondas RF, un amplificador de alta potencia, y un filtro pasa banda de salida la portadora modulada abandona el conversor con la frecuencia de portadora elevada hasta normalmente 1 GHz.

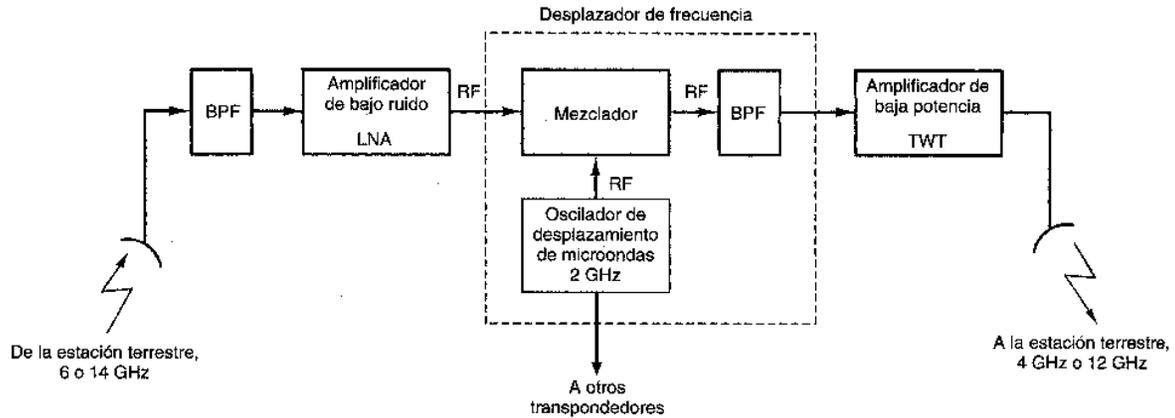
El modulador FI convierte las señales de banda base que entran a una frecuencia intermedia modulada FM, PSK o QAM. El convertidor elevador, que es un mezclador y filtro pasa bandas, convierte la FI a una RF adecuada de portadora El amplificador de alta potencia proporciona la sensibilidad adecuada de entrada y la potencia de salida para propagar la señal hasta el satélite transpondedor.



**Fig. 2.8 Diagrama a bloques de enlace de subida.**

### 2.3.2 Transpondedor.

Consta de un filtro pasa bandas, un amplificador de bajo ruido de entrada, un desplazador de frecuencia, un amplificador de potencia de bajo nivel y un filtro pasa bandas de salida. Los transpondedores pueden ser repetidores de RF a RF, repetidores de FI y de banda base. El filtro pasa bandas de entrada limita el ruido total aplicado a la entrada del amplificador de bajo ruido. La salida del amplificador de bajo ruido alimenta a un desplazador de frecuencias que es un oscilador de desplazamiento y un filtro pasa bandas, que convierte la frecuencia de banda alta de enlace de subida, en frecuencia de banda baja del enlace de bajada. El amplificador de potencia de bajo nivel, amplifica la señal de RF para su transmisión por el enlace de bajada, hacia las estaciones receptoras terrestres. Cada canal satelital de RF requiere un transpondedor por separado.

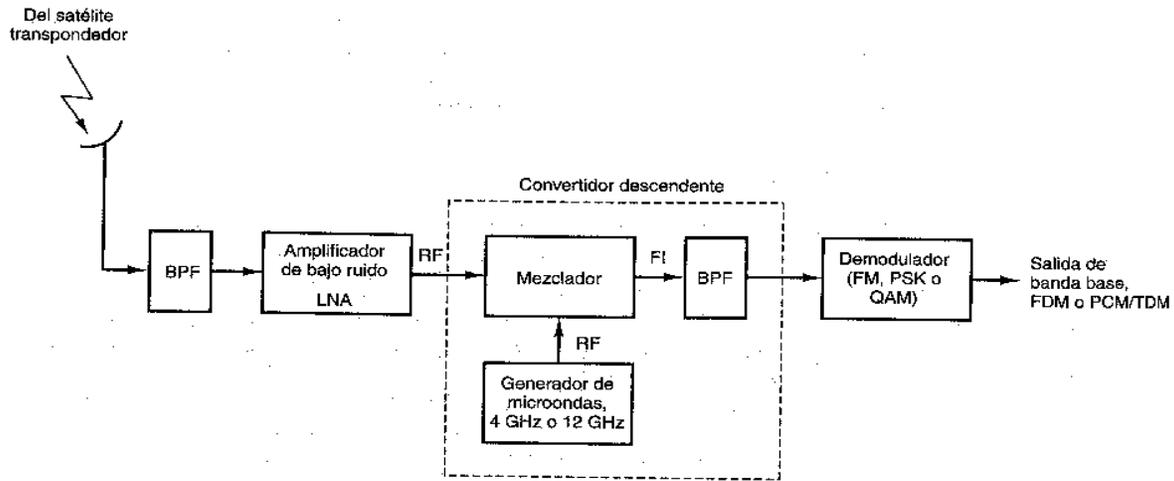


**Fig. 2.9 Diagrama a bloques de Transpondedor.**

### 2.3.3 Enlace de bajada.

Un receptor en la estación terrestre comprende un filtro pasa bandas de entrada, un amplificador de bajo ruido y un convertidor descendente de RF a FI que es una combinación de mezclador y filtro pasa bandas, encargado de convertir la señal de RF recibida a una frecuencia FI.

La antena de la estación terrena proporciona un gran ancho de banda a emisiones, recibidas del satélite, su primer conversor descendente sintoniza la frecuencia adecuada para seleccionar la portadora requerida, para que ésta pase a un demodulador, también conocido como demodulador del satélite. Este aparato puede recibir una señal modulada de altas frecuencias y transformarla en informaciones de frecuencias intermedias.



*Fig. 2.10 Diagrama a bloques de enlace de bajada.*

## 2.4 PARAMETROS DEL SISTEMA SATELITAL.

### 2.4.1 Perdida por reducción.

En la transmisión de estaciones terrestres a satélites se tiene una pérdida de potencia, por lo que para reducir la cantidad de distorsión por intermodulación causada por la amplificación no lineal del amplificador de alta potencia se debe reducir la potencia de entrada en varios dB. Esto permite que el amplificador de alta potencia funcione en una región más lineal. La cantidad de reducción de nivel de salida respecto a los niveles nominales equivale a una pérdida, a la que se le llama pérdida por reducción.

### 2.4.2 Potencia de transmisión y energía de bit.

Para funcionar con la mayor eficiencia, un amplificador de potencia debe trabajar tan cerca como sea posible de la saturación. La potencia de salida de un transmisor de estación terrestre a satélite es mucho mayor que la de salida de un amplificador de potencia de transmisor terrestre de microondas. Debido a que en QPSK la banda base de entrada suele ser una señal multiplexada por división de tiempo y codificada por PCM de naturaleza digital. Para este caso un parámetro que

indica la potencia de la portadora es la energía por bit. La energía por bit se define como la energía acumulada en el receptor debido a la recepción de la potencia de portadora durante el intervalo de tiempo que con lleva la recepción de

un bit de información. Es decir, cada bit transmitido se modula por medio de la secuencia de bits de código del patrón de referencia. Es posible generar una señal digital en que, cada elemento represente una determinada secuencia de bits del mensaje digital

### 2.4.3 Potencia efectiva irradiada isotrópicamente PIER

El PIER es la potencia efectiva radiada, es el resultado de la combinación de la potencia del transmisor con la ganancia de la antena en una dirección determinada, por ejemplo, hacia el satélite o del satélite hacia la estación receptora. El PIER se determina como el producto de la potencia total irradiada a la antena por la ganancia de esta, en una dirección determinada. Se expresa en dBW.

Se expresa:

$$\text{PIER} = P_{\text{rad}} D_t \text{ (watts)} \quad (3.1)$$

Donde  $P_{\text{rad}}$  = potencia total irradiada (watts)

$D_t$  = ganancia directiva de la antena de transmisión (adimensional)

o bien (3.1a)

o bien (3.1b)

La ecuación (3.1) se puede escribir en función de la potencia de entrada y la ganancia de la potencia de la antena, como sigue:

$$\text{PIER} = P_{\text{ent}} A_t \quad (3.1c)$$

en donde  $P_{\text{ent}}$  = potencia total de entrada de la antena (watts)

$A_t$  = ganancia de potencia de la antena de transmisión

(adimensional)

o bien (3.1d)

(3.1e)

## 2.5 TEMPERATURA EQUIVALENTE DE RUIDO.

En los sistemas satelitales de comunicación con frecuencia es necesario medir el ruido en incrementos tan pequeños como una décima o centésima de decibel. La temperatura equivalente de ruido se puede determinar como:

$$T_e = T(F-1) \quad (3.2)$$

Donde:

$T_e$  = Temperatura equivalente de ruido

$T$  = Temperatura de ambiente

$F$  = Factor de ruido (adimensional)

Las temperaturas equivalentes de ruido características de los receptores que se usan en los transpondedores de satélites son de unos 1000° Kelvin. Para los receptores de estación terrestre, los valores de la temperatura equivalente de ruido son de 20 a 1000 K. La temperatura equivalente de ruido es más útil en general cuando se expresa en forma logarítmica en unidades dBK como sigue:

$$T_{e(dBk)} = 10 \log T_e \quad (3.2a)$$

La temperatura de ruido  $T_e$  representa la potencia de ruido presente en la entrada a un dispositivo, mas el ruido agregado internamente por ese dispositivo el ruido equivalente de la temperatura es un parámetro muy útil al evaluar el desempeño de un sistema satelital.

### 2.5.1 Densidad de ruido

Es la potencia de ruido termal generada dentro de una fuente, por hertz en un ancho de banda. La densidad de ruido se determina por:

$$(3.3)$$

en donde  $N_0$  = Densidad de potencia de ruido (watts por hertz)

$K$  = Constante De boltzmann ( )

$T$  = Temperatura absoluta (kelvin) (temperatura ambiente = 17°C o 290K) donde 0k = -273°C.

Por lo tanto, a la temperatura ambiente con un ancho de banda de 1Hz, la densidad de potencia de ruido es:

$$\begin{aligned} N_0 &= 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K} \times 290 \text{ K} \\ &= 4 \times 10^{-21} \text{ W/Hz} \end{aligned}$$

Expresada en dBm  $N_0(\text{dBm}) =$  (3.3a)

=

$$= -174 \text{ dBm}$$

La potencia total de ruido es igual al producto del ancho de banda y la densidad de potencia de ruido. Por lo tanto la potencia total de ruido en el ancho de banda B es:

$$N = KTB \quad (3.3b)$$

En donde  $N$  = La potencia de ruido en el ancho de banda B (watts)

$N_0 = KT$  = La densidad de potencia de ruido (watts por hertz)

$B$  = ancho de banda del disparo o sistema (hertz)

Y expresada en dBm  $N(\text{dBm}) =$  (3.3c)

El ruido térmico es directamente proporcional al producto del ancho de banda del sistema y la temperatura absoluta de la fuente. El ruido térmico total puede expresarse como:

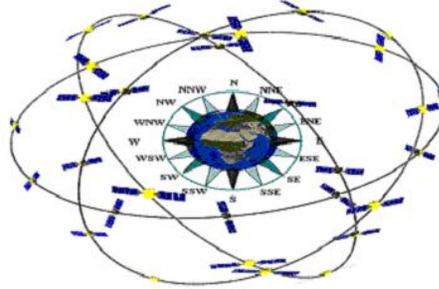
$$N (\text{dBm}) = -174 + 10 \log B \quad (3.3d)$$

## 2.6 RED DE COMUNICACIONES PERSONALES.

La dirección actual de la investigación en sistemas de comunicaciones móviles se encaminan al uso de constelaciones de satélites con objeto de proporcionar una cobertura global, que no puede lograrse con las redes celulares terrestres, por no ser posible, como en los océanos y en los polos, o porque no es viable, como en zonas despobladas. Desde el desarrollo de los primeros sistemas de comunicación con satélites se vio que una de las principales ventajas de éstos era la posibilidad de lograr dar cobertura a todo el globo terrestre.

La tendencia actual de la telefonía celular es la posibilidad de tener un pequeño teléfono inalámbrico que pueda ser utilizado en cualquier parte del mundo, respondiendo al mismo número de teléfono se esté donde se esté, y que ofrezca servicios tanto de voz, como de fax y transmisión de datos.

En el desarrollo de esta red de comunicaciones personales existe la posibilidad de usar una constelación de satélites reforzada con la red celular terrestre, de modo que en el momento en que un usuario no pueda acceder a la red terrestre, porque no tenga cobertura o porque no existan canales libres, exista la posibilidad de establecer la comunicación a través de la red de satélites, como se muestra en la fig. 2.11.



*Fig. 2.11 Ejemplo de una red de comunicaciones satelitales.*

### 2.6.1 Altas Frecuencias

Las frecuencias elevadas (bandas L, Ku y Ka) permiten a los transmisores enviar más información por segundo. La característica de las altas frecuencias es que pueden transportar más información, pero necesitan más potencia para evitar los bloqueos, antenas de grandes dimensiones y equipos más caros.

Concretamente, las bandas más utilizadas en los sistemas de satélites son:

- **Banda L.**

Rango de frecuencias: 1.53-2.7 GHz.

Ventajas: Grandes longitudes de onda que pueden penetrar a través de las estructuras terrestres.

Inconvenientes: Poca capacidad de transmisión de datos.

- **Banda Ku.**

Rango de frecuencias: en recepción 11.7-12.7 GHz, y en transmisión 14-17.8 GHz.

Ventajas: Longitudes de onda medianas que traspasan la mayoría de los obstáculos y transportan una gran cantidad de datos.

Inconvenientes: La mayoría de las ubicaciones están otorgadas.

- **Banda Ka.**

Rango de frecuencias: 18-31 GHz.

Ventajas: Sus longitudes de onda transportan grandes cantidades de datos.

Inconvenientes: Son necesarios transmisores muy potentes.

## **2.7 MODULACION.**

Es la modificación de alguno de los parámetros que definen una onda portadora como son su amplitud, frecuencia y/o fase, por una señal moduladora. La modulación permite adaptar una señal a un medio de transmisión, hace viajar la información por sitios por donde no viajarían en condiciones normales. Por ejemplo un auto que viaja de México a Cuba, hace su recorrido por las carreteras, pero al llegar al mar, el automóvil no puede continuar con su viaje. La solución a este percance es subir el coche a un barco y entonces el barco que lo transporte a cuba que es su destino.

El objeto de la transmisión se denomina señal moduladora y a lo que le permite viajar es la señal portadora.

Portadora: Transporta la información a través del sistema. La frecuencia, la fase de una señal puede interrumpirse o la amplitud alterarse para que queden como una serie de pulsos que correspondan a una clave conocida entonces la señal puede transmitir información.

Señal Moduladora: Es el objeto de la transmisión. Es el proceso de cambiar una o más propiedades de la portadora, en proporción de la señal de información. El proceso de modificar una portadora para que transmita una señal que pueda interpretarse. La señal de información modula a la portadora, cambiando su amplitud, su frecuencia o su fase.

### **2.7.1 Modulación digital.**

En la modulación digital por PCM, ejemplo, se tiene una señal portadora discreta, por ejemplo un tren de pulsos periódicos, que es semejante a la onda continua de una señal analógica, solo que se sustituye la señal portadora sinusoidal por una señal portadora de tren de pulsos, esta señal tiene la característica de representar dos valores, que son un valor alto y un valor bajo, que representados en una forma lógica se les asignan valores binarios de esta forma al valor alto se le denomina como 1 y al nivel bajo se le denomina como 0.

Para obtener una señal digital se necesita transformar una señal analógica a 0's y 1's (niveles altos y niveles bajos), para lograr esto es necesario realizar tres pasos, que son:

Muestreo: Tomar muestras a intervalos regulares de tiempo.

Cuantificar: Ver cuanto vale cada muestra o que valor tiene asignada la muestra.

Codificar: Convertir la muestra a 0's y 1's.

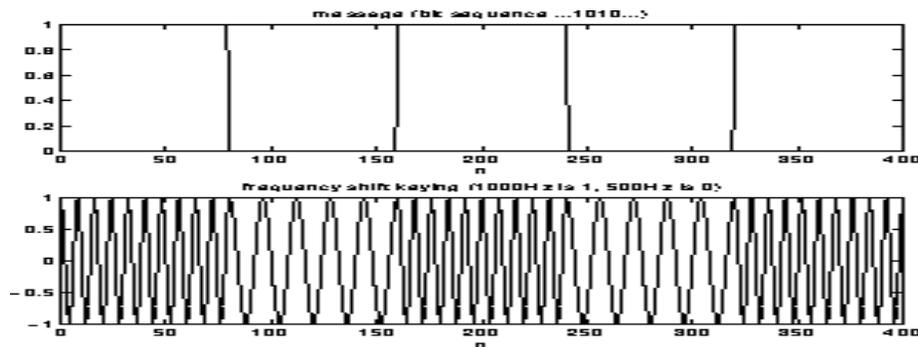
Son 3 las formas en que una señal puede ser digitalizada; por codificación por cambio de frecuencia, codificación por cambio de amplitud así como de fase y codificación por cambio fase.

La codificación por desplazamiento de amplitud y fase, así como la codificación

por cambio de fase, se señalaran dentro de la codificación M-aria, pues es la forma más común en que son utilizadas para la transmisión de señales

### 2.7.1.1 Transmisión por Desplazamiento De Frecuencia (FSK Phase Shift Keying).

Si la frecuencia varia en forma proporcional a la señal de información se produce la modulación por conmutación de frecuencia (FSK). La frecuencia de una señal portadora es adaptada en respuesta a patrones de 1's y 0's. El Cambio de la frecuencia (QFSK) significa el proceso de adaptar entre dos frecuencias diferentes como es mostrado en la fig. 2.12.



**Fig. 2.12 Desplazamiento de Frecuencia.**

Cuando la señal binaria de entrada cambia de un 0 lógico a 1 lógico y viceversa, significa que la frecuencia de salida se desplaza en dos frecuencias conocidas como frecuencia de 1 lógico o frecuencia de trabajo y frecuencia de 0 lógico o frecuencia de espacio.

### 2.7.2 Codificación M-aria.

M-ario es un término derivado de la palabra binario. M solo es un dígito que representa la cantidad de condiciones o combinaciones posibles para una determina cantidad de variables binarias.

En la técnica de codificación donde  $M = 4$ , existen 4 posibles combinaciones de salida, para una sola señal portadora (de ahí el nombre de "cuaternaria", que significa

“4”). Los datos de entrada binarios se combinan en grupos de 2 bits llamados dibits. Cada código dibit genera una de las cuatro fases de entrada posibles.

