

300617  
35  
2ej



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA

Incorporada a la U.N.A.M.

NOMBRE DE LA TESIS:

"Análisis, aplicación y selección de motores  
diesel de combustión interna"

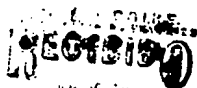
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

T E S I S

Que para obtener el Título de  
Ingeniero Mecánico Electricista  
p r e s e n t a

Francisco Javier Rueda Limón

Director de Tesis: Ing Jorge Salcedo González



México, D. F. 1991





## **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 está 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.

## TEMARIO

- INTRODUCCION
- GENERALIDADES

### CAPITULO I. ASPECTOS TEORICOS

- I.1. TERMODINAMICA
- I.2. CICLO OTTO
- I.3. CICLO DIESEL
- I.4. DIFERENCIAS

### CAPITULO II. MOTORES DETROIT - DIESEL

- II.1. BASES DE FUNCIONAMIENTO
- II.2. DESCRIPCION
- II.3. MANTENIMIENTO

### CAPITULO III. MOTORES E.M.D. (Electro-Motive Division)

- III.1. BASES DE FUNCIONAMIENTO
- III.2. DESCRIPCION
- III.3. MANTENIMIENTO

## CAPITULO IV. CASO PRACTICO

IV.1. PARAMETROS NECESARIOS PARA EL CALCULO Y LA SELECCION DE LOS ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS QUE COMPONEN AL EQUIPO ELECTROGENO

IV.2. CONDICIONES DE OPERACION

IV.3. CALCULO, DISEÑO Y SELECCION DE LOS ELEMENTOS QUE SE REQUIEREN PARA LA INSTALACION DEL EQUIPO ELECTROGENO

## CAPITULO V. ANALISIS ECONOMICO

V.1. ANALISIS ECONOMICO Y TECNICO DEL EQUIPO

- CONCLUSIONES

- BIBLIOGRAFIA

## I N T R O D U C I O N

Han transcurrido aproximadamente 80 años desde que el motor de combustión interna hizo su aparición. Durante estos años, este ha reemplazado con superioridad indiscutible, al motor de vapor; y en la actualidad, solamente el motor eléctrico es superior a él en todos los aspectos.

Actualmente la construcción y fabricación de motores de combustión interna, para la industria en general (automotriz, marina, aeronáutica, ferrocarrilera y eléctrica), constituye una de las mas grandes, poderosas e importantes del mundo.

El hablar de la aplicación de motores de combustión interna, hoy en día es un tema muy usual; sin embargo, la importancia que poseen, energéticamente hablando, es muy vasta.

Por este motivo, enfocaremos la atención de esta tesis en los llamados " Equipos o Grupos Electrógenos " , que son equipos, utilizados actualmente, para generación de energía eléctrica, mediante el acoplamiento de un motor - generador; en donde la parte motriz consiste en un motor de combustión interna.

Esta investigación contiene los datos y características de diseño de dos motores, estos dos motores son:

- MOTORES        DETROIT - DIESEL
- MOTORES        ELECTRO-MOTIVE DIVISION

de los cuales , uno de ellos se seleccionará para la aplicación en un equipo electrógeno. No sin antes mencionar el respectivo programa de mantenimiento y reparación de los mismos.

Toda la información mostrada a continuación está basada en leyes y conceptos fundamentales para aplicarse en el cálculo y la selección de cada elemento que compone al equipo electrógeno.

Como primer objetivo se presentan las bases, leyes y conceptos teóricos en los que se basa el funcionamiento de los motores de combustión interna.

Posteriormente se analizará el funcionamiento de 2 diferentes motores diesel así como el análisis de cada una de sus partes y sistemas.

Como parte fundamental de esta tesis. se desarrollará un caso práctico, el cual, contiene el cálculo, diseño, y selección de cada uno de los componentes que se necesitan para la instalación de un equipo electrógeno que se llevará a cabo sobre una plataforma marina.

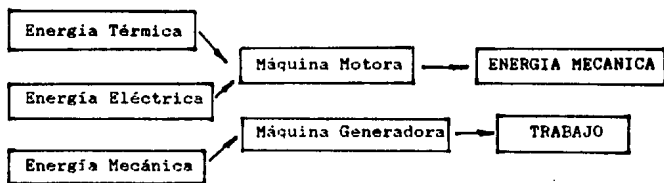
Buscando finalmente, llegar a la conclusión de que tan importantes y necesarios pueden ser este tipo de equipos para la industria de nuestro país, en base a un análisis técnico y económico del mismo.

## GENERALIDADES

Por lo general, cuando se tiene la necesidad de cierto tipo de trabajo, se requiere del uso de una máquina, cualquiera que sea, la cual puede integrar un conjunto motriz formado por los siguiente elementos:



Por otra parte, la causa y el resultado de estos elementos para la generación de trabajo queda establecido de la siguiente manera:



Esto permite definir cada uno de los elementos que intervienen en un proceso de generación de trabajo.

Para este caso el accionamiento será por medio de un motor de combustión interna (máquina motora), el cual, por medio de la transformación de energía eléctrica y térmica, tendrá como fin, el producir energía mecánica; la cual, tendrá el objeto de producir cierto tipo de trabajo, que puede ser:

- Mecánico
- Eléctrico
- Hidráulico
- Neumático

El objetivo final de este trabajo de tesis, se enfoca al estudio y aplicación de estos motores en la Generación de Energía Eléctrica. Dicha generación se hará mediante el acoplamiento de un MOTOR-GENERADOR; siendo el objetivo principal, el análisis de estas dos maquinas, la descripción de sus partes y cada uno de los sistemas que lo componen.

Este trabajo se realiza en base a las necesidades que se tiene de estos equipos en situaciones y lugares donde no existe el suministro de energía eléctrica, como es el caso de una plataforma marina, en donde este suministro resultaría costoso y de muy alto riesgo.



## CAPITULO I

### ASPECTOS TEORICOS

#### I.1. TERMODINAMICA (Conceptos Básicos)

Para un mejor entendimiento del funcionamiento del motor de combustión interna, es un requisito indispensable el conocimiento de ciertos conceptos básicos que están íntimamente ligados con la termodinámica.

Por consiguiente, se definen a continuación, algunos términos que son de suma importancia, empleados en el funcionamiento de motores de combustión interna.

- **ENERGIA:** Habilidad latente o aparente para producir un cambio en las condiciones existentes.

Se hace evidente que existe otra forma energía por los cambios en las características o en la composición de la masa bajo observación, por cuya razón a esta forma de energía se le llama **ENERGIA INTERNA:** la cual, poseen todos los cuerpos y sustancias en forma química y molecular (atómica).

- CALOR: Energía transferida a través de los límites de un sistema debido a la diferencia de temperaturas entre él y sus alrededores.
- POTENCIA: Consumo de energía con respecto al tiempo
- TRABAJO: Energía transferida a través de los límites de un sistema debido a la considerable diferencia de una propiedad distinta de la temperatura que existe entre el sistema y sus alrededores.

La transferencia de energía en forma de trabajo se transforma en una variable que es la presión; la presión multiplicada por el área expuesta a ella da una fuerza y el producto de la fuerza por la distancia de aplicación es el trabajo.

$$W = P * A * L$$

La unidad de trabajo es : Joule (Sistema Internacional)

La unidad térmica es: Caloría

- ECUACION GENERAL DE LA ENERGIA.

Los trabajos de J.P. Joule (fisico inglés), condujeron a la gradual aceptación de la llamada " la Ley de la Termodinámica ", la cual dice que " La energía no puede ser creada ni destruida y que solo se puede transformar de una forma a otra y cuya expresión es:

$$Q - W = E \text{ fluyendo} + E \text{ almacenada.}$$

$$Q - W = \Delta E$$

donde: Q = calor transferido o absorbido

W = trabajo cedido o absorbido

E almacenada =  $E_1 - E_2$  = Diferencia entre las cantidades final e inicial de la energía almacenada dentro del sistema.

E fluyendo = E salida - E entrada

Empleando estos términos para nuestro caso de motores, tenemos que:

$$E = U \text{ (Energía Interna)}$$

$$U = m * u$$

donde: U = Energía Interna

m = Masa

u = Energía Interna Especifica

$$\text{si } W = P * A * L$$

$$\text{y } A * L = \text{Vol} \quad ; \quad \text{por lo tanto } W = P * \text{Vol}$$

y sabiendo que:  $Vol = m * vol. esp.$

tenemos:

$$W = P * vol. esp.$$

es conveniente tomar en cuenta una nueva propiedad llamada ENTALPIA, definida como:

$$h = u + (P * vol. esp.)$$

Otra de las ecuaciones importantes es la ecuación de la continuidad, definida como:

$$m_1 = A_1 * V_1 / v_1 = m_2 = A_2 * V_2 / v_2$$

Es también importante mencionar la 2a ley de la Termodinámica propuesta por PLANK , la cual niega la posibilidad de convertir alguna vez completamente todo el calor suministrado a un ciclo termodinámico en trabajo, no importando que tan perfectamente sea diseñado o que tan diestramente sea fabricada la máquina.

De aquí, se puede definir otro parámetro importante en el análisis termodinámico de cualquier proceso: la ENTROPIA la cual se define como una característica de la energía térmica.

$$s = Q / T \quad \text{y sus unidades son: ( kcal/kg}^{\circ}\text{K )}$$

Existen también otros parámetros importantes en el funcionamiento del motor y cuyas expresiones son las siguientes:

$$\text{TRABAJO } W = \text{Par} = F * d$$

donde: F = La fuerza aplicada al motor

d = Brazo de palanca

por lo tanto:

$$\text{Pot} = \text{Par} * \text{Velocidad Angular}$$

$$\text{Pot} = (F * d) * (2 * \pi * N)$$

$$\text{y } \text{Pot} = 2 * r * f * N$$

donde : N = rpm

f = resistencia a la fricción

r = radio

la unidad de potencia es el KW o Hp

**PAR DE TORSION** : Es un momento de torsión o de giro y es la medida de la tendencia rotatoria de una fuerza. Es también una medida de la habilidad que tiene una máquina para realizar trabajo.

$$\begin{aligned} T (\text{Par de Torsión}) &= \text{H.P.} / 2 * \pi * N \\ &= F * d \end{aligned}$$

## POTENCIA Y RENDIMIENTO MECANICO.

La relación entre la potencia producida por el motor (bhp) y la potencia total desarrollada dentro de él. (ihp), se conoce como rendimiento mecánico (nm).

$$nm = bhp \ / \ ihp$$

## PRESION MEDIA EFECTIVA (bmep)

Es la presión teórica constante que se ejerce durante cada carrera de potencia del motor para producir una potencia igual a la del freno.

Los bhp (potencia al freno) de un motor se pueden calcular en función de la bmep empleando los siguientes términos:

$$bmep = bhp * x / (D * N * n)$$

$$bmep = N/m^2$$

A = Area de la cara del pistón en  $cm^2$

L = Longitud de la carrera en cm

N = Revoluciones por minuto rpm

x = Revoluciones necesarias por cada carrera de potencia producida por el cilindro.

2 para motores de 4 tiempos

1 para motores de 2 tiempos

n = Número de cilindros

D = Desplazamiento en  $cm^3$

por lo tanto:

para un motor de 2 tiempos  $x = 1$

$$bmep = (bhp) / D * N$$

y para un motor de 4 tiempos  $x = 2$

$$bmep = (bhp) * x / D * N$$

PRESION MEDIA EFECTIVA INDICADA (imep).

Se define como la presión teórica constante que supuestamente se ejerce durante cada carrera de potencia del motor.

$$ihp = imep * L * A * N * n / x$$

MEP (Presión media efectiva).

Se define como la relación entre el par torsional y la bmep

$$HP = T * N$$

y  $MEP = x * T / D$

para motores de :

$$2 \text{ Tiempos : } MEP = T / D$$

$$4 \text{ Tiempos : } MEP = T / D$$

### I.1.2. PRINCIPIOS BASICOS DE OPERACION

La determinación de los principios básicos de operación de los motores de combustión interna se hace a partir de los diferentes ciclos termodinámicos en los cuales, idealmente, se considera al aire como fluido motriz.