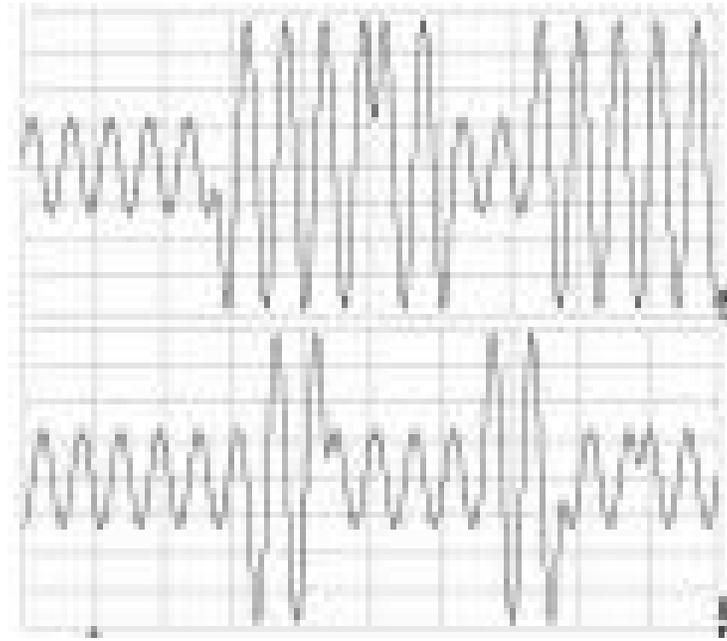
A continuación se muestran las 2 formas de modulación cuaternaria:

- QPSK ( Phase shift keying ) Codificación por cambio de fase.
- QAM ( Quadrature amplitude modulation ) En este caso se cambia la amplitud y fase.

### **2.7.2.1 Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM Qadrature Amplitude Modulation).**

Si se varía al mismo tiempo la amplitud y la fase, como se observa en la fig. 2.13, en proporción con la señal de información, resulta la modulación de amplitud en cuadratura (QAM).

Se trata de una combinación de PSK y AM. Modifica tanto la fase de señal como la amplitud permitiendo codificar el doble de información en una onda que con desplazamiento de fase (' PSK'). Es una técnica relativamente compleja dividida en cuatro fases que utiliza dos señales de la misma frecuencia pero desfasadas en noventa grados entre sí. Por cada señal se pueden aplicar cuatro niveles distintos de amplitud: A1-A2-A3 y A4. Combinando dos señales desfasadas noventa grados entre sí se pueden generar, por tanto, dieciséis condiciones distintas representando cuatro bits de información por cada una de ellas. Este tipo de modulación codifica más información por onda alcanzando un rendimiento mayor que permite comunicaciones más rápidas de datos.



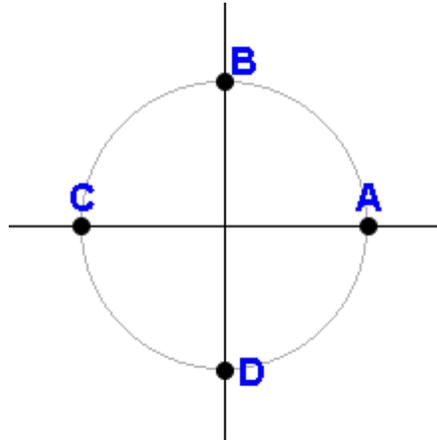
*Fig. 2.13 Modificación de la fase y la amplitud.*

### **2.7.2.2 Transmisión por Desplazamiento de Fase Cuaternaria (QPSK Quaternary Frequency Shift Keying).**

En la transmisión por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK) toda la información va transportada en la fase. Con 4PSK son posibles cuatro fases de salida, para una sola frecuencia de la portadora. Debido a que hay cuatro fases de salida diferentes, tiene que haber cuatro condiciones de entrada diferentes. Con 2 bits, hay cuatro posibles condiciones: 00, 01, 10 y 11.

Los datos binarios de entrada se combinan en grupos de dos bits, llamados dibits, cada dibit o grupo de dos bits, genera una de las 4 fases posibles de salida, de esta forma se obtiene un solo cambio de los 4 posibles a la salida. Cada uno de los cuatro fasores posibles de salida tienen exactamente la misma amplitud, esta característica de amplitud constante la distingue de la QAM. La separación angular constante entre dos fasores adyacentes es de  $90^\circ$ . La fase de la señal se desplaza unos grados, como respuesta al patrón de bits que quieren transmitirse, significando cada desplazamiento un patrón de 1's o 0's.

Las cuatro fases que el portador puede tener en un tiempo dado (4-PSK posibles), las cuatro fases se marcan {A,B,C,D} correspondientes a uno de los grados 0,90,180,270, como se muestra en la fig. 2.14. En QPSK, la información es transmitida sincronizando las variaciones, en cada vez el período, la fase puede cambiar una vez durante la transmisión y reteniendo en forma correcta cuando es demodulada en el receptor.



*Fig. 2.14 Las cuatro fases posibles de QPSK.*

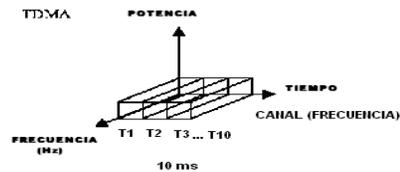
## 2.8 TECNICAS DE ACCESO MULTIPLE.

Uno de los aspectos más importante en el diseño de un sistema de comunicación es la solución al problema que supone el tener un gran número de usuarios interesados a acceder a él y disponer de una cantidad limitada de canales para que éstos puedan establecer la comunicación.

Un protocolo de acceso múltiple consiste en una estrategia de control de las transmisiones mediante la cual se intenta reducir todo lo posible la probabilidad de que se produzca una colisión al intentar dos o más usuarios realizar una transmisión a través del mismo canal de comunicación. El estudio de estos protocolos ha sido una materia fundamental en el desarrollo de las redes de computadoras, en las que múltiples terminales compiten por acceder a un mismo canal, procesador o servidor.

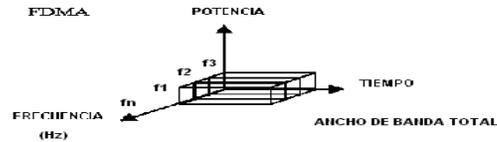
Como una primera clasificación de estos protocolos, podemos dividirlos en protocolos con contienda y sin contienda. En un protocolo sin contienda las transmisiones son organizadas, en el tiempo o en la frecuencia, de modo que el acceso al canal por parte de un usuario no es aleatorio, sino que debe atenerse a la asignación que le corresponde. Las técnicas clásicas de protocolos sin contienda son el acceso múltiple por división en frecuencia (Frequency Division Multiple Access [FDMA]) y el acceso múltiple por división en el tiempo (Time División Multiple Access [TDMA]). A su vez, en los protocolos sin contienda, la asignación del canal puede ser fijo, cada usuario tiene un canal fijo asignado, o bajo demanda, el canal es asignado en el momento en el cual se necesita, previa negociación con el sistema para poder utilizar un canal.

En el caso del TDMA fig. 2.15, a cada usuario se le asigna todo el ancho de banda disponible, pero sólo durante un periodo de tiempo limitado que se repite periódicamente, como por ejemplo 1ms en cada trama de 10ms. El hecho de que la transmisión deba ser intermitente hace que este tipo de acceso sea soportado solamente por sistemas digitales, que pueden almacenar temporalmente una cierta cantidad de bits, para transmitirlos en el periodo que le corresponde.



**Fig. 2.15 Técnicas de Acceso Múltiple por División en el Tiempo.**

Por otro lado en los sistemas FDMA fig.2.16, el espectro de frecuencia disponible se divide en sub-bandas, y al usuario se le asigna una sub-banda durante todo el tiempo que la necesite. A diferencia que en el caso de TDMA, el FDMA si puede utilizarse en un sistema analógico.



**Fig. 2.16 Técnicas de Acceso Múltiple por División en Frecuencia.**

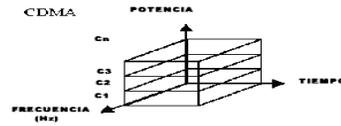
Tanto en el caso de TDMA como en el de FDMA hay que dejar un espacio entre los canales adyacentes para poder distinguirlos, tiempo de seguridad y banda de seguridad respectivamente.

En los protocolos con contienda los usuarios pueden realizar la transmisión prácticamente en cualquier momento en el que tengan necesidad. A estos protocolos también se les conoce como protocolos de acceso aleatorio. En los protocolos de acceso aleatorio, un usuario no tiene la certeza de que sus paquetes de datos no vayan a colisionar con los de otro, sin embargo tienen la gran ventaja de que la sincronización del sistema es significativamente más sencilla que por ejemplo el necesario en un sistema TDMA.

El protocolo de acceso múltiple por división en código (Code Division Multiple Access [CDMA]), puede ser incluido tanto entre los protocolos con contienda como entre los protocolos sin contienda. Será un protocolo con contienda si el número de transmisiones simultáneas hace que el nivel de interferencia esté por debajo, de modo que en el receptor pueda recuperar la señal satisfactoriamente. Si no es éste el caso estaremos ante un protocolo sin contienda, puesto que habrá una colisión en el momento en el que el nivel de interferencia supere dicho parámetro.

En el CDMA fig. 2.17, no hay restricciones de tiempo ni ancho de banda. Cada transmisor puede transmitir cuando quiera, y puede usar cualquiera de las bandas o todo el ancho de banda asignado a un sistema o canal satelital asignado, las transmisiones se codifican con una palabra binaria única. Para recibir la transmisión la

estación terrestre, debe de conocer la palabra binaria para recibir la información.



*Fig. 2.17 Técnicas de Acceso Múltiple por División en Código.*

### 2.8.1 Técnicas de Acceso Múltiple en sistemas de satélites.

En los inicios de las comunicaciones vía satélite, a mediados de los años sesenta, varios estudios señalaban al TDMA como la técnica de acceso múltiple más apropiada. La razón era que, debido a que se debía aprovechar al máximo la potencia de transmisión de los satélites, los amplificadores debían trabajar en saturación, obteniéndose ínter modulaciones indeseadas, que podían traducirse en interferencias entre los diferentes canales. Como en TDMA un único usuario puede acceder al transponedor en un determinado momento este problema no existe. Sin embargo, también señala un número de desventajas, entre las que cabe destacar que la naturaleza intermitente de la transmisión obliga a las estaciones terrestres a tener una alta relación de potencia de pico y potencia intermedia o relación de captura, lo que reduce la eficiencia de sus transmisores. Como ejemplo, grandes satélites lanzados en los 70 por el Departamento de Defensa Estadounidense o INTELSAT utilizaban TDMA.

CDMA es el principal candidato a convertirse en el protocolo de acceso múltiple de las PCN (Personal Communication Network). Una de las principales ventajas de las señales de espectro ensanchado es que, al introducir diversidad en frecuencia, son muy apropiadas para mitigar el efecto multicamino que puede producir desvanecimientos en el enlace. El ensanchado de espectro tiene también un buen comportamiento frente a las interferencias debido a su ancho espectro. Otra

característica que lo hace tan atractivo es que para la integración de las transmisiones orientadas a la transmisión de voz y de datos no necesita ninguna modificación, con lo que un servicio integrado de voz / datos es sencillo de ofrecer.

### **2.8.2 Consideraciones sobre tráfico.**

Un factor que afecta sensiblemente al rendimiento del sistema es la peculiar distribución del tráfico de llamadas que se encuentran en satélites que giran a baja altura.

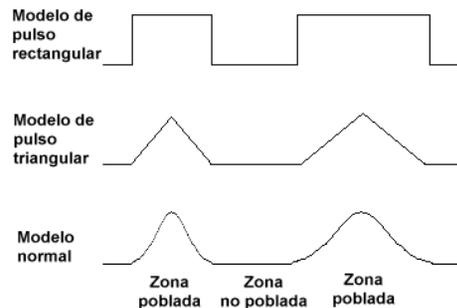
El origen del problema del acceso múltiple a un canal de comunicaciones es que un determinado número de usuarios quieren tener la posibilidad de usar uno o varios canales. Por lo tanto es fundamental para una red de comunicaciones realizar un estudio del tráfico de datos que ofrece la población de usuarios. En el caso de los sistemas de satélites en órbitas no geoestacionarias, y más concretamente en las constelaciones de satélites LEO, este tráfico tiene una serie de características que hacen que su diseño sea especialmente complicado como son: alta velocidad de los satélites, paso de zonas densamente a zonas poco pobladas.

El hecho de que los satélites estén girando en una órbita no geoestacionaria a una alta velocidad hace que, en espacios de tiempo relativamente cortos pasen de dar servicio a zonas altamente pobladas - como una gran concentración de ciudades- a zonas prácticamente inhabitadas - como los mares-. Esto hace que el tráfico ofrecido a un satélite pueda ser definido como geográficamente no uniforme

### **2.8.3 Tráfico en constelaciones globales de satélites.**

Debido a la alta velocidad respecto de la superficie de la Tierra a la que viajan los satélites varía muy rápidamente la carga de tráfico a la que se ven afectados. Se pasa muy rápidamente de zonas densamente pobladas a otras zonas con muy poca, o incluso ninguna, población.

Se tienen varias formas de modelar el tráfico. La primera es mediante pulsos cuadrados, muestra una discontinuidad entre zonas pobladas y despobladas, pero no es útil debido a que en la realidad en la que el paso es mucho más progresivo y no aumenta drásticamente en un punto. El segundo modelo se realiza con pulsos triangulares que, aunque se acerca más a la realidad, carece de un cambio progresivo. Un modelo más realista sería usar pulsos gaussianos, donde el cambio es progresivo y no muestra cambios drásticos.



**Fig. 2.18 Modelos de tráfico no uniforme**

#### **2.8.4 Efecto de la posición del satélite de relación señal a interferencia (SIR)**

El problema cerca-lejos, que consiste en la diferencia de potencia que llega desde las terminales móviles a la estación base debido a las diferentes distancias en la que se encuentran los distintos usuarios; existe para solucionarlo la terminal móvil, que tiene que hacer un cálculo de la distancia que lo separa de la estación base, midiendo la potencia de la señal piloto que le llega de ella, y ajustar la potencia transmitida atendiendo a esta medida. Este control de potencia por parte del aparato de usuario se implementa también en el caso de sistemas de distribución vía satélite.

La medida de la calidad del enlace vendrá dada por la relación señal a interferencia (Signal to Interference Ratio – SIR), puesto que es ésta la que nos limita

la capacidad del sistema.

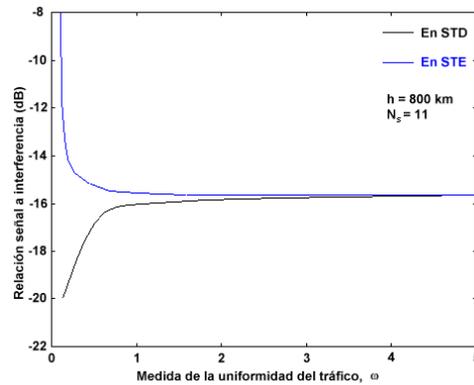
Si suponemos distribución de tráfico no uniforme normal, conforme el satélite sobrevuela la zona de población, las interferencias provenientes de las señales de los usuarios variarán conforme varía la distribución del tráfico ofrecido por dicha población.

El mínimo en la SIR del satélite se produce cuando pasa por el pico del tráfico, puesto que es el momento en el que hay un mayor número de señales que interfieren. Conforme se aleja del pico de tráfico la SIR aumenta, lo que supone una mejora de las condiciones para realizar la decodificación.

Hay una gran diferencia de la calidad de la señal recibida en el satélite conforme pasa por núcleos densamente poblados. Este fenómeno es tolerable mientras se asegure que el nivel de SIR se mantiene por encima de una tasa de error aceptable, pero implica que el usuario del sistema tiene que aceptar grandes tolerancias en la calidad del servicio. Esto no es un buen comportamiento para establecer una transmisión confiable.

#### **2.8.4.1 Efecto de la no uniformidad del tráfico de usuario relación señal a interferencia (SIR)**

La forma en como afecta la no uniformidad del tráfico ofrecido a los satélites y para el rendimiento del sistema se puede observar en la siguiente situación en la que un satélite situado justamente encima del máximo tráfico. A este satélite se le llama satélite de tráfico denso (STD). El comportamiento del satélite contiguo, que al estar en una zona con mucho menos tráfico se le llama satélite de tráfico escaso (STE). Como se observa en la fig. 2.20.



**Fig. 2.20 Grafica del comportamiento de satélites STD y STE**

En los casos en que la no uniformidad del tráfico es alta, hay una gran diferencia entre la calidad de las señales en ambos satélites.

Al aumentar el número de satélites, y por lo tanto reducirse el tamaño del área de cobertura de cada uno de ellos se puede lograr una mejora en el comportamiento del sistema. Las constelaciones de satélites utilizan una mayor cantidad de satélites de los que son necesarios. Esto hace que en ciertas áreas y circunstancias exista una cobertura doble de una determinada zona. Esto se puede traducir en una mejora del comportamiento del sistema si el protocolo de acceso por parte del usuario incluye la posibilidad de elección del satélite que va a dar el servicio. La posibilidad de una doble cobertura da mayor flexibilidad a la hora de definir las áreas de servicio y posibilita una mejora de la calidad del sistema mediante el uso de otros métodos.

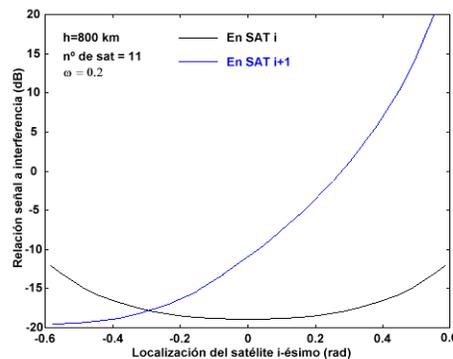
### 2.8.5 Control de la asignación del tráfico.

La forma de mejorar el comportamiento frente a un tráfico no uniforme es variar el tamaño de las celdas de acuerdo a la carga de tráfico ofrecida. Un método para conseguir esto es variar la potencia recibidas en cada satélite, de modo que cuando estamos en un área de servicio con poca carga de tráfico el tamaño de la potencia se debe reducir, y en un área de servicio con gran carga de tráfico, el tamaño de la potencia debe aumentar.

Si un usuario está en una zona de doble cobertura, en el que puede conectar con un STD (satélite de tráfico denso) o con un STE (satélite de tráfico escaso), al

aumentar la potencia necesaria para transmitir al STD aumentará la tendencia de estos usuarios en doble cobertura por establecer la conexión con el STE. Esto producirá un descenso del tráfico ofrecido al STD, mejorando por lo tanto su comportamiento.

Mientras la SIR del STD mejora, la del STE empeora, produciendo un empeoramiento en la calidad del servicio de sus usuarios. Sin embargo, en el global de los usuarios del sistema, la calidad de la comunicación mejora. El compromiso entre los usuarios de uno y otro satélite constituye el punto de control óptimo.



**Fig. 2.19 Grafica de alejamiento del pico de tráfico.**

Para realizar este control de la potencia recibida necesaria en cada instante los satélites deben medir el número de usuarios en un determinado periodo de tiempo y comparándolo con los de los satélites contiguos, haciendo uso de los enlaces Inter-satélites.

Las razones que explican la mejora de la SIR en el STD son por una parte que al aumentar la potencia necesaria para la comunicación de sus usuarios se reduce el área de cobertura, y por otra que, al reducirse la potencia de los usuarios del STE, disminuye la interferencia que producen en el STD.

La SIR del satélite que soporta un mayor tráfico mejora, siendo el control óptimo un manejo en la calidad de servicio de los dos satélites.