En general se dice que ocurre un ciclo termodinámico cuando un sistema experimenta una serie de procesos de transformación en secuencia tal que eventualmente regresan a dicho sistema a su estado inicial, teniéndose como característica invariable que el trabajo realizado por el ciclo siempre es menor al calor suministrado e igual a la diferencia de calor suministrado menos el calor excluido en el total del ciclo mencionado

Esto explica lo siguiente: Obviamente, tal tipo de ciclos son ideales porque consideran al motor como una máquina reversible, lo cual significa que será necesaria una mayor cantidad de trabajo o de energía disponible que la que originalmente se suministró a los alrededores para conseguir restablecer las condiciones iniciales.

Básicamente el funcionamiento de los motores de combustión interna, se basa en tres diferentes tipos de encendido los cuales son:



- Motores Encendidos por Chispa: Que son motores en los cuales se requiere de una chispa en las cámaras de combustión para encender la mezcla de aire - combustible.

- Motores Encendidos por Compresión: En estos motores el encendido de la mezcla aire - combustible se lleva a cabo mediante el aumento de la presión y la temperatura del aire dentro de la cámara de combustión incendiándose por si solo el combustible.

- Motor Wankel: Básicamente es una máquina rotatoria cuya operación puede ser mediante el encendido por chispa o bien mediante el encendido por compresión.

A continuación se describe el principio de funcionamiento de este tipo de motores.

## I.2 C I C L O O T T O

### GENERALIDADES

Teniendo como base los conceptos termodinámicos antes mencionados, enfocaremos estos a la descripción, funcionamiento y características del ciclo Otto.

En la práctica, el motor de combustión interna, no funciona como un ciclo termodinámico ideal ya que como se sabe en ingeniería, existen un sin número de factores por medio de los cuales el motor sufre pérdidas de potencia. Así pues, el concepto de ciclo sigue siendo un expediente muy útil para mostrar los efectos en las condiciones de operación, para mostrar el rendimiento máximo y para comparar un tipo de motor con respecto a otro.

### DESCRIPCION

Los motores que operan bajo el ciclo Otto, son motores de 2 y 4 tiempos encendidos por chispa y es el principio que utilizan la mayoría de los motores a excepción de los motores de encendido por compresión de los cuales se hablará más adelante.

En base a la figura 1, se puede observar como el émbolo se desliza dentro de un cilindro, hacia arriba y hacia abajo, transmitiendo fuerza a la flecha motriz; por lo general, mediante un simple mecanismo de biela y manivela.

## PRINCIPIO DE OPERACION DEL CICLO OTTO

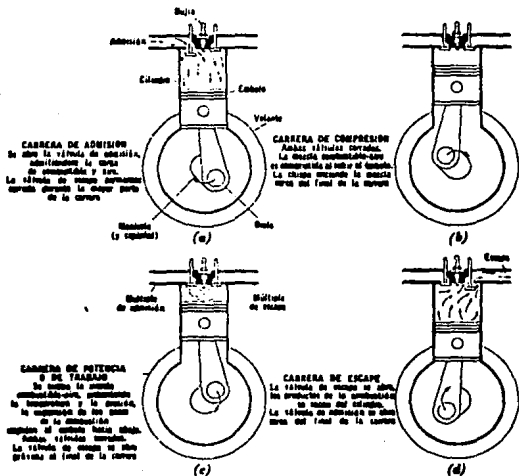


FIG. 1

En 1862, BEAU DE ROCHAS, propuso la secuencia de funcionamiento para el motor del émbolo reciprocante, que aún hoy en día, es el que usan la mayoría de los motores encendidos por chispa, y que es:

1. Una carrera de admisión para introducir una mezcla aire-combustible hacia el interior del cilindro del motor.
2. Una carrera de compresión, para elevar la temperatura de la mezcla.
3. Al final de la carrera de compresión, ocurre la chispa y el encendido consecuente de la mezcla homogénea, liberando energía que aumenta la temperatura y la presión de los gases; en seguida desciende el émbolo en la carrera de expansión o de potencia.
4. Una carrera de escape para barrer el cilindro, dejándolo libre de los gases quemados. Ver figura 1.

En 1876, OTTO, Ing. alemán, aprovechando el principio de Beau de Rochas, construyó un motor con ciclo de trabajo de 4 tiempos que resulto muy eficiente, habiendose conocido el ciclo de sucesos como ciclo Otto.

Una de las características esenciales de los motores de 4 tiempos es que completan un ciclo de trabajo en 2 vueltas en el cigüeñal y son encendidos por chispa.

La eficiencia del ciclo Otto esta en función de la relación de compresión. En un motor real, aumenta la

tendencia a la detonación a medida que aumenta la relación de compresión.

Para dar una idea más completa de lo que es un ciclo Otto real y un ciclo Otto ideal, se pueden tomar como referencia los diagramas P - V y T - s. Ver figura 2.

Tomando como base el diagrama P - V se puede trazar un diagrama hipotético para el ciclo Otto, en donde los procesos de compresión y admisión vienen a ser idealmente procesos isentrópicos.

La combustión y el escape se realizan casi a volúmen constante dentro de el motor. El diagrama T-s del ciclo ideal (fig. 2), indica lo siguiente:

- a-b compresión isentrópica
- b-c aportacion de calor a volúmen constante
- c-d expansión isentrópica (admisión)
- d-a rechazo de calor a volúmen constante

Para este ciclo, por unidad de masa se tiene:

$$Q_a = C_v * (T_c - T_b) \quad \text{positivo}$$

$$Q_r = C_v * (T_a - T_d) \quad \text{negativo}$$

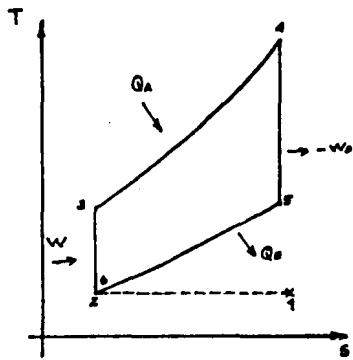
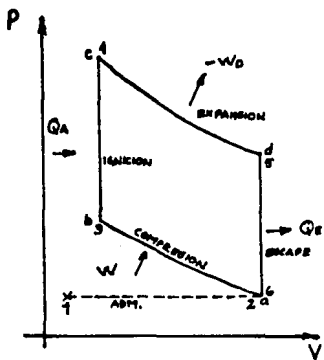
La eficiencia térmica será:

$$\eta_t = 1 - 1 / (rv)^{k-1}$$

donde : rv = relación de compresión

que en otras palabras dará la eficiencia en cuanto a trabajo del motor.