### 2.8.6 Identificación de satélites

Los satélites transmiten un conjunto de datos, que proporcionan efemérides (respecto a la ubicación de los satélites) y datos de almanaque. A este conjunto de datos que transmite se le considera como la identificación del satélite.

Cada satélite posee tres números de identificación, como se muestra en la fig. 2.21. El primero identifica los componentes específicos a bordo del satélite. El segundo número es el de identificación del vehículo espacial, que se asigna de acuerdo a la de su lanzamiento. El tercero es de ruido pseudoaleatorio. Cada satélite transmite en forma continua un conjunto actualizado diariamente de datos de efemérides codificados en forma digital, que describe su órbita precisa.



*Fig. 2.21 Ejemplo de identificación de satélites.*

### **2.8.7 Comandos.**

Los comandos son la información del satélite a través de la cual se conoce la salud y la configuración del mismo.

El equipo de telemetría cuenta con sensores, que miden cantidades de voltajes, corrientes, presiones, potencia de salida de amplificadores, posición de interruptores, y temperaturas. Las lecturas tomadas por los sensores son transmitidas a la estación de control.

### **2.8.8 Telemetría.**

La Telemetría utiliza señales piloto, denominadas tonos, son transmitidas desde la estación terrestre de control hasta el satélite. Normalmente se utilizan de seis a siete tonos distintos cuya frecuencia se encuentra en el rango de los kilohertz.

Se determina cuanto tiempo tarda el tono en ser transmitido de un satélite en llegar a un receptor en tierra y, a continuación, con ese tiempo se calcula distancia entre el satélite y el receptor de la estación terrestre. Si un receptor puede determinar con exactitud donde comenzó un satélite a mandar los tonos, exactamente cuando recibió el mensaje, puede determinar el tiempo de propagación (retardo). A partir del tiempo de propagación el receptor puede determinar la distancia entre él y el satélite. Para determinarlo, el transmisor del satélite y el receptor de la estación terrestre de control producen códigos idénticos de sincronización (pseudoaleatorios) exactamente al mismo tiempo. Cada satélite transmite en forma continua su código de sincronización precisa, las características principales de estos códigos son la protección contra interferencia, provisión de privacidad y reducción de ruido.

Después de haber recibido un código de sincronización, el receptor solo lo compara con su propio código, producido en forma local, para determinar el tiempo de propagación.

## **2.9 SISTEMAS DE COMUNICACION PERSONAL**

### **2.9.1 Sistema Globalstar**

Es la propuesta del Loral Qualcomm Satellite Services, y se diferencia de Iridium principalmente por que utiliza la técnica de acceso múltiple por división de código (CDMA). El sistema lo forman cuarenta y ocho satélites en ocho órbitas inclinadas y a una altura de 1,414 km. También ha sido diseñado como complemento de la red de telefonía pública conmutada (PSTN), a la que accede vía puertas de enlace.

### **2.9.2 Sistema Odyssey**

Es un sistema propuesto por TRW y proporciona servicio a través de doce satélites a una altura de 10,354 km. Aunque la órbita utilizada sea MEO, este sistema puede considerarse big-LEO debido al espectro de frecuencias que utiliza. La técnica de acceso múltiple elegida es el CDMA con multiplexación por división en frecuencia.

### 2.9.3 Sistema NOAA

TIROS (Televisión Infrared Observation Satellite) forma parte de satélites atmosféricos operados por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Existen dos satélites TIROS que circulan sobre los Polos de la Tierra. Trabajan con otro sistema de satélites en la órbita geosíncrona llamados los Satélites Ambientales de Operación Geoestacionaria (GOES). Usando este grupo de satélites, los meteorólogos estudian patrones del tiempo y del clima alrededor del mundo.

Los satélites atmosféricos llevan a bordo muchos instrumentos que se encuentran enfocados para fotografiar formaciones de nubes que son analizadas para observar las posibles condiciones de clima al día siguiente o en fenómenos atmosféricos como pueden ser los huracanes. Estos instrumentos se ven apoyados por otros instrumentos que se encargan de tomar la temperatura, la humedad y la radiación solar en la atmósfera. Así como el contar con instrumentos que ayudan a la recuperación de operaciones o datos.

### 2.9.4 Sistema de Posicionamiento Global GPS

Es un sistema de navegación basado en el posicionamiento tridimensional, que toma en cuenta longitud, latitud, y altitud, así como la distribución de tiempo. Hay 21 satélites activos y 3 en reserva, en caso de que falle un satélite, uno de los de reserva puede ocupar su lugar.

El sistema satelital GPS (Global Position System) es usado en cualquier parte del mundo, su principal mercado se encuentra en la industria de la navegación como es el ramo aéreo y el marítimo, en la actualidad por razones de seguridad esta siendo implementado en los automóviles.

Por ejemplo para que un receptor en tierra determine su longitud y latitud, debe recibir señales de tres o más satélites que identifiquen el número del satélite o su código pseudoaleatorio de sincronización y la localización de cada satélite, como se

observa en la fig. 2.22. La ubicación de cada satélite se describe con un sistema tridimensional de coordenadas en relación con el centro de la Tierra, sin embargo las coordenadas de los satélites se deben actualizar en forma continua por que varían cuando los satélites recorren sus órbitas. También el lugar de una estación terrestre tiene coordenadas tridimensionales referidas al centro de la Tierra.



*Fig. 2.22 Satélites utilizados para la determinación de longitud y latitud de Sistema GPS.*

### **2.9.5 Otros sistemas de comunicaciones móviles vía satélite.**

Otra serie de sistemas de comunicaciones móviles vía satélite han sido propuestos, como es el de la Agencia Espacial Europea (ESA), llamado LEONET, con quince satélites en tres órbitas con  $54^\circ$  de inclinación.

INMARSAT ha propuesto un sistema de satélites MEO, con doce satélites a una altura de 10.400 Km. Este sistema utiliza TDMA y multiplexación por división en frecuencia.

Otro sistema es el propuesto por Ellipsat, llamado ELLIPSO.

### 3 SISTEMA IRIDIUM

El sistema Iridium es una red de comunicaciones personal basada en satélites, diseñada para permitir que cualquier tipo de transmisión telefónica (voz), datos (fax, localizador) llegue a su destino en cualquier parte del mundo a cualquier hora. El sistema, al ser financiado por un consorcio global y con Motorola como primer accionista, comenzó operaciones en 1998. Tuvo la capacidad de revolucionar las comunicaciones mundiales en los sectores comerciales, rurales y móviles con el uso de un servicio universal y portátil.

La demanda de telecomunicaciones móviles globales en las grandes áreas continentales y, sobre todo, en las grandes áreas marítimas con cobertura limitada o sin ningún tipo de infraestructura de telecomunicaciones son los principales argumentos impulsores del Sistema Iridium.

La oferta de servicios Iridium tiene como denominador común la conveniencia de la movilidad e integración tecnológica. Un móvil, un número, en todo el mundo. Los suscriptores, utilizan unidades personales de Iridium (unit suscriptor iridium (USI)), transmitiendo a los satélites para comunicarse con cualquier teléfono en el mundo. El sistema rastreará la localización del aparato telefónico, proveyendo transmisión global.

Las aplicaciones para el sistema varían notablemente, incluyendo usos en negocios para personas que tienen que estar en contacto con oficinas localizadas en lugares remotos, servicios para naciones en desarrollo que no cuentan con infraestructura de telecomunicaciones, comunicaciones para rescate y para casos de desastres naturales y en usos personales.

El sistema Iridium está compuesto de una constelación de 66 satélites en una órbita baja, aproximadamente a 720 Km. sobre la superficie de la Tierra, en 6 órbitas polares, con 11 satélites en cada una, más un satélite de repuesto por órbita, situado en una órbita ligeramente más baja que los satélites operativos. Como se observa en

la fig. 3.1, al utilizar una constelación de 66 satélites se logra dar cobertura a todo el planeta. Comparado con los satélites de comunicación geoestacionarios localizados a 36,000 Km. sobre la superficie de la tierra, la órbita baja de los satélites permitirá un enfoque más preciso de los haces proyectados a la Tierra, asegurando señales más fuertes y mejor calidad de comunicación.

Los satélites, pequeños y ligeros de aproximadamente 689 Kg. se interconectan electrónicamente para proveer una cobertura global continua. La técnica de acceso es el acceso múltiple por división en el tiempo / acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA/TDMA). El enlace con la red terrestre se realiza a través de puertas de enlace (Gateways) en donde será guardada información de tarificación y localización del usuario. El sistema de negocios Iridium realiza la tarificación y localización, colecta y distribuye la información vital y financiera del cliente.

Cualquier persona con un teléfono Iridium puede tener comunicación a y desde dondequiera en cualquier parte del mundo.

El sistema Iridium ofrece comunicaciones móviles con terminales móviles (teléfono) a través de satélite, desde cualquier punto del planeta. Con la ayuda de terminales móviles, el suscriptor podrá utilizar la constelación de satélites cuando su estándar celular no esté disponible y viceversa, asegurando una cobertura global.

Sin utilizar la constelación de satélites, este servicio ofrece la posibilidad de efectuar comunicación entre los sistemas terrestres existentes. El suscriptor utilizará los sistemas terrestres existentes, conservando un único número personal, así como, un único recibo con su proveedor de servicios.



*Fig. 3.1 Sistema Satelital de Orbita Baja Iridium.*

### **3.2 SEGMENTOS DEL SISTEMA IRIDIUM.**

En la fig. 3.2, se muestran los segmentos en los que se divide el sistema Iridium: segmento espacial, segmento terrestre y segmento de usuario.

- Segmento espacial: Constituido por los satélites de comunicaciones, que proporcionan cobertura global.
- Segmento terrestre: Compuesto por estaciones terrenas (puertas estelares) que controlan, supervisan y manejan la conexión con las redes terrestres
- Segmento de usuario: Las unidades de suscriptor (teléfonos), son los dispositivos con los que se tiene acceso al sistema.

Una vez que una unidad de suscriptor Iridium es activada, el satélite más cercano, en conjunto con el sistema Iridium, automáticamente determinará la validez de una cuenta y la localización del usuario. Cuando se cursa una llamada telefónica, el suscriptor decidirá si la transmisión puede ser enrutada por un sistema celular convencional o por el sistema satelital. Si el sistema celular no está disponible, la llamada será transmitida al satélite más cercano, y si se requiere, es transmitida de satélite a satélite hasta alcanzar su destino. La llamada será transmitida a la puerta de enlace apropiada y enruta por el sistema local de telecomunicaciones terrestres. Si un suscriptor de Iridium está en una localidad remota, la llamada es transmitida directamente del satélite más cercano al suscriptor.



*Fig. 3.2 Segmentos del sistema Iridium.*

### 3.3 SATELITE IRIDIUM

El satélite Iridium está diseñado para una vida media de 5 años previniéndose su ampliación hasta 8 años. Para asegurar esta duración se ha optado por la utilización de componentes de alta fiabilidad como son dispositivos de control, propulsión, control térmico, fuente de alimentación, antena de Arreglo en Fase (phased array), evitando en la medida de lo posible fallas, está previsto un programa de sustitución periódica y

reposición urgente de satélites averiados.

Los satélites Iridium poseen un cuerpo formado básicamente por el módulo de comando y el modulo de comunicaciones, junto a dos paneles solares y tres antenas principales.



*Fig. 3.3 Satélite Iridium.*

### 3.4 BUS

El bus incluye mecanismos de control que apoyan la operación de carga útil, soporta la carga útil electrónica y las antenas. Se distinguen tres piezas: la carga útil de comunicaciones, las placas solares, y batería (radiador/acumulador).

- **Carga útil de comunicaciones.-** Los equipos de comunicaciones (receptor, transpondedor y trasmisor), incluyendo antenas y repetidores constituyen, la carga útil del satélite.

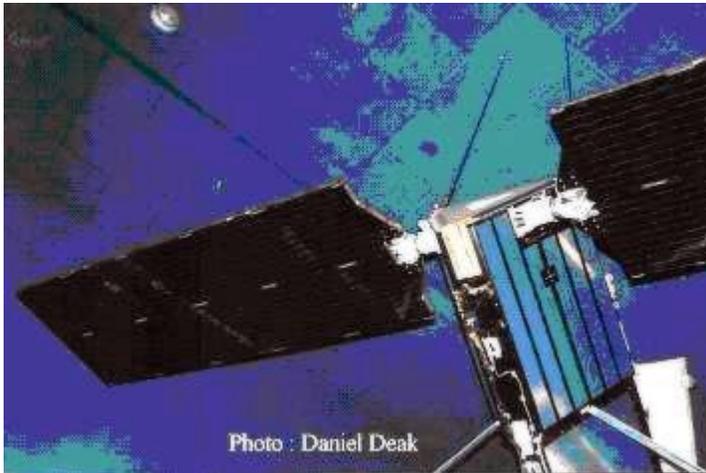
Todas las señales provenientes de la Tierra entran al satélite por medio de la

antena receptora en el interior del aparato, las señales son separadas por grupos (canales de banda ancha), amplificadas, procesadas digitalmente y trasladadas a frecuencias más bajas, posteriormente son amplificadas aun más y reagrupadas, para que todas salgan de regreso. El decodificador es el dispositivo encargado de convertir la señal captada por el Bloque de Ruido Bajo (Low Noise Block LNB). Un convertidor descendente, una etapa de frecuencia Intermedia (IF) final, el demodulador integrado, procesa la señal modulada a una forma llamada señal de banda base.

- **Batería.**- El elemento de almacenamiento de energía que permite energizar al equipo que lleva abordo el satélite. Las baterías deben tener capacidad de recibir y dar energía a distintos niveles y en distintos horarios, en un gran número de ciclos de carga y descarga, alta eficiencia de recarga, sello hermético para evitar pérdida de electrolito y corrosión por cambios de presión y temperatura.
- **Paneles solares.**- Son los componentes que permiten la captura de energía solar y la transforman en energía eléctrica. Mientras mayor sea la densidad de flujo de la radiación solar sobre ellas, mayor es la electricidad que generan.

El satélite mantiene una distribución de energía trabajando al máximo en zonas densamente pobladas y reduciendo su capacidad de trabajo en zonas poco pobladas.

**PANELES  
SOLARES**

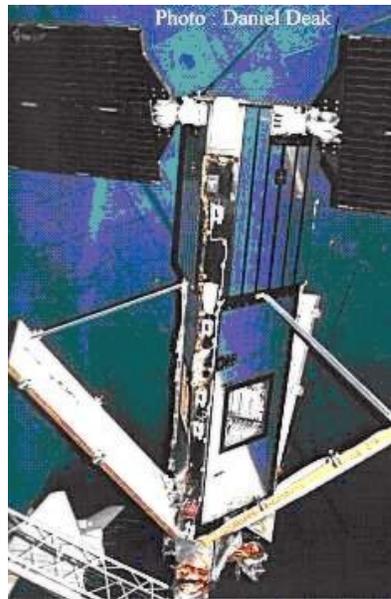


**Fig. 3.4 Paneles solares de satélite Iridium.**

Se contienen las características físicas del bus en la tabla 3.1:

<b>PESO</b>	22.6 Kg.
<b>CON UN VOLUMEN DE, PARA PONER LOS APARATOS ELECTRÓNICOS:</b>	1.6 m de largo, 48 cm de ancho, 28 cm de alto
<b>LA CAVIDAD DONDE SE ALOJAN LOS SENSORES Y LAS ANTENAS:</b>	1.65 m de largo, 66 cm de ancho y 46 cm de alto.
<b>PANELES SOLARES:</b>	Plegables
<b>BATERÍA:</b>	radiador / acumulador
<b>PROPULSIÓN:</b>	Monopropellant, Hidracina Anhidra.
<b>ENERGÍA:</b>	500 promedios orbitales de W
<b>CONTROL DE LA ACTITUD:</b>	triaxial estabilizado
<b>CONTROL TERMAL:</b>	Plataforma electrónica con una capacidad de rechazo de calor de 500 W

*TABLA 3.1 Características del Bus.*



BUS SATELITE IRIDIUM

*Fig. 3.5 Bus completo de satélite Iridium.*

### 3.5 MODULO DE COMUNICACIONES

El modulo de comunicaciones esta diseñado para manejar cuatro formas de enlace que son: transmisión, recepción, posicionamiento satelital e intercomunicación satelital.

El satélite Iridium contiene 4 tipos de antena para llevar acabo estos enlaces: antenas de comunicación con la puerta de enlace, antenas de comunicación entre satélites, antenas de telemetría y control, antena de misión principal.

Las antenas de comunicación con la puerta de enlace así como las antenas de misión principal llevan acabo recepción y transmisión de señales, para la comunicación realizada entre satélites cuenta con las antenas de conexión Inter-satelital, para el posicionamiento cuenta con las antenas de telemetría y control.



MODULO DE

*Fig. 3.6 Forma general del Bus del satélite Iridium equipado con antenas.*

### **3.5.1 Antenas de comunicación con la puerta de enlace.**

Son 4 antenas formadas por reflectores parabólicos y láminas planas, se encargan de la comunicación con las puertas de enlace situados en tierra, transmiten por la banda Ka (19.4 – 19.6 GHz descendente, así como 29.1 – 29.3 GHz ascendente). La antena de comunicación con la puerta de enlace es móvil, para proporcionar una comunicación continua con una estación terrestre.

La puerta de enlace sirve como punto de interconexión entre satélite y las redes de comunicación terrestre. La terminal de usuario se comunica primero con el satélite para llegar hasta la puerta de enlace, que a su vez encaminará la conexión con las redes terrestres.

Una de las principales ventajas de la comunicación del satélite con la puerta de enlace es la combinación de señales de diferentes satélites de forma que si una señal de un satélite llega a estar bloqueada hacia una terminal de usuarios la puerta de enlace utilizara al satélite mas cercano que no tenga la conexión bloqueada con la terminal, así se evita la ruptura en la comunicación.

Las puertas de enlace están ubicados estratégicamente de forma que su número aunque sea mínimo consiga la mayor cobertura posible, por lo que están colocados lo mas cercano a los polos para que los satélites pasen poco tiempo en visualizar a las puertas de enlace.



ANTENAS DE  
COMUNICACIÓN CON  
LA PUERTA DE  
ENLACE

*Fig. 3.7 Las 3 antenas de las esquinas y la del centro se ocupan de la comunicación con la puerta de enlace.*

### 3.5.2 Antenas de comunicación entre satélites

Son 4 antenas de Arreglos de Fase Planares (Phased Array Planar) para la comunicación entre satélites permiten enrutar llamadas o información entre los satélites funcionan en la banda Ka entre 23.18 y 23.38 GHz. Se tienen 2 antenas para enlace lateral fijo que se utiliza para comunicación en dirección norte sur; las 2 antenas de enlace lateral móvil le corresponden las direcciones Este-Oeste.

Una característica principal de los satélites Iridium es la posibilidad de tener un sistema de comunicación entre satélites ISL (Inter Satelite Link), independientemente de la red terrestre, mediante el uso de enlaces íter-satelitales, con capacidad de ofrecer servicio aún en el caso de desastres, como podría ser un terremoto. Obteniendo con esta técnica una disminución de tiempo, para recibir la llamada en unas cuantas décimas de segundo.