CICLO IDEAL



CICLO REAL

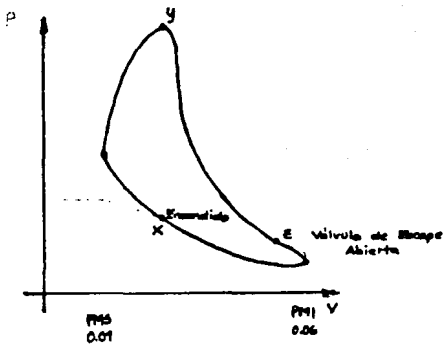


FIG. 2

Las ecuaciones y cálculos principales en el análisis de estos motores son los siguientes :

$$\text{Adición de Calor: } Q_a = m_m * C_{vm} * (T_4 - T_3)$$

$$\text{Rechazo de Calor: } Q_r = m_g * C_{vg} * (T_5 - T_6)$$

$$\text{Trabajo disponible: } W_d = Q_a - Q_r$$

$$\text{Rendimiento térmico: } \eta_t = 1 - 1 / (r_v)^{k-1}$$

En base a los conceptos y ecuaciones anteriores, se desarrolla el siguiente problema:

#### EJEMPLO.

Un motor que funciona bajo el principio del ciclo Otto, emplea aire y tiene una relación de compresión  $R_c=8$ . Al iniciarse el proceso de compresión, la temperatura es de 300 grados Kelvin y la presión es de 1.033 kg/cm<sup>2</sup> abs. Se suministra calor a razón de 717 kcal/kg de aire. Determinar:

1. Rendimiento térmico
2. El trabajo neto
3. Las presiones y temperaturas en los puntos claves del ciclo. Peso molecular del aire  $PM = 29$
4. La imep

$$1. \quad \eta_t = 1 - 1 / (r_v)^{k-1} \quad ; \quad k \text{ aire} = 1.40$$

$$\eta_t = 1 - 1 / (8)^{0.4}$$

$$\eta_t = 0.565 \quad ; \quad \eta_t = 56.5 \%$$

$$2. \quad W = \eta_t * Q_a$$

$$W = 0.565 * 717 \text{ kcal/kg}$$

$$W = 405 \text{ kcal/kg}$$

3.

Etapa a

$$P_a = 1.033 \text{ kg/cm}^2 \quad (10330 \text{ kg/m}^2), \quad T_a = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$V_a = R * T_c / P_a \quad ; \quad R = 846 \text{ m}^2/\text{seg } ^\circ\text{K}$$

$$V_a = 846 * 300 / (29 * 10330)$$

$$V_a = 0.85 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Etapa b

$$P_a * V_a^k = P_b * V_b^k \quad ; \quad P_b = P_a (r_v)^k$$

$$P_b = 1.033 * (8)^{1.4}$$

$$P_b = 18.9 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{abs}$$

$$T_b / T_a = (V_a/V_b)^{k-1}$$

$$T_b = 300 * (8)^{0.4} \quad ; \quad T_b = 705 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$r_v = V_a / V_b \quad ; \quad V_b = V_a / r_v$$

$$V_b = 0.85 \text{ m}^3/\text{kg} / 8$$

$$V_b = 0.105 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Etapa c

$$C_v = 0.171 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{R}$$

$$Q / m = C_v * \Delta T$$

$$T = 717 / 0.171 \quad ; \quad T = 4192 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_c - T_b = 4192 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_c = 4192 \text{ }^\circ\text{K} + 705 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_c = 4897 \text{ }^\circ\text{K}$$



Los volúmenes en b y c son iguales (ver diagrama), por lo tanto:

$$P_c = P_b * T_c / T_b$$

$$P_c = 18.9 * 4897 / 705$$

$$P_c = 133 \text{ kg/cm}^2$$

Etapa d

$$T_d / T_c = (V_c/V_d)^{k-1}$$

$$T_d = T_c * (V_c/V_d)^{k-1}$$

$$T_d = 4897 * (1/8)^{1.4-1}$$

$$T_d = 2109 \text{ }^\circ\text{K}$$

4. La presión media efectiva indicada (imep) es:

$$\text{imep} = W / V_d$$

$$\text{imep} = (403 \text{ kcal/kg}) (427 \text{ kg m/kcal}) / (.84 * .105 \text{ m}^3/\text{kg}) (1000)$$

$$\text{imep} = 23 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{abs}$$

### 1.3 C I C L O D I E S E L

Básicamente este ciclo se refiere a los motores encendidos por compresión y estos pueden ser de 2 y 4 tiempos.

En 1892, RUDOLPH DIESEL, diseñó un nuevo tipo de motor capaz de quemar polvo de carbón como combustible. El ciclo diesel era similar al ciclo Otto excepto porque debería tener una alta relación de compresión, admitiendo solamente aire en lugar de la mezcla de aire - combustible, en la carrera de admisión. Se sabía que la rápida compresión de aire hasta presiones elevadas podía elevar su temperatura hasta un valor tal que si se proporcionaba dentro de la cámara de combustión un combustible, este se incendiaría espontáneamente sin depender de una chispa para iniciar la combustión o de una mezcla homogénea para propagar la llama.

Diesel propuso al principio, regular la inyección de combustible para tener la combustión a temperatura constante, pero encontró que esto no era práctico. Posteriormente, trató de regular la inyección de combustible para conseguir una combustión a presión constante, siendo más acertada esta suposición. Después se dió cuenta de que el polvo de carbón no era el combustible idóneo y que los combustibles líquidos darían mejores resultados.