Los enlaces ISL se realizan con satélites contiguos (al norte, al sur, al este y al oeste) así se pueden señalar dos grupos de enlaces íter satelitales ISL, el primero, se basa en la comunicación de los satélites ubicados en la misma órbita (intra-órbita)

el primer aspecto señalado es mas común de realizar, puesto que al girar en la misma orbita, la posición relativa de los dos satélites es la misma en todo instante y el haz de la antena que lo habilita puede permanecer inmóvil el segundo es cuando se genera una comunicación entre satélites de dos orbitas distintas (Inter-orbita). En el caso de los enlaces ínter orbita, la solución no es sencilla, ya que es necesario una redirección de la antena, debido a el desplazamiento en sentido contrario de los satélites que se encuentran en orbitas distintas es necesario que la antena tenga desplazamiento mecánico para seguir el movimiento del desplazamiento en la orbita del satélite con el cual realiza la comunicación.

ANTENAS DE  
COMUNICACIÓN  
ENTRE SATELITES

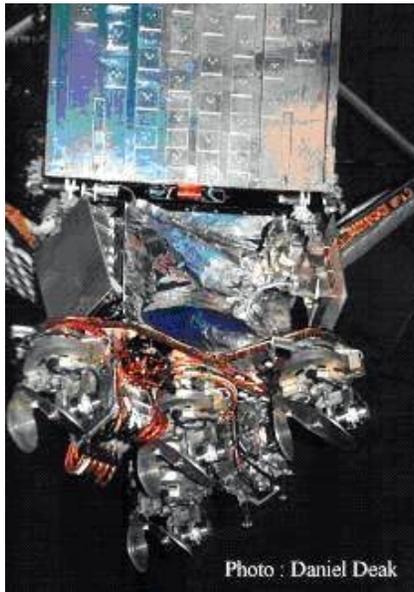


*Fig. 3.8 Las antenas rectangulares pequeñas se ocupan de la comunicación entre satélites.*

### 3.5.3 Antenas de telemetría y control

Son 2 antenas pequeñas del tipo reflector parabólico para comunicaciones de

control con las estaciones de seguimiento. Los satélites transmiten continuamente datos de telemetría que contienen información sobre la posición orbital de la nave y datos de comandos. La información de comandos, basada en la salud del satélite, estado de sus componentes y sobre los procedimientos que ha realizado, está disponible sólo cuando el satélite está siendo rastreado por las puertas de enlace. Consiste en dos partes: un reflector parabólico y el mecanismo de alimentación o dipolo. El reflector refleja la energía, que le llega del dipolo.



ANTENA DE TELEMETRIA  
Y CONTROL

*Fig. 3.9 Antenas de telemetría y control.*

### 3.5.3.1 Control

Se controla el sistema satelital Iridium, utilizando la información transmitida por los satélites sobre el comportamiento y el estado físico del equipo de los satélites, a partir de esta información se desarrollan y documentan, panoramas y métodos para llevar acabo comandos del manejo de la constelación de satélites Iridium.

Las operaciones se registran y se analizan por personal especializado quien determina las operaciones que requieren cambio y las que no.

A este aspecto se le une la especificación de entradas así como la de salidas

para cada procedimiento y poder manejarlas por separado para un buen desarrollo. Con la garantía de haber sido comprobados todos los posibles problemas y fallas, así como el procedimiento de la solución de estos problemas. Estos estudios realizados tienen el fin de que el sistema tenga un funcionamiento en la determinación de la órbita de la constelación Iridium y por ende el evitar que el sistema satelital falle.



MODULO DE

*Fig. 3.10 Interior del módulo de control, con el que se controla el satélite por medio de interfaces.*

### 3.5.4 Antena de misión principal

Cada satélite lleva tres antenas de Arreglo de Fase. Están encargadas de proyectar sobre la superficie de la tierra las celdas de cobertura en banda L (1616-1626.5 MHz). Estas antenas dividen la zona de cobertura de cada satélite en 37 celdas, cada antena crea 16 de los 48 haces de cobertura que hay por satélite, proyectando una huella de aproximadamente 660 Km. de diámetro. Sin embargo la huella de proyección de la Antena de Misión Principal (Main Mission Antenna MMA) sobre un plano de la superficie se ve restringido ya que las antenas no cubren mucho terreno, aunque en el ángulo sobre la superficie de la curva terrestre se puede observar que cubre mas de lo que comúnmente se cubre por satélites Geoestacionarios.

Cada antena de misión principal está formada por aproximadamente 100 parches radiadores de bajo peso cada uno de los cuales está controlado por un módulo de transmisión–recepción, siendo todos los radiadores excitados por una red de conformadores de haz estrechos. La estrategia de la conformación de haz está basada en la alimentación RF con matrices Butler.

La estructura mecánica de la MMA, está basada en un panel de aluminio, tiene reguladores de potencia y módulos transmisión / recepción (ModuloT/R) están montados en la misma estructura, el módulo de transmisión–recepción se utiliza para mantener la figura de ruido fuera del sistema en recepción y proporcionar la PIRE requerida en transmisión. Un módulo de transmisión–recepción adicional está situado en la MMA como parte de una función "Energía de bit", la "Energía de bit" diagnostica el estado de el canal de RF de la Antena de Misión Principal MMA, esto se obtiene transmitiendo desde un solo elemento y midiendo la respuesta en un elemento adyacente a través de su coeficiente de acoplo mutuo. El módulo de transmisión-recepción de "Energía de bit" proporciona el nivel correcto de excitación RF para la transmisión ó recepción y facilita el cálculo de la ganancia de lazo empleando su atenuador de precisión. La antena debe apuntar en dirección desde donde se recibe la señal, para alcanzar una potencia capturada máxima. La ecuación que la define es:

$$(3.1)$$

Donde: D = Ganancia directiva (adimensional)

P = Densidad de potencia en un punto, con determinada antena (watts/m<sup>2</sup>)

P<sub>ref</sub> = Densidad de potencia en el mismo punto, con una antena de referencia (watts/m<sup>2</sup>).

La potencia DC (Potencia de Acoplo) es proporcionada a los componentes de la antena MMA por un banco de reguladores de potencia. Estos reguladores de potencia, son redundantes, entregan la energía suficiente al satélite y proporciona a la antena MMA los voltajes de base. En particular, los canales para los drenadores de

los FETs de potencia que se encuentran en los módulos T/R (Módulos Transmisión / Recepción) de la antena MMA, es proporcionado por un subgrupo de 19 reguladores de potencia. Este voltaje de base que constituye la mayor parte de la potencia DC de la MMA en la operación de transmisión, puede variarse con el fin de reducir la potencia radiada durante los periodos de bajo tráfico.

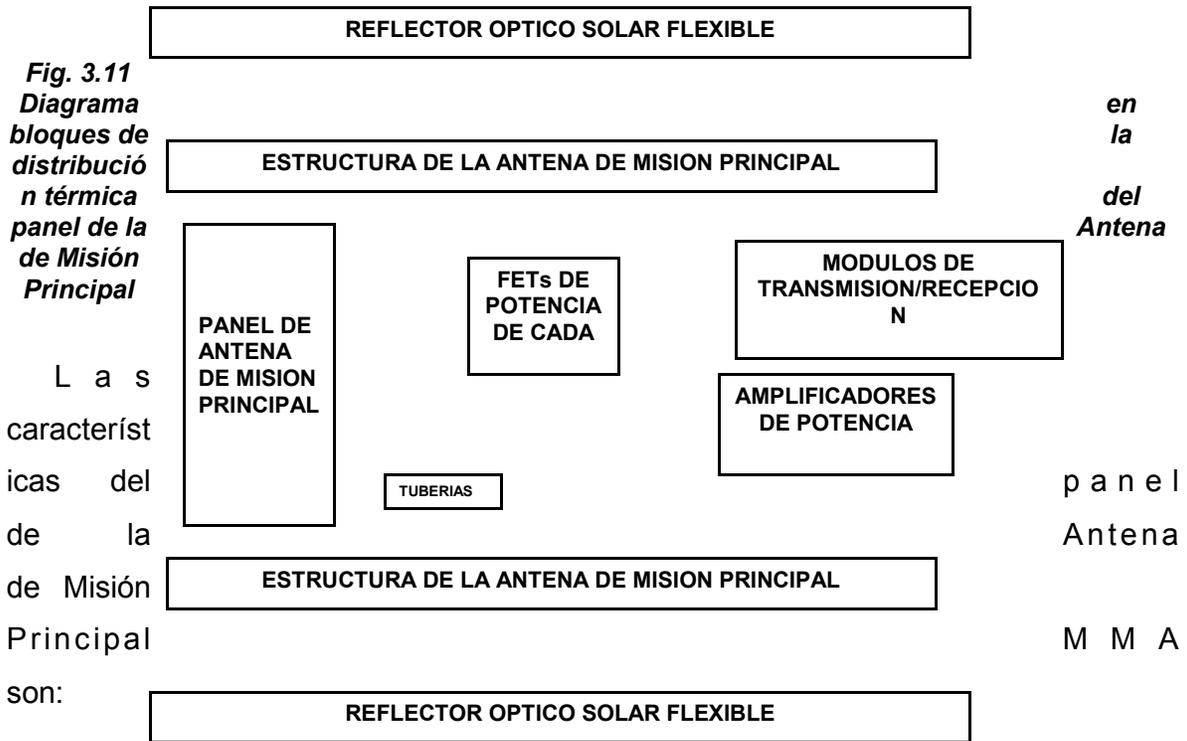
Así mismo, existen dos controladores duales de la MMA construidos en el panel que coordina el funcionamiento del MMA siguiendo las órdenes que le son dadas al satélite.

Cuando una de las dos secciones duales del controlador es habilitada, la MMA es iniciada, el estado de todos sus componentes se verifica y la MMA empieza a trabajar en modo telefónico.

La antena principal tiene un calentador que le proporciona calor, es alimentado por un voltaje de 28 V. Este recurso mantiene temperaturas mínimas en la misma antena principal, para los momentos en que se encuentra, el tráfico de comunicaciones bajo o cuando el satélite se encuentra trabajando en las orbitas de almacenamiento, pues se deben mantener los instrumentos siempre en buen estado y listos para entrar en función en cualquier momento.

Los paneles han sido diseñados térmicamente para operar durante periodos de alto tráfico usando la distribución y rechazo de calor, y para limitar las temperaturas de pico de los módulos T/R a niveles que se encuentren dentro del rango de funcionamiento de los mismos. Como se observa en el diagrama de la fig. 3.11, los paneles contienen dos tubos de calor que se unen en la cara inferior de cada módulo T/R. Los FETs de potencia de cada módulo están situados encima de estas tuberías calientes, que sirven para desviar el calor de los amplificadores de potencia y encaminarlo a la estructura de la MMA. Una vez que el calor está distribuido por la MMA, la potencia es radiada por la superficie del panel, revestida con FOSR (del inglés Flexible Optical Solar Reflector), es decir, Reflector Óptico Solar Flexible. El FOSR proporciona la reflexión de la luz solar al mismo tiempo que tiene una alta

emisividad térmica.



- Conformación de haz múltiple y simultáneo en transmisión así como en recepción, con cobertura de haz optimizada para tener el máximo margen de enlace. Radiadores de alta eficiencia y bajo peso.
- Sistema de distribución de potencia DC/datos redundante y de bajo ruido.

Estas características fueron combinadas e integradas en el diseño de la MMA que cumple con las prestaciones y requisitos de costo determinados estrictamente por el sistema Iridium.

Así entonces las antenas MMA permiten tener una comunicación con las terminales móviles, proporcionan haces estrechos, que tienen una mayor ganancia y permiten reutilizar frecuencias en haces distintos. Cabe resaltar que la utilización de haces tan ajustados permite que en el caso de la recepción se vea minimizado el eco, así como de aumentar la calidad de las conexiones. Además permite el uso de antenas lo suficientemente pequeñas como para ser integradas en la terminal personal en el caso de recibir una llamada o información.

A medida que los satélites de la red viajan por su orbita los usuarios van cambiando de haz en haz o de un satélite a otro, dependiendo del haz particular que proporcione el mayor margen de enlace al usuario en su situación actual.

#### **3.5.4.1 Calidad y capacidad de la antena MMA**

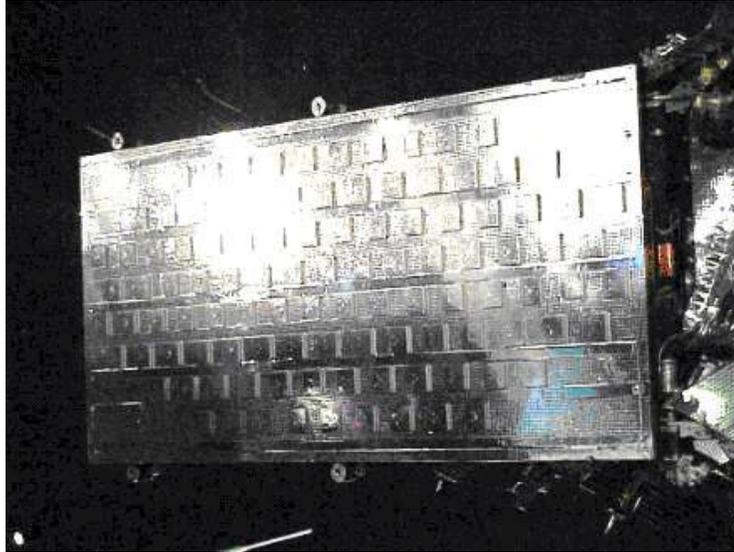
Los requerimientos de calidad y capacidad del enlace Iridium, incluyendo el de la comunicación con teléfonos móviles (los cuales están provistos de antenas de baja ganancia), imponen estrictas especificaciones a la Antena de Misión Principal MMA.

De las cuales se pueden señalar las siguientes: la Antena de Misión Principal MMA debe ser capaz, simultáneamente de radiar múltiples portadoras en múltiples ases con alta eficiencia y linealidad, así como de ser alimentada por un campo magnético y simultáneamente por un campo eléctrico en su modulo T/R a lo que se conoce como “iluminada” y poder funcionar en el ambiente térmico y de radiación del espacio. Más aún, la cobertura del haz debe ser optimizada para dar el margen de enlace más alto posible compatible con el tamaño de las antenas del panel y la potencia de la portadora de RF ya que la mayoría de los ases enfocados requieren antenas con una apertura grande para permitir al usuario transmitir energía baja usando su terminal personal. Del lado de la transmisión del satélite se requiere de un modo de operación eficiente y una baja potencia DC de base, en un rango de alrededor de 20 dBW de potencia de RF radiada para una mejor calidad a los usuarios individuales del sistema Iridium.

La conformación de haz se emplea para formar 16 haces estrechos tanto para transmisión como para recepción, con los módulos de transmisión–recepción que sirven para mantener un elevado factor de mérito en recepción y un PIRE (Potencia Radiada Isotropica Efectiva) eficiente en transmisión.

El satélite puede recibir o transmitir a través de cada puerto lógico, proporcionando a cada conexión de puerto el acceso RF a un haz fijo particular. En general, varios o todos los parches pueden ser utilizados a la vez en transmisión o en

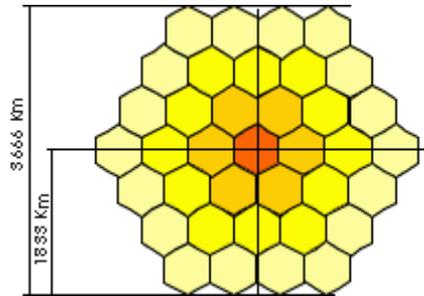
recepción, con la única limitación de no exceder la capacidad de la Antena de Misión Principal MMA en transmisión.



**Fig. 3.12 Antena de Misión Principal  
(Phase Array).**

#### **3.5.4.2 CELDAS**

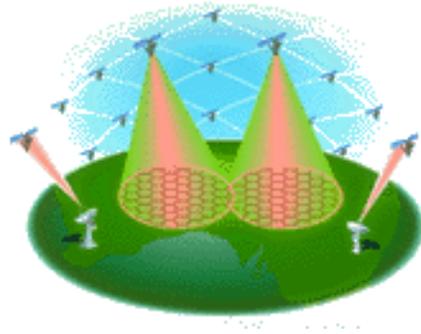
La constelación de satélites y su proyección de celdas dirigidas hacia la superficie terrestre, es similar a la de un sistema telefónico celular. Podemos observar en el caso de la telefonía celular un juego de celdas estáticas da cobertura a un gran numero de usuarios móviles en el caso de el sistema Iridium, cada satélite tiene una cantidad considerable de haces puntuales que barren la tierra mientras el satélite se mueve a una velocidad sumamente rápida, los usuarios se mueven a mucho menor velocidad que las celdas, de manera que el usuario parece inmóvil y las celdas son las que se mueven. Así, en este sistema tanto las celdas como los usuarios son móviles pero las técnicas de relevo que se usan para el radio celular son igualmente aplicables al caso de una celda que abandona a un usuario como lo es el caso de un usuario que sale de una celda. En esta situación esto representa una ventaja para el hand-off.



**Fig. 3.13 Celda de un Satélite Iridium.**

Los satélites están posicionados a una altura de 780 kilómetros en orbitas polares circulares, en collares norte-sur, en 6 planos orbitales, 11 satélites en cada plano orbital con un satélite, cada 32 grados de latitud a una velocidad de aproximadamente 7400 m/s, así de esta forma la tierra se cubrirá con seis collares de satélites, cada satélite tendrá un máximo de 48 ases de cobertura, con un total de 1628 celdas sobre la superficie de la tierra. Los satélites situados en planos contiguos se encuentran desfasados para ir conformando la cobertura global. Así mismo se mantienen enlaces entre los satélites en el mismo plano, como enlaces entre los planos contiguos.

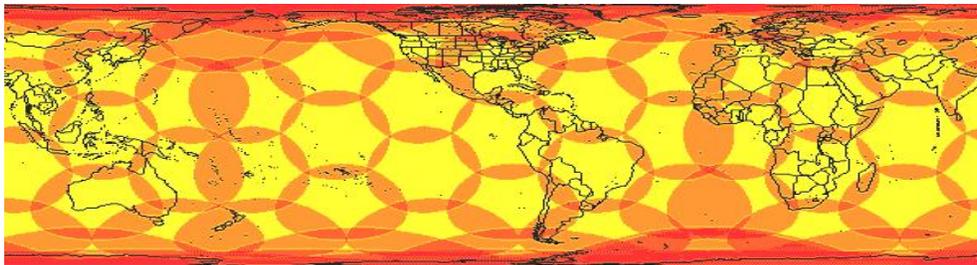
La base de las celdas fue diseñada en forma de una constelación con 688,944 Km de diámetro por celda y se puede dar cobertura a 110 usuarios simultáneamente, mientras que utilizando las bases terrestres se puede llegar a tener 220 usuarios. Analizando la proyección de los satélites Iridium de acuerdo a su altura, la cobertura total de un satélite Iridium debido a la curvatura de la tierra es de 601, 044.929 Km. de arco. En la fig. 3.14 se muestra en una forma grafica la proyección de las celdas del satélite Iridium hacia la tierra.