En la figura 3, se muestra como el motor diesel o de encendido por compresión, reemplaza la bujía por una válvula inyectora de combustible aumentando la relación de compresión hasta 15 a 1.

Diesel incorpora los siguientes ciclos:

1. Una carrera de admisión para introducir al cilindro solamente aire a presión y temperatura ambientales (esto en caso de que no sea turbocargado o supercargado). 1 - 2
2. Una carrera de compresión para llevar el aire hasta una temperatura superior a la del punto de encendido del combustible; compresión adiabática del aire. 2 - 3
3. Inyección del combustible dentro de la primera parte de la carrera de expansión con una rapidez tal que la presión se mantenga un valor constante, siguiendo la expansión hasta el volumen inicial del cilindro. Inyección de la mezcla a presión constante y expansión adiabática de los gases. 3 - 4 y 4 - 5
4. Carrera de escape para vaciar los gases quemados a volumen constante. 5 - 6. Ver figura 4.

En base a lo anterior se define lo siguiente:

PUNTO	4 TIEMPOS	2 TIEMPOS
1 - 2	1er T	
2 - 3	2o T	1er Tiempo
3 - 4	3er T	
4 - 5	3er T	
5 - 6	4o T	2o Tiempo

CICLO DIESEL

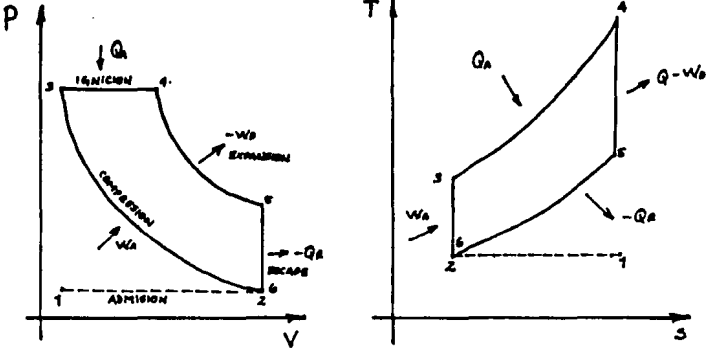


FIG. 3

Las relaciones para este ciclo son las siguientes:

- Adición de Calor :  $Q_a = m_m * C_{pm} * (T_3 - T_2)$
- Rechazo de Calor :  $Q_r = m_g * C_{vg} * (T_5 - T_6)$
- Trabajo Disponible :  $W_d = Q_a - Q_r$
- Rendimiento Térmico :  $\eta_t = 1 - 1/k * ((T_5 - T_6)/T_3 - T_2)$
- Relación de Compresión :  $R_c = (T_3/T_2)^{1/(k-1)}$
- Relación de Expansión :  $R_e = (V_4/V_5)^{k-1}$

A continuación se desarrolla 1 problema referente al empleo práctico del ciclo diesel, ya que este tipo de motores representan la parte fundamental de esta tesis

Ejemplo.

Se tiene en una planta industrial, un compresor rotatorio, para fines de emergencia, cuya potencia teórica es de 250 HP, con una eficiencia del 80% acoplado a un motor diesel. Se desea calcular el trabajo para el motor, los flujos másicos y los flujos volumétricos que el motor tiene son los siguientes:

Datos:

$$\rho_{\text{diesel}} = 0.883 \text{ gr/cm}^3 \quad ; \quad \eta_{\text{motor}} = 32 \%$$

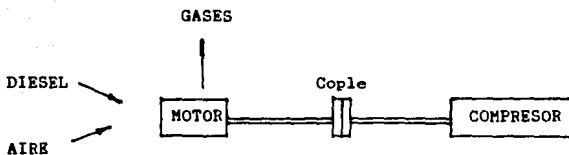
$$\rho_{\text{aire}} = 1.20 \text{ kg/m}^3 \quad ; \quad \eta_{\text{cople}} = 97 \%$$

$$\rho_{\text{gases}} = 1.92 \text{ kg/m}^3 \quad ; \quad \eta_{\text{comp.}} = 80 \%$$

$$\text{Potencia del compresor} = 250 \text{ HP}$$

$$r_{\text{a/c}} = 30 \text{ kg aire/kg diesel}$$

$$\text{C.U.C.} = 0.20 \text{ kg diesel/HP hr}$$



### 1. Trabajo del Motor

$$\text{BHP comp} = \text{THP} / \eta \text{ comp.}$$

$$\text{BHP comp} = 250 \text{ HP} / 0.80$$

$$\text{BHP comp} = 312.50 \text{ HP}$$

$$\text{BHP motor} = \text{BHP comp} / (\eta \text{ cople} * \eta \text{ motor})$$

$$\text{BHP motor} = 312.50 / (0.97 * 0.32)$$

$$\text{BHP motor} = 1006.77 \text{ HP}$$

$$- W \text{ motor} = \text{BHP motor} * 76.04 \text{ kg-m/seg/HP min}$$

$$- W \text{ motor} = 1006.77 \text{ HP} * 76.04 \text{ kg-m/seg/HP min}$$

$$- W \text{ motor} = 76554.7 \text{ kg-m/seg}$$

### 2. Flujo de Combustible

$$\dot{m} \text{ diesel} = \text{C.U.C.} * \text{BHP motor}$$

$$\dot{m} \text{ diesel} = .20 \text{ kg diesel/HP hr} * 1006.77 \text{ HP}$$

$$\dot{m} \text{ diesel} = 201.35 \text{ kg diesel/hr}$$

$$Q \text{ diesel} = \dot{m} \text{ diesel} / (\text{grav. esp.})$$

$$Q \text{ diesel} = 201.35 \text{ kg diesel/hr} * 1/1000 / (0.883 \text{ gr/cm}^3)$$

$$Q \text{ diesel} = 0.201 \text{ m}^3/\text{hr}$$

### 3. Flujo de aire

$$\dot{m}_{\text{aire}} = r_{a/c} * m_{\text{diesel}}$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 30 \text{ kg aire/kg diesel} * 201.35 \text{ kg diesel/hr}$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} = 6040.62 \text{ kg aire/hr}$$

$$Q_{\text{aire}} = \dot{m}_{\text{aire}} / \rho_{\text{aire}}$$

$$Q_{\text{aire}} = 6042.62 / 1.20 * 1/60$$

$$Q_{\text{aire}} = 83.29 \text{ m}^3/\text{min}$$

### 4. Flujo de Gases

$$\dot{m}_{\text{ent}} = \dot{m}_{\text{sal}}$$

$$\dot{m}_{\text{aire}} + \dot{m}_{\text{diesel}} = \dot{m}_{\text{gases}}$$

$$6042.62 + 201.35 = 6241.97 \text{ kg gases/hr}$$

$$Q_{\text{gases}} = \dot{m}_{\text{gases}} / \rho_{\text{gases}} ; Q_{\text{gases}} = 6241.62/1.92$$

$$Q_{\text{gases}} = 3251.02 \text{ m}^3/\text{min}$$

### I.3. D I F E R E N C I A S

A continuación se presenta una tabla de diferencias tanto mecánicas como termodinámicas de los motores que basan su funcionamiento en estos 2 ciclos :

CONCEPTO	MOTOR ECH	MOTOR EC
Combustible	Gasolina o gas	Diesel o destilados
Rel. Comp.	de 6:1 a 12:1	de 11.5:1 a 23:1
Pres. Operac.	125 a 300 psig 250 a 600 psig	400 a 700 psig 2000 a 5000 psig
Temp. Operac.	900 a 1000 F	2500 a 4000 F
Vel. Giro	300 a 4000 rpm	100 a 2800 rpm
Vel. Pistón	menor a 3000 ppm	menor a 2100 ppm
Potencia Nom.	10 a 2000 HP	50 a 50000 HP
Diam. Pistón	menor a 6 in	menor a 32 in
Rendimiento	15 a 20% max 23%	30 a 33% max 38%
Costo Inicial	Barato	Alto
Costo Mantto	Alto	Barato
Dimensiones	Pequeñas	Grandes
Control de Detonación	Indice Octano	Indice Cetano

De la tabla anterior se pueden hacer las siguientes observaciones:

1. Se debe de tener bien claro la aplicación del motor para poder decidir cual es el que más conviene.



2. El costo inicial del motor diesel, aunque es mayor, que el de gasolina, a largo plazo representa un ahorro enorme ya que su costo de mantenimiento es mucho menor.

3. El manejo del combustible del motor diesel, se puede hacer con menor índice de riesgo.

4. Como punto final se puede mencionar que el motor de encendido por chispa se destina para comodidad, mientras que el motor de encendido por compresión, se destina para trabajos pesados.

## CAPITULO II

### MOTORES DETROIT - DIESEL

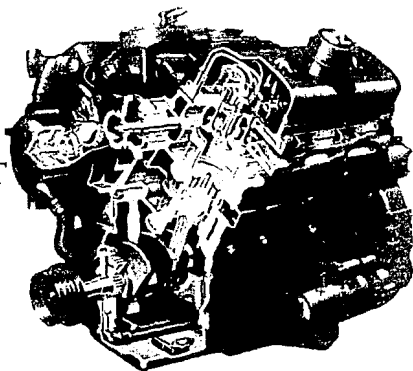
#### II.1 Breve Historia.

En 1935 un pequeño grupo de ingenieros y científicos de General Motors se lanzó a la investigación para la construcción de motores de combustión interna utilizando como combustible el diesel. Posteriormente estos trabajos e investigaciones culminaron con la fabricación de un motor de 6 cilindros de 426 pulg<sup>3</sup> de desplazamiento. A raíz de la fabricación del motor y debido a que causó gran impresión, ya que resultó ser un motor con gran eficiencia y que se podía emplear en diferentes campos.

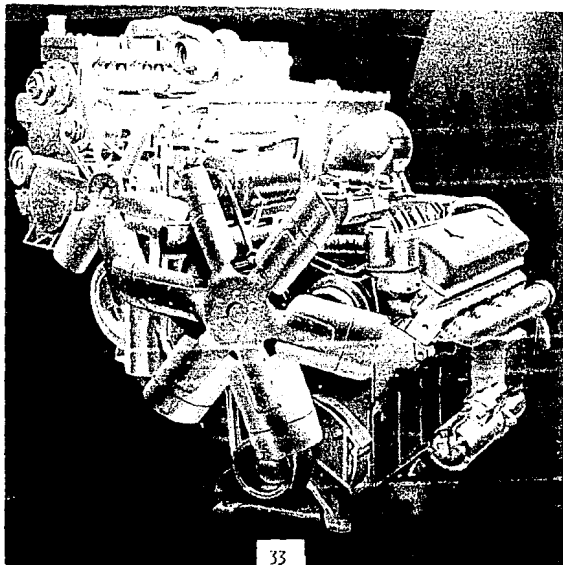
En realidad el que se haya seleccionado este motor para ser descrito, es porque en nuestro país, representan una garantía en cuanto a su eficiencia y confiabilidad en su funcionamiento; además de que en la actualidad, su uso es muy común en nuestro país y en todo el mundo.

Además de que estos motores tienen la versatilidad de satisfacer necesidades de potencia desde 34 hasta 1600 HP con la ventaja de poder aplicarse en un sin número de necesidades como son : el transporte, la generación de energía eléctrica, la minería, el servicio de aeropuertos, los barcos, extracción de crudo etc. Ver figura 5.

MOTOR  
DETROIT

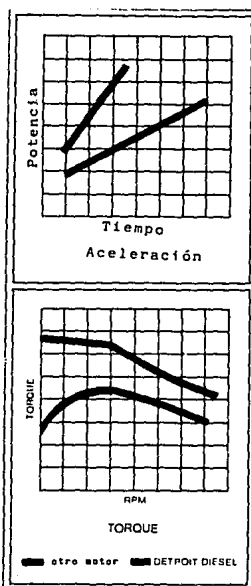


Serie 92



33

## CURVAS DE CARACTERISTICAS DE UN MOTOR DETROIT - DIESEL



Motores Detroit - Diesel

Serie del motor	Diámetro y carrera	cilindros del motor		Rango de Potencia
		En línea	V	
53	3.875 IN. X 4.5 IN.	3 & 4	6	64-216
71	4.25 IN. X 5 IN.	2, 3, 4 & 6	6, 8, 12 & 16	48-800
92	4.84 IN. X 5 IN.	—	6, 8 & 16	225-860
149	5.75 IN. X 5.75 IN.	—	12 & 16	675-1600

FIG. 5.