**Fig. 3.14 Proyección de las celdas de los satélites Iridium**

También con motivo de aprovechar al máximo la energía de las celdas se activan y desactivan independientemente. La antena esta compuesta por interruptores llamados Matriz Butler, que activan y desactivan a las celdas ayudadas por un software.

Se fijo un estándar de calidad de 16 dB en los enlaces que se dan dentro de la zona de cobertura de cada satélite Iridium, entre satélite y con la estación en tierra, tomando como referencia el peor caso que seria un enlace muy largo y con condiciones meteorológicas suficientemente adversas.



**Fig. 3.15 Patrón de radiación de los satélites Iridium**

### **3.6 CONECTIVIDAD DE LA RED**

La red de comunicaciones es representada normalmente por gráficos de nodos, que representan las localizaciones de las comunicaciones, y los acoplamientos que representan las trayectorias de la comunicación transmitida. La conectividad entre el plano de la estación terrestre y el plano de los satélites es cíclica en naturaleza. El ciclo de la conectividad de la red se puede definir como el tiempo que toma para que los dos planos se formen en la misma posición y estabilizar las mismas conexiones entre las estaciones terrestres y los satélites.

La red Iridium tiene esencialmente dos planos de nodos, los satélites y las estaciones terrestres, que se están moviendo uno con respecto del otro. Las conexiones de acoplamiento de las estaciones terrestres a los satélites cambian en un cierto plazo.

La conectividad entre las estaciones terrestres y los satélites Iridium no es establecida sobre una base cíclica. Sin embargo, el tamaño de la huella del satélite y el ángulo de elevación mínimo de la estación de tierra se deben considerar para determinar conectividad entre las estaciones de tierra y los satélites. Aunque la localización relativa de un satélite y de una estación de tierra puede no ser exacta, las conexiones pueden ser establecidas.

### **3.7 CONEXION INTERSATELITE EN IRIDIUM (Inter Satellite Link, ISL)**

En el sistema Iridium la mayor parte de la red reside en los satélites y en sus enlaces cruzados. Cada satélite Iridium mantiene arriba de cuatro ISL. Los ISL se establecen entre satélites del mismo plano así como en satélites en planos adyacentes. Los ISL en el mismo plano son mantenidos permanentemente, teniendo conexión con cada satélite que se encuentra en el mismo plano.

Los ISL con planos distintos se establecen y se terminan los acoplamientos mientras que el satélite supera su trayectoria orbital. El ángulo horizontal entre dos

satélites en planos orbitales adyacentes, usando una referencia de  $0^\circ$  paralelo al ecuador varia aproximadamente entre  $65^\circ$  en un periodo orbital. Este ángulo varía lo más lentamente posible sobre el ecuador donde están más separados en órbitas adyacentes, y varía lo más rápidamente posible sobre los polos donde las órbitas se cruzan. La variación en el azimut horizontal entre satélites necesita que las antenas sean orientables para mantener acoplamientos inter-orbitales.

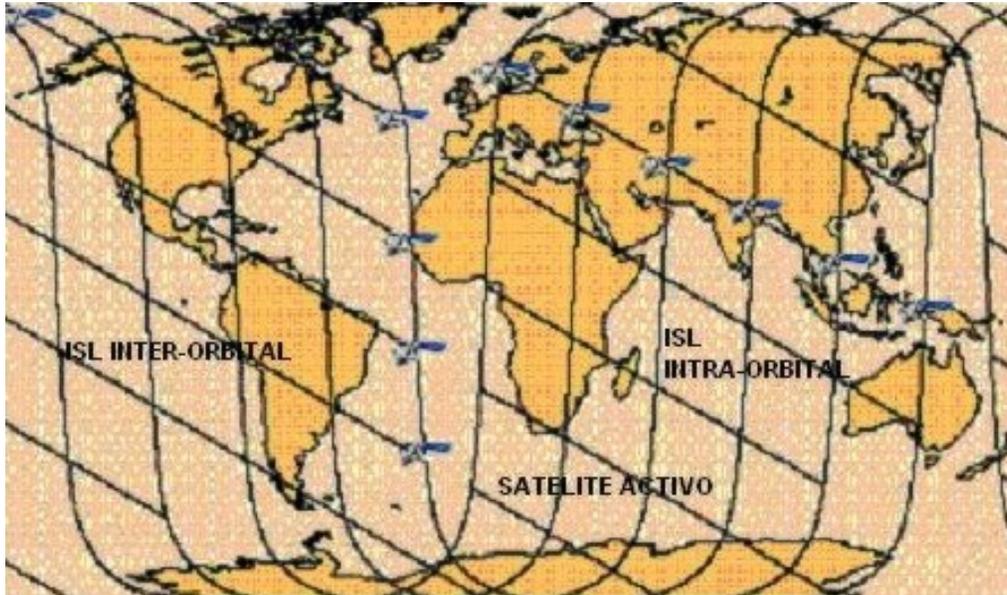
Para evitar la congestión en los enlaces, en el momento en que un enlace cruzado falle, nuevas tablas de enrutamiento deben ser actualizadas en todos los satélites vecinos al enlace estropeado. Debido a esto existe la necesidad de monitorizar el tiempo de vida de un paquete que ha sido enrutado en varias ocasiones y eliminar cualquiera que exceda un cierto valor de tiempo, de esa manera se evita tener tráfico que no es utilizado. Los ISL operan en un rango de frecuencia de 23.18-23.38 GHz.

Incluso con las antenas orientables, sería muy difícil mantener acoplamientos inter-orbitales en las latitudes más altas donde los azimut varían rápidamente. Un acercamiento usado para mantener las conexiones entre-orbitas es seleccionar un azimut horizontal nominal entre los satélites que se encuentran encima del ecuador. Entonces la antena se diseña para ser orientable sobre un rango que permita acoplamientos inter-orbitales en latitudes más bajas en donde el azimut cambia más lentamente. Un azimut horizontal nominal de  $45^\circ$  a  $50^\circ$  con una antena orientable sobre un rango de  $30^\circ$  a  $45^\circ$  grados es suficiente para mantener acoplamientos inter-orbitales entre las latitudes de  $50^\circ$  a  $60^\circ$  norte y sur.

La complejidad de los satélites Iridium se debe a la capacidad que se requiere en el proceso del control para manejar y soportar a los ISL para la conectividad de la red. Una eficiente conexión asignada puede optimizar la red sobre retrasos y reducciones en el impactando directamente sobre el funcionamiento la red.

En la imagen de la fig. 3.16 se observan los ISL que realiza el sistema donde cada intersección representa un satélite activo, las líneas horizontales representan ISL

intra orbitas y las líneas verticales representan ISL Inter-orbitales



*Fig. 3.16 Descripción de ISL Iridium, cada intersección representa un satélite activo.*

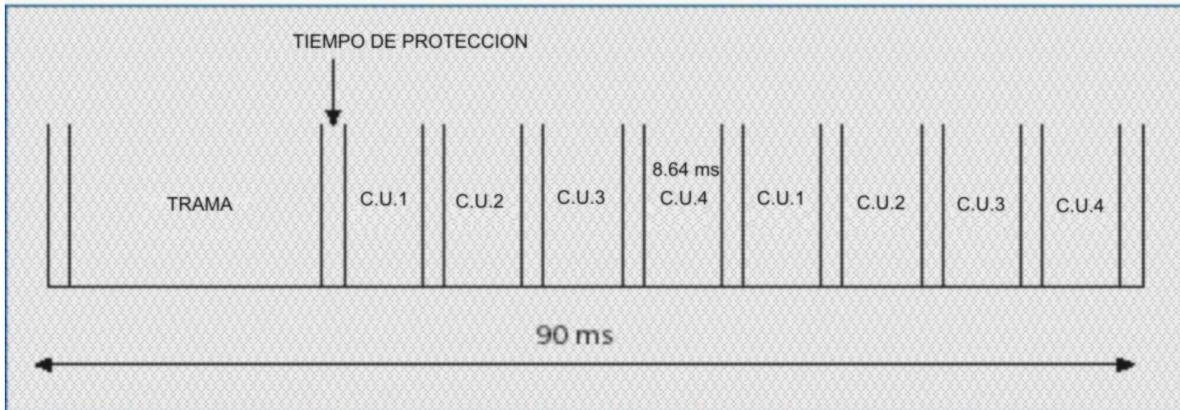
### 3.8 TÉCNICA DE ACCESO EN SISTEMA IRIDIUM

El sistema Iridium usa una combinación de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) y acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA). En el sistema Iridium una señal es enviada de un transmisor (teléfono) hacia el satélite en el rango de frecuencia de banda L. El satélite entonces asigna la señal a un canal de tráfico. El nuevo canal de tráfico asignado consiste en una nueva frecuencia determinada a través de FDMA, y una ranura de tiempo de conexión ascendente y descendente. La asignación del tiempo de ranura es el resultado del proceso en TDMA. El usuario tiene asignado un canal lógico donde cada dato puede ser transferido. El marco de TDMA es de 90 ms y contiene cuatro canales de usuario dúplex-lleno (full-duplex) en una tasa de datos de 50 Kb/s. Los cuatro canales full-duplex consisten en cuatro ranuras de tiempo para conexiones ascendentes y cuatro ranuras de tiempo para conexiones descendentes.

El sistema de Iridium soporta los canales de voz full-duplex a 4800 b/s y a los

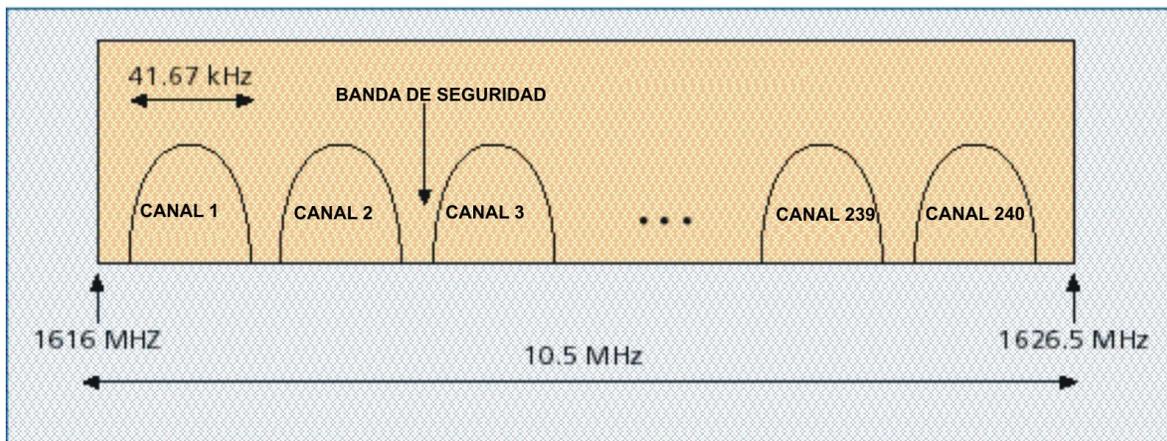
canales de datos half-duplex a 2400 b/s.

Las ocho ranuras de tiempo de usuario suman un total de 69.12 ms que dejan 20.88 ms del TDMA para las ranuras de tiempo de bits y tiempo de protección.



**Fig. 3.17 Full Duplex de sistema Iridium donde C.U. = Canal de Usuario.**

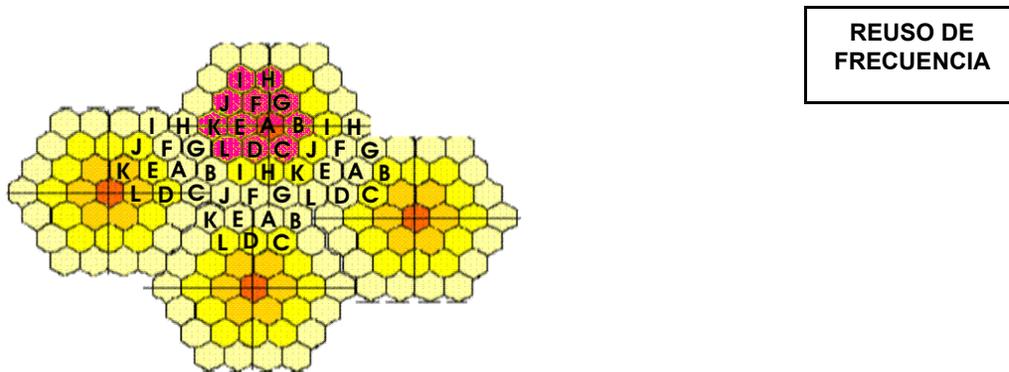
El sistema Iridium tiene un ancho de banda de 10.5MHz, el esquema de FDMA de Iridium divide el ancho de banda disponible en 240 canales de 41.67 kHz. Esto deja 499.2 kHz de ancho de banda para las bandas de seguridad, que significa aproximadamente 2 kHz de banda de seguridad entre los canales.



**Fig. 3.18 Ancho de banda del Sistema Iridium**

La red Iridium usa un factor de reusó de frecuencia de 12, como se muestra en

la fig. 3.19, a cada área geográfica se le asigna un grupo de canales, cada célula tiene la misma cantidad de canales. Las células que utilizan el mismo conjunto de frecuencias, en forma colectiva se llaman grupo. La capacidad de canales es proporcional a la cantidad de veces que se reproduce un grupo en determinada área de servicio. La capacidad de la red Iridium al poseer cuatro canales TDMA en 20 frecuencias por cada canal, permite hasta 80 usuarios simultáneos.



*Fig. 3.19 Reuso de frecuencia Iridium.*

### 3.8.1 Desempeño de la red

El desempeño de la red de Iridium puede observarse por lo que se refiere al retraso de extremo-a-extremo, el porcentaje de rechazo del paquete. El máximo retraso del extremo-a-extremo aceptable para la voz en tiempo real es de 400 ms.

Los retrasos de los accesos TDMA dependen del tiempo de transmisión del paquete y el promedio del tiempo de espera por una ranura TDMA. Bajo la observación que cada ranura TDMA es bastante grande para transmitir un paquete, el tiempo de transmisión de un paquete es simplemente el tiempo ranura TDMA. El tiempo promedio que un usuario tiene que esperar por una ranura de tiempo TDMA es la mitad del marco de longitud TDMA. La longitud del marco TDMA es de 90 ms, y el tiempo de ranura es 8.64 ms.

Sin embargo, un análisis del procedimiento de arreglo de llamada indica que el retraso de acceso de Iridium es el tiempo que tarda el TDMA acceder. Como cada

célula en el sistema del Iridium tiene 20 canales de frecuencias con cuatro usuarios por cada canal de frecuencia. Este retraso se causa por el tiempo que se necesita para asignar un canal de frecuencia al usuario y no contribuye al retraso de paquete de extremo-a-extremo. Es lógico asumir que el usuario se le asigna un canal de frecuencia y una ranura de tiempo TDMA full-duplex cuando, recibe el tono del dial. Si una ranura de tiempo TDMA no está disponible, el canal de frecuencia no podrá asignarse. De esta forma, el usuario puede ser considerado uno de los cuatro usuarios que comparten un canal TDMA.

El retraso de la propagación varía porque la distancia entre los satélites cambia en las órbitas adyacentes por estar a diferentes latitudes. Debajo de las latitudes de 60 grados dónde los ISL pueden mantenerse entre los planos orbitales adyacentes, la distancia entre los satélites varía entre 3,270 y 4,480 Km. La distancia entre los satélites en el mismo plano orbital es 4,030 Km. Usando una distancia promedio de 4,000 Km. entre los satélites tenemos un promedio del retraso de propagación de 13.33 ms.

### **3.9 MODULACION DE LA SEÑAL**

El sistema Iridium usa QPSK para modular la señal digital y así poder transmitirla en frecuencia portadora analógica. El QPSK es una forma de modulación de fase (PM) que usa 4 diferentes fases de ángulos para modular.

En QPSK se transmite una de cuatro posibles señales durante cada intervalo que corresponde a desfases de  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ . Ofrece rendimientos atractivos con velocidades de datos mayores con buenas características de desempeño como son potencia aceptable contra ancho de banda.

Iridium utiliza la modulación QPSK, pues es muy eficiente en el uso de la potencia, por lo que es muy utilizado para la transmisión de datos, es poco sensible a la atenuación provocada por los climas atmosféricos. También es considerada una técnica de modulación fácil y de bajo costo para su implementación en transmisiones.



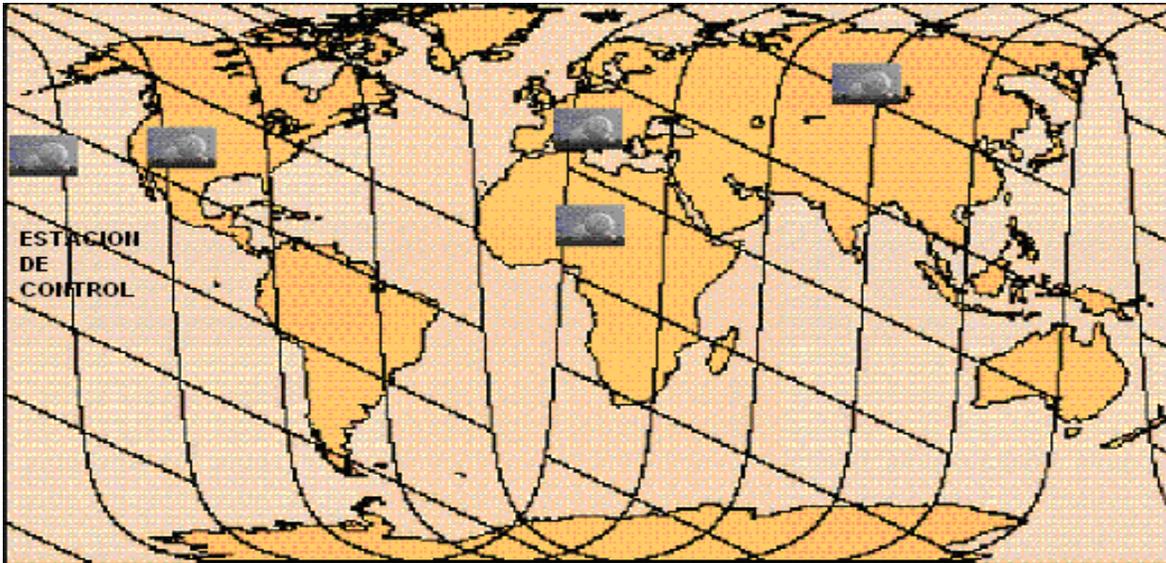
#### 4 SEGMENTO TERRESTRE DE SISTEMA IRIDIUM

La red terrestre se comprende del segmento de mando del sistema así como de las puertas de enlace que son las infraestructuras terrestres encargada de interconectar la red espacial con la red terrestre, dándole apoyo al funcionamiento del sistema Iridium.

Por ejemplo: una orquesta tan grande que el director deba ubicarse en la parte de atrás, lo bastante lejos como para poder tener una visión perfecta de todos los músicos el director es el elemento que une a todos y cada uno de los miembros de la orquesta, supervisándolos y dirigiéndolos, para que así de esta forma se asegure que los músicos ejecuten sus instrumentos durante toda la obra en armonía.