## II.2. BASE DE FUNCIONAMIENTO

El motor diesel es una máquina en la cual se transforma la energía química y térmica del combustible en trabajo; transformando el movimiento rectilíneo vertical alternado de los pistones en circular del cigueñal.

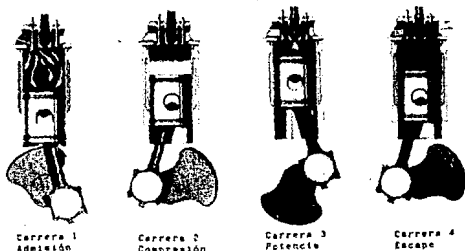
En los motores Detroit - Diesel solo se introduce aire limpio a las cámaras de combustión, el cual es comprimido para que al reducir el volumen dentro de las cámaras las moléculas de oxígeno se friccionen entre ellas produciendo altas temperaturas (aproximadamente 1000 grados Fahrenheit); una carga de combustible es suministrada a las cámaras de combustión por medio de un inyector, que al estar a altas temperaturas provocadas por el aumento de la presión en el cilindro, se incendia por sí solo.

El Principio de 2 Ciclos :

El motor de 2 tiempos esta equipado con un soplador para forzar el aire a entrar a los cilindros para expulsar los gases de escape y suministrar a estos aire fresco para la combustión. La camisa del cilindro contiene una hilera de orificios alrededor de esta que quedan por encima de la corona del pistón, cuando este se encuentra en su PMI (punto muerto inferior), estos orificios o lumbreras permiten la entrada de aire del soplador al cilindro tan pronto como el pistón los deja al descubierto. El flujo unidireccional de aire hacia las válvulas de escape produce un efecto de barrido, dejando a los cilindros llenos de aire

barrido, dejando a los cilindros llenos de aire limpio cuando el pistón vuelve a tapar las lumbreras de admisión. Poco antes de que el pistón alcance su PMS (punto muerto superior), la cantidad de combustible necesaria es inyectada por el inyector de combustible liberando la energía del combustible. El intenso calor generado durante la alta compresión del aire, enciende inmediatamente el combustible; la combustión continúa hasta que el combustible ha sido totalmente quemado. La presión resultante envía al pistón hacia abajo en su carrera de potencia. Todo el ciclo de combustión, se completa en una vuelta de del cigüeñal o en dos carreras del pistón. Ver figura 6.

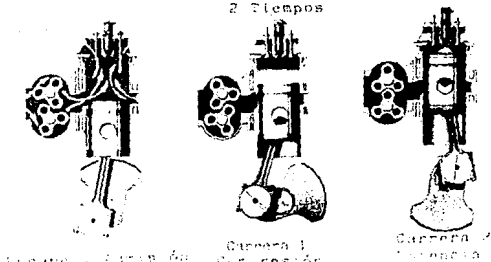
4 Tiempos



CICLO DE 4 TIEMPOS

FIG. 6

2 Tiempos



CICLO DE 2 TIEMPOS

### II.3. DESCRIPCION

La familia de motores Detroit - Diesel se fabrican en 4 series diferentes que son: serie 53, serie 71, serie 92 y serie 149; la cual indica el desplazamiento por cilindro en pulgadas cúbicas. Todos estos motores operan bajo el mismo principio y diseño.

Una de la variantes que pueden tener estos motores es que pueden ser Turbocargados o de Aspiracion Natural. Como la aplicación de estos motores es muy amplia, se requieren de ciertos accesorios para cada una de estas aplicaciones como son: Interenfriadores, Postenfriadores, Cambiadores de calor, Bombas de agua especiales, Recubrimientos según el medio donde esten trabajando, etc.

Una de las ventajas más significativas que presentan estos motores es que muchas de sus partes pueden ser reemplazadas por otras dentro de su misma serie.

A continuación se analizan y describen las diferentes partes de este motor así como cada uno de sus sistemas.

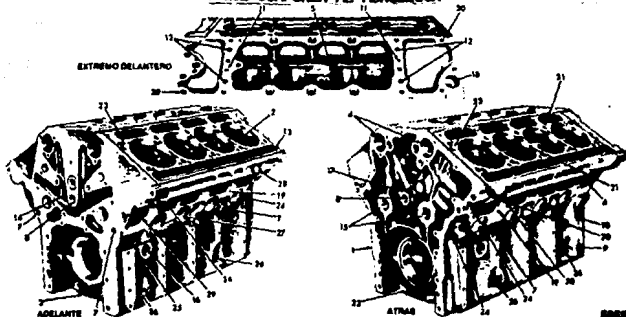
#### a) BLOCK DE CILINDROS

El block de cilindros (Ver figura 7), es la principal pieza estructural del motor. Sus nervaduras transversales proporcionan rigidez y resistencia asegurando la alineación de las cavidades de los cilindros y de los cojinetes bajo

carga. El block es de un tipo mojado sobre los orificios de las camisas y de un tipo seco debajo de ellas.

La caja de aire entre las bancadas de los cilindros, se extiende alrededor de estos conduciendo el aire desde el soplador hasta estos. Las mitades superiores de los cojinetes de bancada están fundidos integralmente en el block; los pasajes perforados en el block llevan el aceite de lubricación hacia todas las partes móviles del motor.