El sistema del segmento terrestre, hace la función similar a la de un director de orquesta en donde los músicos son el sistema espacial de satélites Iridium. Esta es quizás la manera mas simple de señalar el papel que desempeña el sistema del segmento terrestre de el sistema satelital de orbita baja Iridium.

Como se muestra en la fig. 4.1, el sistema Iridium utiliza una estación de control, ubicada en Hawaii. Para ligar el sistema basado en los satélites del Iridium a las redes de teléfono públicas alrededor del mundo, utiliza 4 puertas de enlace regionales, ubicadas, en Moscú (Rusia), Roma (Italia), Nigeria (África) y Arizona(E.U.A).



*Fig. 4.1 Ubicación de Estación de Control y de Puertas de Enlace de Sistema Iridium.*

## 4.1 SEGMENTO DE CONTROL DEL SISTEMA

### 4.1.1 Control de Red

Para llevar adelante el desarrollo correcto y eficiente del sistema de comunicaciones por satélite Iridium, es necesario tener control de la red.

El Segmento de Control del Sistema, que constituyen el “centro neurológico” del sistema Iridium esta formado por un conjunto de subsistemas heterogéneos entre los que se incluyen el control de la infraestructura de la estación de seguimiento, control de los satélites y supervisión de la red.

Para monitorear y controlar a los satélites del sistema Iridium, el Segmento de Control del Sistema, utiliza modelos en tiempo real de las trayectorias que los satélites ejercen. Para obtener toda esta información se ha puesto una base de datos en el segmento de control del sistema, así como en el segmento de control orbital comunicados por una conexión lógica.

Este interfaz (interconexión) proporciona un gran alcance en el sistema, ya que

cuando se requiere, se puede tener acceso a una recuperación inmediata de datos específicos, basados en la necesidad que se presente, por este motivo es que el almacenaje de los datos se maneja para cortos y para largos plazos, ya que se requiere tener una actualización de los datos constante.

También se cuenta con un interfaz (interconexión) gráfico que asemeja de cerca a los componentes representados, y refleja la posición actual de los satélites, el estado de los módulos, de los niveles activos de la energía, de los termómetros y de los instrumentos que indican el voltaje o amperaje de la batería.

Así se pueden llevar a cabo actividades como la automatización de las operaciones en el sistema, el control desde tierra del equipo que se encuentra en el espacio que implica la resolución automatizada de las averías que pudieran darse en el espacio.

La automatización de las operaciones se ve beneficiada por la supervisión, corrección y consolidación de las actividades que se llevan a cabo en el centro de control.

Los procedimientos automatizados se ven reflejados en el Segmento de Control del Sistema (SCS), ya que proporciona una gran capacidad de alcance desde tierra para monitorear el segmento espacial y de esta forma poder mantener el control constante del mismo.

Así la interactividad que se les permite a los ingenieros y operadores que se encuentran en el SCS, hace que puedan realizar un análisis en las trayectorias satelitales, la supervisión de los niveles de energía, supervisar temperaturas, voltajes / amperes, revisar el estado del bus de cada satélite.

La telemetría que ocupa el sistema, proporciona los datos que le da la capacidad de detectar averías. Donde pueden revisar las acciones ejecutadas con anterioridad, así como las observaciones hechas al comando del sistema, como serían alertas que se tengan durante el día y datos del funcionamiento del sistema, para poder

correlacionarlos lógicamente y entregar informes para llevar a cabo un análisis cotidiano del sistema.

El Segmento de Control del Sistema, es el elemento encargado de la dirección central para el sistema del Iridio, manteniendo apoyo global a las operaciones del sistema, así como dar servicio al mando de la constelación del satélite rastrea y entrega a los satélites datos o llamadas hechas, utilizando a las puertas de enlace para la entrega de esta información a los satélites. También se encarga de realizar la función de mando que determina que servicio de mensajería es el que se debe de ejecutar.

#### **4.2 PUERTA DE ENLACE (GATEWAY)**

Las puertas de enlace se encargan de conectar al sistema telefónico terrestre las llamadas realizadas en el sistema satelital.

Al disponer de una llamada usualmente se vincula un canal de señalización, el cual es utilizado por la unidad de cliente para pedir el establecimiento de una llamada.

Para la conexión con los satélites, las puertas de enlace cuentan con una antena parabólica de largo alcance de 3.048 metros de diámetro (operando en frecuencias de banda Ka en un rango de 19 y 29 GHz). Los satélites, son captados por la puerta de enlace cuando se encuentran a una elevación de 8° por encima del horizonte y son seguidos hasta llegar a la misma elevación sobre el horizonte opuesto.

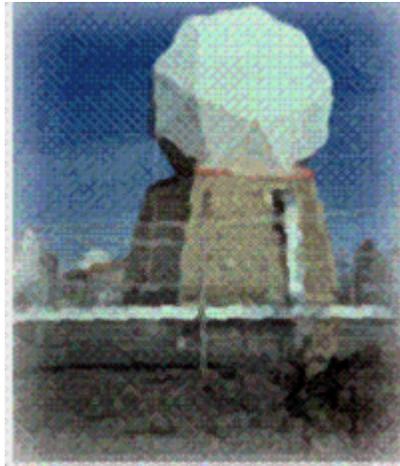
Cuando se traspasa la llamada a un usuario móvil es necesario conocer cual es su posición exacta, se hace uso entonces del registro local de visitantes y el intercambio de información en las centrales y las estaciones base de radio.

Debido a que se genera un flujo enorme con las bases de datos que mantienen los registros de los usuarios, las puertas de enlace están provistos de una gran

capacidad de almacenamiento, así como de potentes sistemas de señalización debido al intercambio masivo de estos datos, también pueden absorber tráfico, y cuentan con el soporte de una red multicelular para evitar señales deficientes.

Las puertas de enlace están conectadas por medio de una red digital, que los conecta al Segmento de Control del Sistema y es éste quien distribuye la carga entre satélites (canales) y efectúa la tarificación y control operativo.

Estas estaciones tienen capacidad para enviar y recibir órdenes de telemetría y control de actitud, denominadas TCCs. Estas se envían al Segmento de Control, que las procesa para la adquisición y conmutación entre células o haces. Cada estación consta de la etapa RF, el control FDMA-TDMA y el conmutador, que alterna los satélites en visión y satélites a extinguir (cada estación puede tener en seguimiento hasta cuatro satélites). Son tres formas de seguimiento (telemetría, telecontrol y administración).



*Fig. 4.2 Puerta de Enlace (Gateway)*

### **4.3 LA UNIDAD DE MULTICAMBIOS (Multi Exchange Unit MXU)**

La Unidad de multi-cambios (Multi Exchange Unit MXU) permite la interconexión de la red Iridium al sistema de telefonía convencional, potenciando así las capacidades de comunicación. Esta interconexión se logra a través de una interfase que realiza la unidad, y la cual permite conectar hasta cuatro llamadas

satelitales simultáneas con la infraestructura telefónica ya instalada en el interior de edificios, fábricas, oficinas, minas, etc.

Una de las aplicaciones inmediatas del MXU es la de brindar una efectiva solución de telecomunicaciones para contingencias.

Más allá de su evidente aplicación como sistema de comunicaciones para emergencias y contingencias, el MXU es una efectiva herramienta para grupos que tienen un acceso limitado a sistemas telefónicos, bien como resultado de sus operaciones en lugares remotos, por causa de fenómenos naturales, o por problemas en el funcionamiento de las líneas telefónicas convencionales u otros sistemas de comunicación.

El MXU de Motorola como se observa en la fig.4.3, se comporta como un puente entre los sistemas existentes de telefonía y el revolucionario sistema satelital Iridium. Este sistema utiliza antenas remotas y externas para proveer comunicación satelital, y permitir la realización de llamadas telefónicas desde lugares cerrados o protegidos de las situaciones climáticas extremas. Con sólo conectar físicamente la consola del MXU a una central de conmutación Cambio Automático Privado de Rama (Private Automatic Branch Exchange PABX), instantáneamente se tiene acceso a través del sistema Iridium al tradicional servicio de telefonía como al servicio celular.

Para los países en vía de desarrollo o para las zonas rurales, donde el costo de la infraestructura de los sistemas telefónicos es muy alto, el sistema Iridium, para estas áreas está prevista la utilización del Mobile Exchange Units (MXUs) que funcionan como centrales sofisticadas, que permiten el acceso al sistema Iridium con teléfonos de la Red Fija Pública (Public Switched Telephone Network PSTN) provee acceso compartido al sistema a varias localizaciones remotas, proporcionando conexión telefónico convencional de cara a su conexión directa a varias líneas analógicas o a una central (PABX) como alternativa se pueden instalar cabinas telefónicas con transmisor-receptor Iridium incorporado, funcionando con alimentación eléctrica o bien completamente independientes con alimentación solar.

De los componentes la interconexión depende del tipo de aplicación.

- En la conexión de voz se conecta el MXU a una PABX y finalmente la terminal es el teléfono.
- Para una red de datos (LAN, WAM) se conecta el MXU a un Guardián (Gatekeeper), de ahí la conexión es a un switch y finalmente las terminales que son CPUs.

Se ha popularizado también la denominación Control de Puerta de Medios (Media Gateway Controler MGC) para una extensión de funciones, donde, la primera toma de la telefonía pública convencional las partes que pueden ser utilizadas (procesador central, memoria, cómputo de tráfico, etc.) y elimina aquellas que no corresponden (red de conmutación de circuitos).



**Fig. 4.3 Función del Mobile Exchange Unit MXU en el Sistema Iridium.**

#### 4.4 TELEFONO MOTOROLA 9505 PARA SISTEMA IRIDIUM

Los teléfonos satelitales Motorola 9505 para sistema Iridium, figura 4.8, están diseñados para brindar una óptima comunicación, estos equipos permiten que el usuario se comunique entre el sistema inalámbrico terrestre y el sistema satelital de

Iridium de forma que solo realizará llamadas vía satélite cuando se encuentre fuera de la cobertura celular terrestre. Con la ayuda de terminales personales, el subscriptor podrá utilizar la constelación de satélites cuando su estándar celular no esté disponible y viceversa, asegurando un roaming bidireccional, cobertura global y las ventajas de ambas tecnologías.

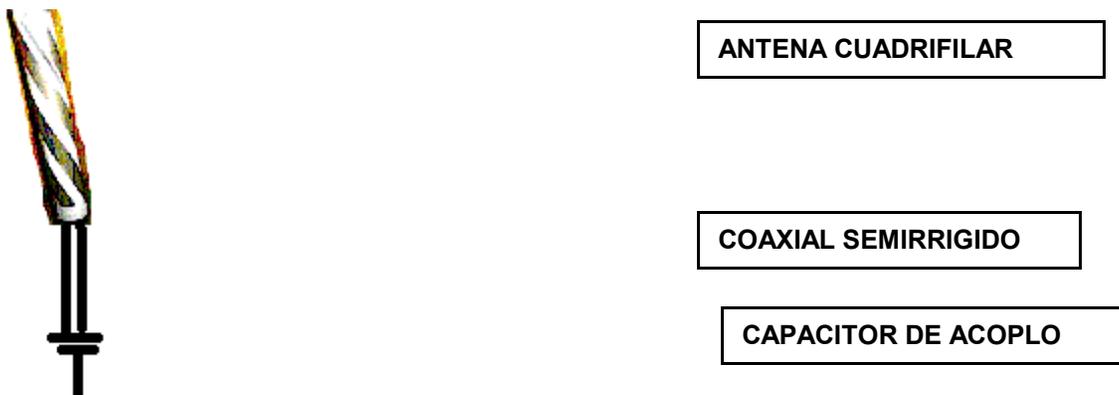
La terminal telefónica es similar a un teléfono móvil, con la circuitería integrada para funcionar en modo celular-satelital, también incorpora facilidad al usuario para obtener información sobre su posición (latitud, longitud, elevación) y hora exacta.

El celular funciona con un muy bajo poder de transmisión y recepción de señales de radio.

Se debe de sostener el teléfono como cualquier otro, procurando que la antena se encuentra vertical apuntando hacia el cielo.

No debe de tocarse la antena cuando el teléfono este en uso, el contacto con la antena afecta la señal y la calidad de la llamada, es posible que el teléfono utilice mas energía para poder operar de la que normalmente requiere, ya que la antena requiere de una vista sin interferencias hacia el cielo para acceder a Iridium.

La antena del teléfono Iridium es una antena cuadrifilar, el coaxial semirrígido conecta al capacitor de acoplo con la antena.



**Fig. 4.4 Diagrama de antena, coaxial semirrígido, capacitor de acoplo.**



**Fig. 4.5 Módulo de RMPA-1620A-121**

El componente Modulo Amplificador de Potencia Raytheon (Raytheon Modules Power Amplifier RMPA), fig. 4.5, esta diseñado para aplicaciones en sistemas de comunicaciones personales. Para la administración de la potencia DC al reducir el consumo durante el uso máximo del teléfono. Se alcanzan una alta eficiencia de la potencia suministrada y una linealidad excelente.



**Fig. 4.6 Vista de una porción de la tarjeta principal. Es el área principal del proceso en el teléfono.**

#### **4.4.1 Antena Cuadrifilar Helicoidal.**

La antena cuadrifilar helicoidal es ideal para aplicaciones donde se requiere irradiar ondas electromagnéticas de polarización circular. Es una antena que tiene una circularidad casi perfecta en toda su área de recepción. En la fig. 4.7 se muestra la

antena helicoidal, un cilindro hecho de plástico, tiene el propósito de soportar el cable que forma espiras espaciadas. La antena proporciona una sensibilidad y amplificación de la señal.



**Fig. 4.7 Antena Cuadrifilar Helicoidal.**

La hoja técnica del teléfono Motorota 9505 para sistema Iridium, se muestra a continuación:

<b>DIMENSIONES:</b>	15.8 L x 6.2 A x 5.9 D cm.
<b>PESO:</b>	aprox. 375 g.
<b>FRECUENCIA MODO SATELITAL:</b>	Banda L 1.6-2.1 GHz.
<b>FRECUENCIA MODO TERRESTRE:</b>	900 MHz o 1.8 GHz.
<b>BW/CANAL:</b>	8 kHz.
<b>CODIF. VOZ:</b>	4.8 Kbps
<b>TRX. DATOS, FAX:</b>	2400 bps
<b>INTERFACE DATOS:</b>	RS232
<b>BATERIA:</b>	Recargable

**Tabla 4.1 Hoja técnica del teléfono Motorota 9505.**

#### 4.4.2 Características:

- Pequeño y liviano.
- Bajo fuertes condiciones es resistente al agua, al polvo y a los impactos.
- 21 diferentes opciones de lenguaje para mostrar en la pantalla.
- Alerta de vibración.

- Pantalla holográfica iluminada.

#### **4.4.3 Duración de la Batería:**

- Provee hasta 30 horas la batería sin usar el teléfono.
- Provee hasta 3.2 horas la batería de uso continuo del teléfono.

#### **4.4.3 Características de Llamada:**

- Notificación de remarcado.
- Bloqueo de llamadas.
- Mensaje de voz cuando la llamada no logra conexión: “el suscriptor tiene la línea ocupada o está fuera del área de cobertura”.
- Tecla de acceso internacional (tecla +).
- Buzón de mensajes para voz.
- Buzón de mensajes para texto de 120 caracteres.
- Tres opciones de timbre para el teclado.
- Diez opciones de timbre par el teléfono.
- Indicador de llamada no atendida.
- Tecla para ajustar el volumen.

#### **4.4.4 Control de Uso:**

- Indicador de batería en pantalla.
- Cronómetro de llamadas en pantalla.
- Llamadas Restringidas.
- Cronómetro para el total de llamadas.
- Alarma de tiempo de llamada.



*Fig. 4.8 Teléfono Motorola 9505 para sistema Iridium.*

#### **4.5 ENLACE A TELÉFONO PORTÁTIL.**

El desempeño del teléfono móvil en un sistema satelital depende de la contribución de ruido del ambiente.

El ruido recibido por la antena móvil es parte del ambiente de propagación que rodea al usuario, se contribuye por la tierra, los objetos circundantes, (los edificios, árboles, etc.), lluvia, atmósfera.

El nivel de ruido, depende de que tanto esta orientada la antena del teléfono a

alguna de estas fuentes.

Para el teléfono, la relación de la antena receptora a la temperatura equivalente de ruido que rodea al receptor, es el parámetro que se requiere para evitar al máximo gastos en el enlace.

Debido a la potencia de portadora tan pequeña que llega al teléfono es colocado un amplificador de bajo ruido (Low Noise Amplifier LNA).

#### **4.6 PROCESO DE UNA LLAMADA**

El sistema Iridium permite a los usuarios andar al rededor del mundo utilizando el mismo número suscrito. Son utilizados dentro de grandes áreas geográficas puertas de enlace regionales. Por ejemplo una sola puerta de enlace sirve a Norte América. Las puertas de enlace mantienen una base de datos del suscriptor así como de las posibles locaciones donde se encuentre, este registro es llamado Registro de Ubicación de Casa (Home Location Register HLR).

Un suscriptor Iridium es identificado únicamente por tres números que son:

- MSISDN Suscriptor Móvil Integrado a los Servicios del Número Digital de la Red (Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network Number).
- TMSI Identificación temporal del Suscriptor Móvil (Temporary Mobile Subscriber Identification).
- IMSI Identidad del Suscriptor del Móvil Iridium (Iridium Mobile Subscriber Identity)

El MSISDN es el número de teléfono de un usuario Iridium, consta de 12 números digitales.

- El primer campo de los 12 números digitales es de cuatro dígitos que son los que señalan el código del país. La red Iridium tiene su propio código de país.

- El segundo campo de los números es de tres dígitos, señalan el código geográfico.

Este código es usado para identificar al usuario dentro de la región donde se encuentra su país ya que una puerta de enlace sirve a más de un solo país.

- El tercer y final campo de números consta de cinco dígitos y forma parte de 12 números digitales que son marcados para encontrar a un suscriptor.



*Fig. 4.9 MSISDN sistema Iridium.*

El TMSI este es un número temporal que se transmite a la red durante la conexión de una llamada. Este número es cambiado periódicamente para la protección y confiabilidad del suscriptor.

El IMSI es un número permanente almacenado en un modulo parecido a una tarjeta de crédito, que el suscriptor inserta dentro de la unidad de teléfono móvil este número contiene información que permite en la puerta de enlace una identificación única al usuario y determina de que la puerta de enlace regional proviene.

Cuando un suscriptor enciende su unidad de teléfono móvil transmite una señal llamada "listo para recibir", esta señal contiene los datos vitales del suscriptor, además de avisar a la puerta de enlace que el teléfono esta encendido. El sistema Iridium rastrea la localización del usuario mediante la puerta de enlace regional a la que pertenece, determina la situación del usuario buscando al suscriptor en el HLR (Home Location Register). La puerta de enlace entonces manda la señal vía ISL al satélite directamente sobre el usuario. La señal es entregada haciendo sonar el teléfono. La puerta de enlace dirige los paquetes de voz por la red Iridium hasta llegar con el suscriptor. Cuando el usuario se desconecta, la unidad de teléfono móvil

manda una señal llamada "off-hook" que viaja vía ISL hasta la puerta de enlace.



*Fig. 4.10 Ciclo de encendido de teléfono.*

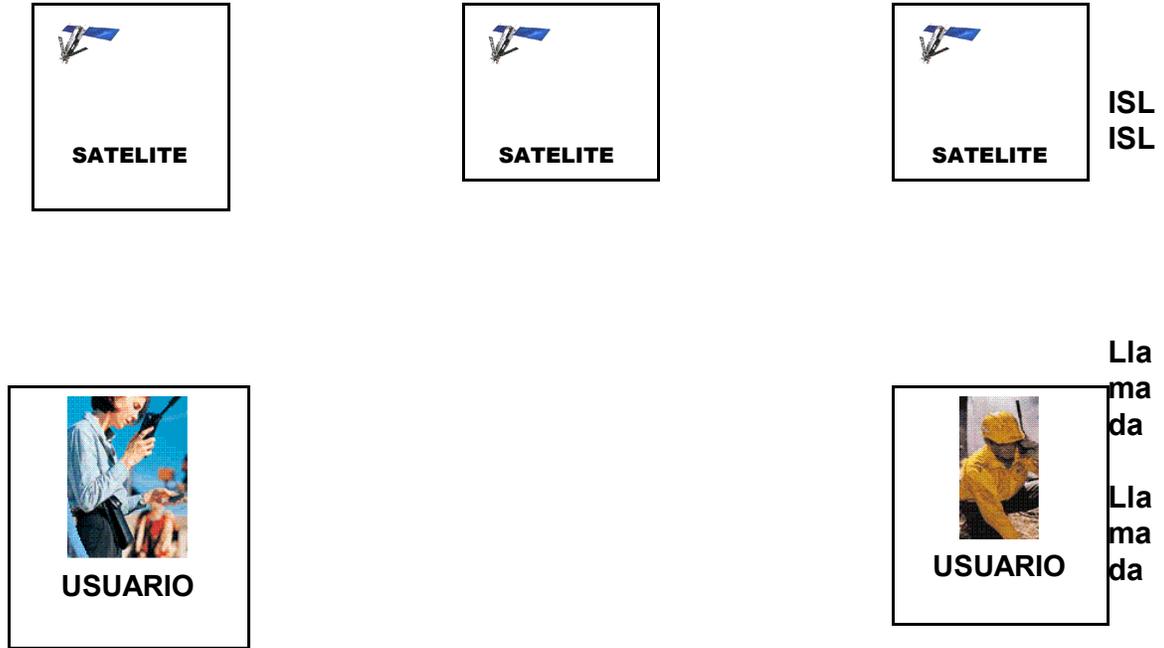
El escenario es ligeramente diferente si el usuario está dentro de la región de una puerta de enlace que no le corresponde. En este caso, la puerta de enlace regional que le corresponde enviará una señal a la puerta de enlace visitado donde se encuentra el suscriptor, la puerta de enlace que recibe la señal "listo para recibir" reconocerá que el usuario tiene una suscripción de visita, determina la localización del suscriptor y almacena la información en un Registro de Localización de Visitantes (Visted Location Register VLR).

Manda una señal de alarma que va al satélite que esta encima del usuario. Cuando el usuario se desconecta, la señal de que se a desconectado se envía a la puerta de enlace visitado, y entonces son entregados a la puerta de enlace de la región a la que pertenece el suscriptor. La puerta de enlace regional actualiza la ubicación de su usuario en el Registro de Localización Casera (Home Location Register HLR).



**Fig. 4.11 Ciclo de encendido por Puerta de enlace visitada.**

**Nota:** Los paquetes de la voz no tienen que ser enrutados a través de la puerta de enlace. Si la llamada es de un usuario móvil a otro usuario móvil, los paquetes de voz pueden viajar completamente por el ISL Iridium. La información del arreglo de la llamada pasa por la puerta de enlace, pero la puerta de enlace se retira después de cada llamada realizada.



*Fig. 4.12 Llamada puesta en ISL.*

## 5 DISTRIBUCION DE SERVICIO IRIDIUM

Iridium establece una estrategia de servicio en mercados basados en las empresas cuyas instalaciones se encuentren en lugares remotos y su necesidad de comunicación se ve restringida por la falta de infraestructura como son las industrias dedicadas a la exploración cercana a las costas y la construcción pesada como por ejemplo la construcción de presas, en estas industrias las necesidades de los usuarios son comúnmente transferencia de voz, y datos.

Iridium ofrece los servicios globales de voz y datos por medio de socios calificados de distribución, como sería un Revendedor de Valor Añadido VAR (Value Added Reseller), Fabricación de Valor Agregado VAM (Value Added Manufacturer) o un Valor Añadido Revelador VAD (Value Added Developer).

### 5.1 VAR (Value Added Reseller)

Los Revendedores de Valor Añadido (VAR) es una compañía que proporcionan soluciones de voz y datos para el mercado industrial, así como para usos particular, como serían los aparatos telefónicos y la instalación de equipo como antenas.

El VAR basándose en información que es tomada en campo, desarrolla las exigencias del consumidor para obtener un producto final referido al tipo de accesorios para el servicio de datos o paquetes que reúnan las características buscadas por el cliente para la solución a sus necesidades. Dependiendo del tipo de soluciones mas solicitada mantiene su mercado.

El VAR vende paquetes, de solución basado en el servicio de datos que proporciona Iridium, al gobierno de los Estados Unidos y la Aeronáutica con la garantía de que el Sistema Iridium proporciona la ayuda técnica a estos usuarios.

## **5.2 VAM (Value Added Manufacturer)**

El programa VAM (Value Added Manufacturer) de Iridium o programa de Fabricación de Valor Agregado ha sido creado para ofrecer soluciones en voz y datos para mercados específicos como son Aeronáuticos y Marítimos.

El programa trabaja con compañías que tienen influencias en el área de la Telecomunicaciones, dentro del mercado industrial e introduce un producto acabado de voz o datos para el Sistema Iridium, no revende los servicios de voz y datos directamente de Iridium si no que fabrica su propio producto, haciéndolo compatible con el sistema Iridium y los vende a las compañías o en sociedad con las compañías que proveen los accesorios y servicios, como son de voz y datos, además de recibir apoyo de la parte de mercadotecnia y ventas del Sistema Iridium directamente.

Durante el proceso de fabricación del producto creado por el VAM, proporciona apoyo técnico para las fases de desarrollo y prueba, además de proporcionar información técnica en un sitio por Internet específicamente desarrollado para usuarios de los productos VAM.

## **5.3 VAD (Value Added Developer)**

El programa de Valor Añadido Revelador (Value Added Developer VAD) de Iridium se ha creado para desarrollar relaciones con las compañías que tienen una capacidad técnica particular para desarrollar un producto nuevo, una solución que utilice voz de Iridium o servicio de datos o un producto existente del fabricante de valor agregado (VAM) o del revendedor de valor agregado (VAR). VAD no desarrolla nuevos productos o soluciones de los servicios que ofrece Iridium.

El Trabajo de VAD es directamente con los socios del servicio del Iridium como son VAR y VAM para distribuir sus servicios y productos. El buen manejo de las relaciones entre las empresas involucradas tiene la capacidad potencial de aumentar

la distribución del servicio de voz y de datos. Una relación técnica directa con Iridium asistirá a desarrollar la confianza de los clientes a los productos y servicios de iridium.

#### **5.4 SERVICIO PROPORCIONADO AL DEPARTAMENTO DE DEFENSA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA.**

Los funcionarios Departamento de Defensa de los Estados Unidos de America, utilizan el sistema Iridium, ya que les proporcionan alcances específicos para sus fines militares, como por ejemplo, el sistema mejoro las capacidades de operación de las fuerzas especiales, actividades de combate búsqueda y rescate, así como las comunicaciones llevadas acabo con estaciones militares que se tienen en los polos, además provee conexión a la red de los servicios informativos de defensa, a este servicio que se le da al Departamento de Defensa (Defense of Department DoD) es considerado como clasificado, y es proporcionado no sólo para este departamento, sino que también es proporcionado a otras agencias federales como la Agencia Central de Inteligencia (Central Intelligence Agency CIA) y gobiernos aliados como Reino Unido.

#### **5.5 SATÉLITES EN EL ÁREA DE LOS MULTIMEDIOS.**

Los adelantos tecnológicos impulsaron la revolución para la creación de sistemas de acceso inalámbrico para la provisión del servicio telefónico básico.

Los elementos más importantes que se toman en cuenta para la creación de nuevas infraestructuras que puedan cubrir las necesidades actuales de comunicación es la elección del medio que transporte una llamada o información entre la estación base y el aparato receptor del usuario.

Las aplicaciones y los sistemas inalámbricos Iridium han cambiado completamente el concepto de los servicios de telecomunicaciones, que se presentan ahora entre personas en vez de entre lugares, con el objetivo de "comunicarse con cualquiera, en cualquier lugar, en cualquier momento".

La tecnología proporcionada por las constelaciones de satélites Iridium son una base sólida para la nueva generación de sistemas satelitales enfocados a ofrecer servicios altamente interactivos debido a un tiempo ida-vuelta muy corto ya que además de enmarcarse dentro de la tecnología de satélites móviles LEO, el sistema trabaja en una banda ancha Ka cuya ventaja es que puede transportar mas cantidad de datos que pueden ser enviados en menos tiempo teniendo una eficacia mayor pues las transmisiones son más rápidas.

La constelación satelital planteada por el sistema Iridium permite que cada satélite sea el equivalente a un nodo de una red de conmutación de paquetes de alta velocidad, con enlaces de comunicación inter-satelital con satélites adyacentes. Este tipo de interconexión forma una malla, que proporciona una robusta configuración de red que tolera errores y congestiones locales. Utilizando el monitoreo de sus flujos de datos, se detectan cambios en el aumento o disminución la cantidad de datos manejados en la ejecución de una aplicación, así como la administración de sus recursos de almacenamiento temporal, que permite hacer un uso eficiente del ancho de banda disponible.

Las nuevas tecnologías satelitales están desarrolladas actualmente para proporcionar acceso universal a los servicios de comunicación de banda ancha en una forma global así como acceso a servicios interactivos. Los nuevos sistemas combinan la cobertura global y el bajo retardo de las constelaciones de satélites de órbita baja (LEO) así como de un ancho de banda en tiempo real, añadiendo la flexibilidad y robustez característico del Internet con la nueva propuesta de una asignación dinámica del ancho de banda o asignación bajo demanda del ancho de banda. Permite que los clientes compren la capacidad de comunicación satelital que le sea necesaria, en lugar de pagar altas tarifas para realizar su comunicación. Los sistemas proporcionan una flexibilidad mayor destinada a sustentar el interfuncionamiento entre redes de diferentes tipos con el fin de proporcionar a los usuarios mayor cobertura y robustez de servicio.

## **5.6 TERMINAL DE USUARIO**

A medida que se han desarrollado los sistemas de la nueva generación, han cambiado las terminales de usuario, los principales fabricantes considerarán el nuevo tipo de teléfono celular como un "comunicador personal" en vez de un simple teléfono, pues funcionará como teléfono, computadora, aparato de radio, televisor, radio buscador, localizador GPS, centro de videoconferencia, periódico, etc., y será activado por la voz.

Las terminales permiten una amplia gama de velocidades de transmisión en el enlace con el satélite de la célula en que está enmarcada. Por los datos que se tienen hasta ahora se han podido determinar tres tipos básicos de asignación del ancho de banda:

- Conexiones estándar: Tanto en terminales fijos como transportables, en el enlace ascendente pueden operar desde cualquier múltiplo de 16 Kbps (canal básico) hasta un máximo de 2.048 Mbps, ya que se asigna bajo demanda. Éste máximo se puede distribuir como se desee, desde 128 canales de voz a 16 Kbps a un solo canal E1 (2.048 Mbps). El enlace descendente puede llegar hasta 64 Mbps, pudiéndose distribuir también como se desee, desde 4000 canales de voz simultáneos de 16 Kbps, hasta 32 canales E1 simultáneos.
- Conexiones con terminales de banda ancha: Ofrecen un ancho de banda de 64 Kbps tanto en el enlace ascendente como descendente.
- Conexiones Giga Links: La red también soporta un pequeño número de terminales fijos para Giga Links, que operarán a la velocidad 155.52 Mbps y múltiplos de esa velocidad, hasta 1.2 Gbps.

La capacidad de manejo de múltiples velocidades de transmisión, así como la compatibilidad con protocolos estándares y prioridades de servicio, proporciona la flexibilidad para soportar un amplio rango de aplicaciones, de las que se pueden enumerar:

- Dar soporte a Internet e intranets corporativas.
- Comunicación multimedia.
- Interconexión de LANs.
- Dar soporte a compañías telefónicas desviando el tráfico de comunicaciones de voz.

Dos ejemplos que se enfocan más a la tecnología Iridium son los sistemas Teledesic y Celestri que utilizan sus satélites para ofrecer el acceso de alta velocidad al Internet, al Intranet, la voz y el vídeo, para usos en empresas así como de consumidores menores. Son aspectos importantes para las nuevas propuestas de sistemas satelitales por lo cual los sistemas están abiertos a una amplia gama de terminales de usuario.

## 5.7 TELEDESIC

Consta de 288 satélites LEO para el acceso a internet, la videoconferencia, y el servicio telefónico netos

Frecuencia: Banda Ka

Fecha Del Lanzamiento: 2001

Comienzo Del Servicio: 2002

Soportes: Bill Gates, Craig McCaw, Boeing Corp.

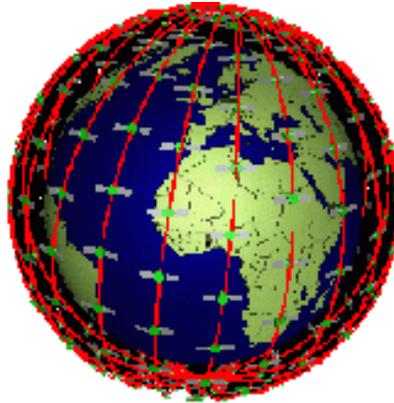
Teledesic se sitúa dentro de los proyectos de banda ancha, es decir, pretende establecer, mediante una constelación de satélites, una red de alta capacidad de transmisión equivalente a los enlaces de fibra óptica existentes en la actualidad. Es lo que Teledesic denomina Internet en el cielo (Internet in the sky).

Los servicios que ofrece son: facilidades de transmisión de datos de banda ancha orientados principalmente a otros proveedores de servicio que son a su vez los que llegan al usuario final.

La constelación de satélites propuesta consta de 288 satélites colocados en

órbita baja, en 12 planos con 24 satélites cada uno.

Éstos pueden comunicarse con las estaciones terrenas, realizar conmutación y enlazar con otros satélites próximos, lo que dota al sistema global de una gran flexibilidad.



*Fig. 5.1 Constelación Teledesid.*

## 5.8 CELESTRI

El sistema consta de 63 satélites LEO y 4 satélites GEO para los multimedia interactivos, el acceso neto, y el servicio telefónico de la voz.

Frecuencia: Banda Ka

Fecha Del Lanzamiento: 2001

Comienzo Del Servicio: 2002

Soporte: Motorola Inc.

El segmento espacial del sistema propuesto por Celestri es una combinación de satélites en órbita baja y órbita geoestacionaria, en concreto, con 63 satélites LEO y 4 GEO. Está orientado a la transmisión de datos de gran ancho de banda hacia y desde terminales fijos situados en tierra. Esta transmisión se efectuará en la banda Ka. La configuración híbrida del sistema (satélites GEO y LEO) permitirá, la combinación de servicios interactivos con servicios de transmisión, todos ellos compatibles con los servicios de red existentes actualmente. Existen enlaces

intersatélite que permiten el transporte de los datos entre los satélites sin necesidad de pasar por las estaciones terrenas.

## 5.9 LA TELEFONIA SATELITAL EN LA ACTUALIDAD

Los servicios que ofrecen Teledesic y Celestri, son similares, es decir con una transmisión de datos de gran ancho de banda, con tiempos de latencia bajos para aplicaciones interactivas. Estos servicios están orientados a todo tipo de clientes, desde operadores de telecomunicaciones hasta grupos residenciales, pasando por las empresas, que suponen una gran parte de todo este negocio. Celestri tiene la ventaja de utilizar pocos satélites de órbita baja a comparación de Teledesic, que está desarrollado al 100% en satélites LEO.

Debido a que las constelaciones se están desarrollando con una gran demanda de banda ancha y dado que esto implica que existe también una cantidad considerable en la demanda del espectro de frecuencia, los nuevos sistemas tendrán que utilizar con máxima eficacia estos recursos finitos. La limitación del espectro disponible entonces se convierte en un conductor técnico importante para el desarrollo de nuevos sistemas basados en satélites. Como una amplia gama de servicios utilizan ya estas bandas, los expertos que están desarrollando los nuevos sistemas deberán asegurar que todos los servicios pueden coexistir sin causar interferencia perjudicial entre sí.

Las compañías han tenido que diseñar sus redes alrededor de sistemas existentes en el espectro de las comunicaciones. Sus servicios son diseñados para ser complementarios y compatibles. El construir una espina dorsal de Internet así como para multimedia, y proporcionar una cobertura global.

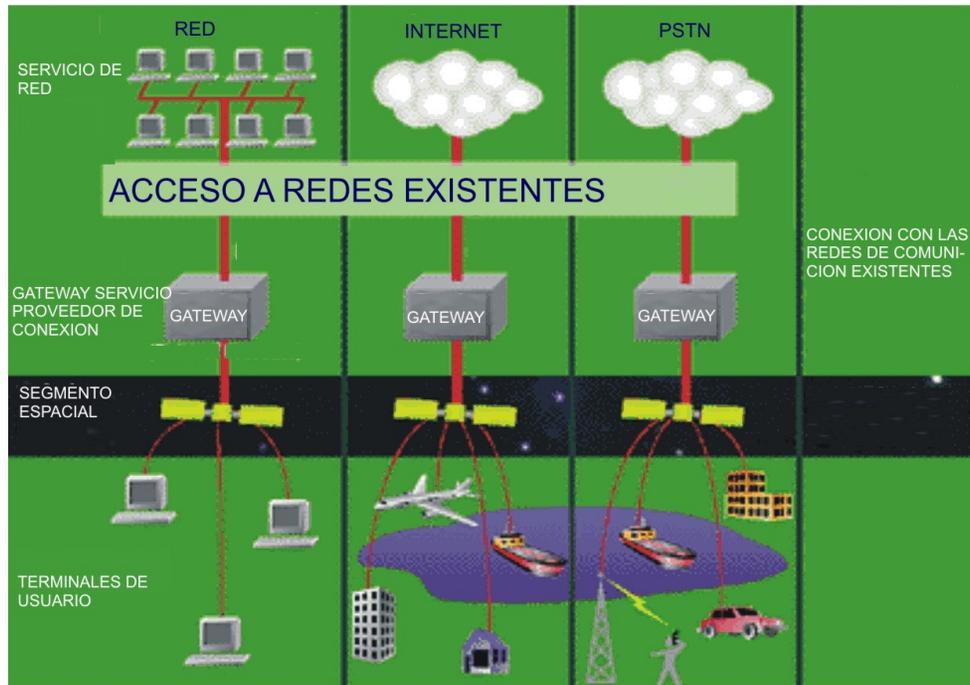
La construcción de las redes satelitales mundiales ha tomado muchos años y

representan una inversión de miles de millones de dólares de los operadores de telecomunicaciones mundiales. Es vital que la tecnología móvil de la nueva generación proteja la enorme inversión de tiempo y dinero que ya ha sido hecha, asegurando que los aparatos telefónicos y los equipos de red más modernos puedan ser compatibles con las redes actuales.

Las empresas operadoras interesados no desean tener que descartar toda su infraestructura existente, y en cambio prefieren un nuevo sistema que pueda coexistir e inter funcionar con el actual, como una adición al mismo.

Esto significa que los usuarios tendrán la opción de utilizar las redes como Iridium, y al mismo tiempo, podrán aprovechar las ventajas de una gama mayor de opciones disponibles por las propuestas de las nuevas redes.

También significa que las empresas de telecomunicaciones podrán elegir mejorar su infraestructura de red gradualmente mientras amortizan su inversión en las redes de la segunda generación, que continuarán siendo lucrativas en los años futuros. Por consiguiente, los operadores no se verán obligados a invertir en un enorme programa de sustitución de equipos ni en el reciclaje intensivo del personal.



**Fig. 5.2 Flujo de comunicación de los sistemas satelitales Teledesid y Celestric.**

Las comunicaciones satelitales que proporciona el sistema Iridium cumplen con el cometido de brindar comunicaciones en cualquier lugar del mundo y en cualquier momento.

La flexibilidad proporcionada al sistema Iridium debido a la interacción entre la red satelital y las redes terrestres de telefonía lo marcan como un sistema robusto en soluciones para la transmisión de comunicaciones, sin distorsiones ni retrasos.

Cabe destacar el hecho de que el sistema Iridium rompe con las barreras internacionales de comunicación proporcionando un número único al usuario, que le permite cambiar de ubicación geográfica sin necesidad de buscar nuevos servicios con distintas empresas de comunicaciones. Así como el uso de aparatos ligeros y resistentes telefónicos acordes a las posibles condiciones en las que pueden ser usados.

El hecho de que el Departamento de Defensa de los Estados Unidos utilice al realizar sus comunicaciones al sistema Iridium, es símbolo inequívoco de que Iridium es un sistema que proporciona comunicaciones confiables y seguras.

El servicio que proporciona el sistema Iridium se observa en áreas donde los acontecimientos naturales como: temblores, incendios forestales e inundaciones, destrozan áreas habitadas, volviéndose necesario mantener comunicación con las personas afectadas en las zonas dañadas.

Cuando una región es afectada por un desastre natural, las instalaciones ahí ubicadas se ven dañadas y en casos severos se vuelven inoperantes, para estos casos la terminal de usuario de sistema Iridium es de gran ayuda dado que la constelación satelital que da cobertura, transmite sus señales entre los satélites empleando sus (ISL), a cualquier parte adonde sea necesario mantener comunicación, resolviendo con esto la comunicación dañada en el desastre; y en dado caso de no estarlo, posiblemente la energía este suspendida con lo que no cuente con energía eléctrica para funcionar, la comunicación tampoco se vería afectada por el

mal tiempo que pudiera presentarse en el momento en que fuera utilizado el sistema.

Un ejemplo que se presento recientemente fue cuando el huracán Katrina afecto la región de Nuevo Orleans, la comunicación que implemento el gobierno de los Estados Unidos de América se baso en comunicaciones a través del sistema Iridium, por medio de sus teléfonos, para la comunicación entre las autoridades a nivel federal, estatal y local, así como para las comunicaciones de los soldados enviados, para lograr dar una perspectiva de la magnitud de los daños así como para brindar una comunicación confiable.

# GLOSARIO

## A

**Administración.-** La administración de los recursos de almacenamiento temporal, que permite hacer un uso eficiente del ancho de banda disponible.

**Ancho de banda en tiempo real.-** Ancho de banda por el que se transmiten señales a la velocidad real a la que se generan.

## B

**Banda de protección.-** Separa un canal de otro para que no existan interferencias.

**Batería.-** El elemento de almacenamiento de energía que permite energizar al equipo que lleva abordo el satélite. Las baterías deben tener capacidad de recibir y dar energía a distintos niveles y en distintos horarios, en un gran número de ciclos de carga y descarga, alta eficiencia de recarga, sello hermético para evitar pérdida de electrolito y corrosión por cambios de presión y temperatura, bajo volumen.

## C

**Carga útil de comunicaciones.-** Los equipos de comunicaciones (receptor, amplificador y trasmisor), incluyendo antenas y repetidores constituyen, la carga útil del satélite.

**Código idéntico de sincronización.-** Los satélites emiten dos portadoras a la misma frecuencia. Las portadoras se modulan en fase (BPSK) con códigos pseudoaleatorios. El código consiste en una secuencia pseudoaleatoria de 1,023 MHz que se repite

cada 1023 bits.

**Código pseudoaleatorio.-** Estos códigos tienen su aspecto como el de una larga serie de impulsos aleatorios. Estos impulsos no son realmente aleatorios, sino que se trata de secuencias "pseudoaleatorias" cuidadosamente elegidas que se repiten cada milisegundo. Por lo que se conocen con el nombre de código "pseudoaleatorio" (PRN, Pseudo Random Noise).

**Columna vertebral (Backbone).-** Conexión de alta velocidad que une computadoras encargadas de hacer circular grandes volúmenes de información.

## D

**Duplexor.-** Tiene la función de combinar transmisores como también en sólo una antena. También podrá utilizarlo para combinar transmisores en una sólo antena de transmisión. El duplexor consiste en un filtro de pasa bajas" y otro filtro pasa bajas "Banda Alta". Los dos filtros de bandapasante son internamente unidos a un conector común de la antena.

## E

**Efecto multicamino.-** Se produce cuando la señal del satélite llega al receptor por más de un camino. Este efecto se suele producir cuando el receptor se encuentra cerca de superficies muy reflectivas como las estructuras metálicas. En estos casos el receptor recibe la señal directa del satélite y un lapso de tiempo después la señal reflejada. El receptor interpreta esto como un ruido en la señal.

**Error aceptable.-** Límite de interferencia en que puede trabajar el sistema.

**Espectro ensanchado (spread-spectrum).-** La potencia de la señal se dispersa entre una banda de frecuencia mayor que la que ocupaba originalmente.

Es una técnica de transmisión en la cual un código pseudoaleatorio, independiente de los datos de información, es empleado como forma de onda modulante para dispersar la potencia de la señal sobre un ancho de banda mucho mayor que el ancho de banda de información de la señal original.

## **F**

**FM (Frecuencia Modulada).**- La frecuencia de la señal portadora se cambia en pequeños, incrementos y decrementos.

## **G**

**Gatekeeper.**- Proporciona la inteligencia de la red, incluyendo servicios de resolución de direcciones, autorización, autenticación, registro de los detalles de las llamadas para tarifar y comunicar con el sistema de gestión de la red. Monitoriza la red para permitir su gestión en tiempo real, hace un balance sobre la carga y controla el ancho de banda utilizado.

## **I**

**ITU (International Telecommunications Union).**- La Unión Internacional de Telecomunicaciones, con sede en Ginebra, Suiza es una organización internacional dentro de Naciones Unidas donde gobiernos y el sector privado coordinan las redes globales de telecomunicaciones y servicios.

**Intermodulación.**- Es la interferencia provocada por una modulación distinta a la propuesta.

## K

**Kevlar.-** Kevlar fue desarrollado en los años 60, es 20 veces más fuerte que el acero.

## M

**Matriz Butler.-** Arreglo de conexiones de alimentación que ayudan al manejo de un panel con antenas del mismo tipo.

**Modulo Transmisión / Recepción.-** transmisión de datos digitales, permite comunicación radio duplex-medio (half-duplex). La entrada de datos y la salida digital. El módulo transforma la entrada de datos, a onda de radio, y convirtiendo cualquier señal de radio recibida a su correspondiente valor binario.

**Mini-M de INMARSAT.-** Teléfono portátil, debido su tamaño pequeño y peso bajo es fácil de utilizar, por medio de la red basada en los satélites de INMARSAT, el teléfono satelital Mini-M mantiene comunicación global de voz, fax, y datos.

**Mylar.-** Mylar es un nombre comercial de Películas DuPont Teijin de Hopewell, VA, la película de poliéster es utilizada para aislamiento eléctrico.

## P

**PABX.-** Una central telefónica privada, puede proporcionar conexiones a la red pública telefónica y a otras redes de comunicaciones.

**Paneles solares.-** Son los componentes que permiten la captura de energía solar y la transforman en energía eléctrica. El voltaje del panel solar disminuye cuando aumenta la temperatura y la corriente aumenta cuando se incrementa la intensidad de radiación.

**PCM** (pulse code modulation).- Se muestrea la señal analógica y se convierte en un número binario en serie de longitud fija, para su transmisión. El número binario varía de longitud fija para su transmisión. El número binario varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.

Se muestrea la señal original con el doble de frecuencia con la que esta, los valores obtenidos son normalizados a un número de bits dado (por ejemplo, con 8 bits habría que distinguir entre 256 posibles valores de amplitud de la señal original a cuantificar).

**Polarización Electromagnética.**- Los sistemas de comunicación utilizan la propagación electromagnética para conducir información de un punto a otro. La radiación electromagnética a través del espacio tiene su potencia distribuida entre un campo magnético y un campo eléctrico, las direcciones de estos campos y la dirección de la propagación forman ángulos rectos. La polarización de una onda electromagnética se toma en dirección del campo eléctrico, la orientación del vector del campo eléctrico con respecto a la superficie de la Tierra.

**Polarización Circular.**- Si el vector de polarización gira  $360^\circ$  a medida que la onda recorre una longitud de onda por el espacio y la intensidad de campo es igual en todos los ángulos de polarización.

**Porcentaje de rechazo del paquete.**- Porcentaje de error introducido por la comprensión digital.

**PSK** (Modulación por conmutación de fase).- Se puede modelar como la conmutación de dos señales sinusoidales de características similares pero desfasadas  $180^\circ$ , definidas mediante las siguientes expresiones:

- $f_1(t) = A \sin(\omega t)$  (equivalente al 1 binario)
- $f_2(t) = -A \sin(\omega t)$  (equivalente al 0 binario)

## Q

**QAM** (Cuadratura de amplitud modulada).- Se trata de una combinación de PSK y AM. Modifica tanto la fase de señal como la amplitud permitiendo codificar el doble de información en una onda que con desplazamiento de fase (' PSK'). Es una técnica relativamente compleja dividida en cuatro fases que utiliza dos señales de la misma frecuencia pero desfasadas en noventa grados entre sí. Por cada señal se pueden aplicar cuatro niveles distintos de amplitud: A1-A2-A3 y A4. Combinando dos señales desfasadas noventa grados entre sí se pueden generar, por tanto, dieciséis condiciones distintas representando cuatro bits de información por cada una de ellas. Este tipo de modulación codifica más información por onda alcanzando un rendimiento mayor que permite comunicaciones más rápidas de datos.

**QPSK** (Quaternary phase shift keying).- Codificación con la que es posible cuatro fases de salidas para una sola frecuencia de portadora. Los datos binarios de entrada se combinan en grupos de dos bits, llamados dibits. Cada dibit de código genera una de las cuatro fases posibles de salida.

## R

**Retraso del extremo-a-extremo.**- Toma en cuenta las características no ideales y menos predecibles de la propagación de las ondas de radio, causadas por las condiciones atmosféricas anormales que alteran las pérdidas en la trayectoria en espacio libre, son perjudiciales para la eficiencia general del sistema

## S

**Subsistema Heterogéneo.**- Combinación de diferentes procedimientos destinados al manejo de un sistema.

# T

**Telecontrol.-** Se mandan desde una estación terrestre, instrucciones y comandos para que el satélite, realice las tareas que se ordenan.

**Telefonía IP.-** La telefonía IP convierte la computadora en un teléfono. Es un servicio que permite realizar llamadas desde redes que utilizan el protocolo de comunicación IP (Internet Protocol), es decir, el sistema que permite comunicar computadoras de todo el mundo a través de las líneas telefónicas. Esta tecnología digitaliza la voz y la comprime en paquetes de datos que se reconvierten de nuevo en voz en el punto de destino.

Formas para acceder al servicio:

Comunicación entre usuarios de PC conectados a Internet. Mediante el uso de computadoras, se puede entablar una conversación en tiempo real con otra computadora similar ubicada en cualquier parte del planeta.

La segunda forma es la que posibilita la comunicación entre dos usuarios, aunque uno de ellos no esté conectado a Internet. Una persona conectada a través de su PC con Internet puede llamar a un teléfono fijo.

La tercera forma, es donde dos teléfonos fijos pueden comunicarse entre sí por medio del protocolo IP; uno de ellos llama a una central conectada a Internet y ésta lo comunica con el otro teléfono fijo.

**Telemetría.-** Información del satélite a través de la cual se conoce su salud y su configuración.

**Tiempo de protección.-** Es el máximo retardo que puede traer la señal proveniente de otros transmisores para que no hayan interferencias.

**Tiempo de ranura de bits.**- Es el periodo de tiempo en el que se realiza la transmisión de bits por medio de una canal logico.

## **W**

**WARC (World Administrative Radio Conference).**- Conferencia Administrativa Mundial de Radio creada por la ITU, encargada de lograr acuerdos internacionales relativos a la asignación de espectro de frecuencia.

# BIBLIOGRAFÍA

- 1) SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELÉCTRICAS  
CUARTA EDICIÓN.  
AUTOR: WAYNE TOMASI.  
EDITORIAL: PEARSON EDUCACION.
  
- 2) COMUNICACIONES POR SATELITE  
AUTOR: RODOLFO NERI VELA.  
EDITORIAL: THOMSON.
  
- 3) SATELITES DE COMUNICACIONES  
AUTOR: RODOLFO NERI VELA.  
EDITORIAL: McGRAW-HILL.
  
- 4) INGENIERIA DE SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES: DISEÑO DE  
REDES DIGITALES Y ANALOGICAS.  
AUTOR: ROGER L. FREEMAN.  
EDITORIAL: LIMUSA / NORIEGA EDITORES.
  
- 5) INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN.  
TERCERA EDICION.  
AUTOR: FERREL G. STREMLER.  
EDITORIAL: ADDISON WESLEY LONGMAN DE MEXICO S.A. DE C.V.
  
- 6) COMUNICACIONES I: SEÑALES, MODULACION Y TRANSMISION  
AUTOR: ENRRIQUE HERRERA PEREZ..  
EDITORIAL: LIMUSA / NORIEGA EDITORES.

- 7) ANTENNAS.  
SECOND EDITION.  
AUTOR: JOHN D. KRAUS.  
EDITORIAL: MCGRAW-HILL.
- 8) TELECOMUNICACIONES MOVILES.  
COORDINADOR: EUGENIO REY.  
EDITORIAL: ALFAOMEGA MARCOMBO / BOIXAREU EDITORES.
- 9) SISTEMAS INALAMBRICOS DE COMUNICACION PERSONAL.  
AUTOR: MUÑOZ RODRIGUEZ DAVID, AGUILAR COUTI/O ARTEMIO,  
GAYTAN HERNANDEZ JUAN JOSE, GUTIERREZ PEREZ GALDI/O, LARA  
RODRIGUEZ DOMINGO, ORTIGOZA GUERR.  
EDITORIAL: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR ARGENTINO S.A.
- 10) COMMUNICATION SYSTEMS (HARDCOVER)  
AUTOR: A. BRUCE CARLSON, PAUL B. CRILLY, JANET RUTLEDGE.  
EDITORIAL: MCGRAW-HILL SCIENCE/ENGINEERING/MATH; 4 EDITION
- 11) OPTIONS FOR RURAL TELECOMMUNICATIONS DEVELOPMENT  
AUTOR: BY ROGATY KAYANY, ANDREZ DIMOND.  
EDITORIAL: WORK IN PROGRESS FOR PUBLIC DISCUSSION
- 11) FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS MOVILES  
AUTOR: ALBERTO SENDIN ESCALONA.  
EDITORIAL: MCGRAW-HILL SERIE DE TELECOMUNICACIONES.

[http://iridium.com/corp/iri\\_corp-news.asp?newsid=157](http://iridium.com/corp/iri_corp-news.asp?newsid=157)

[http://iridium.com/corp/iri\\_corp-news.asp?newsid=159](http://iridium.com/corp/iri_corp-news.asp?newsid=159)

<http://www.afcea.org/signal/articles/anmviewer.asp?a=630&z=4>

<http://jcoppens.com/ant/qfh/index.php>

<http://www.iridium.com>

<http://ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constelations/iridium.html>

[http://iridium.com/corp/iri\\_corp-news.asp?newsid=160](http://iridium.com/corp/iri_corp-news.asp?newsid=160)

<http://viento.us.es/~murillo/docente/radio/documentos/Tema10v3.pdf>  
pag.41

<http://www.massmediainternational.com/glosa.htm>

[http://www.electronica2000.com/dic\\_elec/c.htm](http://www.electronica2000.com/dic_elec/c.htm)

[http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc\\_amplificadores/Bajoruido/Bajoruido.html](http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_amplificadores/Bajoruido/Bajoruido.html)

[http://www.geocities.com/icv\\_1999/UnidadesMInglesas.htm](http://www.geocities.com/icv_1999/UnidadesMInglesas.htm)

<http://www.redetel.gov.ar/Ambito%20Academico/Papers/satelitepaperscomunicviasat.htm>

[http://www.satellitephonestore.com/iridium/Iridium\\_Satellite\\_Phone\\_Rental\\_Agreement.pdf](http://www.satellitephonestore.com/iridium/Iridium_Satellite_Phone_Rental_Agreement.pdf)

[http://www2.uah.es/satelites/novedad/sat\\_b\\_a.htm](http://www2.uah.es/satelites/novedad/sat_b_a.htm)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Ancho\\_de\\_banda](http://es.wikipedia.org/wiki/Ancho_de_banda)

<http://prof.usb.ve/tperez/docencia/3413/contenido/ss/SS.htm>

[http://www.dte.us.es/ing\\_inf/sac/material/Satelite1.pdf](http://www.dte.us.es/ing_inf/sac/material/Satelite1.pdf)

<http://www.rt-a.com/37/e2.htm>

[http://www.tronix.com.py/gps/gps\\_ques.htm](http://www.tronix.com.py/gps/gps_ques.htm)

<http://www.gmpcs-us.com/spanish/products/iridium/iridium.htm>

<http://es.blueskynetwork.com/Portable/9505Details.html>

## OBJETIVO GENERAL

Mostrar a los interesados en comunicaciones satelitales de orbita Baja, los beneficios de uso del sistema Iridium y la comunicación que se puede ejercer por medio de este sistema.

## OBJETIVOS PARTICULARES

- Definir la importancia de los satélites de orbita baja para comunicaciones, mostrando las diferencias con respecto a los satélites colocados en orbita Geoestacionaria y de Orbita Media.
- Describir el funcionamiento del sistema Iridium para dar cobertura global, a las personas que necesitan del servicio de telefonía satelital