### PARTES QUE COMPONEN AL MONOBLOCK



9885-6

- |   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| 1. Bloque de cilindros                                | 11. Pasajes de alimentación del aceite al soplador         | 17. Cavidad de respiración del cárter         | 25. Galería de aceite  |
| 2. Taladrado para camisa del cilindro                 | 12. Pasajes de drenaje del aceite desde el soplador        | 18. Salida, respiración del cárter            | 26. Orificio de la varilla de medir o pasaje de retorno del aceite al cárter |
| 3. Tapa del cojinete de bancada delantero             | 13. Drenaje de aceite desde la culata del cilindro         | 19. Drenaje de la caja de aire                | 27. Orificio del núcleo para la camisa de agua                               |
| 4. Taladrado para ejes de levas                       | 14. Pasajes de drenaje del aceite                          | 20. Abertura de inspección                    | 28. Camisa de agua   |
| 5. Caja del aire                                      | 15. Pasajes de aceite (Cojinetes del engranaje intermedio) | 21. Tapa del cojinete de bancada trasero      | 29. Orificio de la camisa de agua  |
| 6. Agua al bloque                                     | 16. Pasajes de retorno del aceite hacia el cárter          | 22. Pasaje de aceite a la culata de cilindros | 30. Pasaje de galería del aceite al cojinete de extremo                      |
| 7. Drenaje de agua                                    |  | 23. Galería de aceite                         | 31. Orificio del perno de la culata del cilindro                             |
| 8. Galería principal del aceite                       |  |   |  |
| 9. Pasaje del aceite de la bomba al filtro del aceite |  |   |  |
| 10. Pasaje del aceite desde el                        |  |   |  |

FIG. 7'



#### b) DRENES DE CAJA DE AIRE

Durante la operación normal del motor, el vapor de agua de la caja de aire, así como una cantidad pequeña de vapor de combustible y del aceite lubricante, se condensan y se asientan en el fondo de la caja de aire. Esta condensación es removida por la presión de la caja a través de los tubos de drenaje montado sobre los costados del block de cilindros.

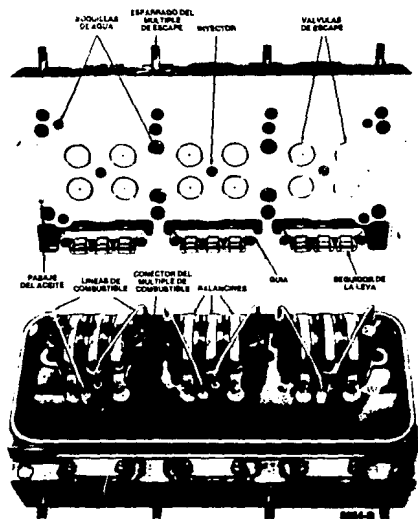
Los drenajes de la caja de aire deben mantenerse siempre abiertos, de lo contrario, el agua y el aceite que se pudieran acumular, penetrarían a los cilindros.

#### c) CULATA DE CILINDROS

La culata de cilindros es una fundición de una sola pieza; las válvulas de escape, los inyectores y el mecanismo de accionamiento de las válvulas e inyectores están en la culata de cilindros. Las 4 válvulas de escape están dispuestas en una configuración trapezoidal, con 2 válvulas más separadas que las otras. Para asegurar el enfriamiento eficaz, cada inyector de combustible está insertado en un tubo de parte delgada que pasa a través del espacio de agua en la culata. Los pasajes de escape de las válvulas de escape de cada cilindro pasan a través de un solo orificio al múltiple de escape. Los pasajes de escape y los tubos de los inyectores están rodeados por refrigerante del motor. Los múltiples de admisión y de escape del motor están fundidos como una sola pieza integral a la culata. Fig. 8.

# CULATA DE CILINDROS

FIG. 8



# SISTEMA DE VALVULAS E INYECTOR

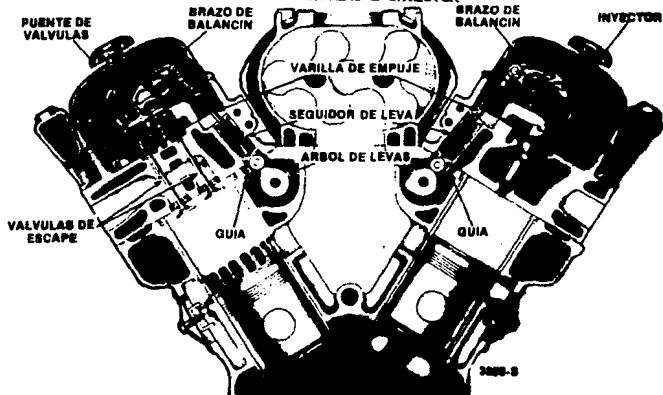


FIG. 9

#### d) MECANISMO DE OPERACION DE LAS VALVULAS Y DEL INYECTOR

Cada cilindro tiene tres brazos de balancines; los dos brazos externos operan las válvulas de escape y el brazo del centro opera al inyector de combustible. Los brazos de los balancines son operados por un eje de levas por medio de seguidores y varillas de empuje cortas que se extienden hasta la culata. Un resorte en espiral, dentro de cada seguidor mantiene una carga predeeterminada sobre éste para asegurar que en todo momento el rodillo de la leva esté en contacto con el lóbulo del árbol de levas. Fig. 9.

#### e) CIGUEÑAL.

El cigueñal es de una sola pieza de acero forjado con tratamiento térmico para asegurar su resistencia y durabilidad. Para lograr un equilibrio estático y dinámico se utilizan contrapesos en el cigueñal. La lubricación a presión se logra mediante los pasajes de los cojinetes de biela y de bancada.

#### f) AMORTIGUADOR DE VIBRACION DEL CIGUEÑAL

Un amortiguador de vibración de tipo viscoso está montado sobre el extremo delantero del cigueñal para reducir los esfuerzos de éste al mínimo. Consiste de una masa de inercia (volante) encerrada en una caja externa hermética pero separada por ésta por una película delgada de líquido viscoso. Cualquier movimiento de la masa de inercia, por lo tanto, es resistido por la fricción del fluido lo cual

tiende a amortiguar las vibraciones torsionales excesivas en el cigüeñal.

#### g) ACOPLAMIENTO FLEXIBLE DEL EJE PROPULSOR DEL MOTOR

Este acoplamiento es utilizado en ciertas aplicaciones como son : acoplar el motor a una transmisión, generador etc.

Sirve como un propulsor y también amortigua las fluctuaciones de los esfuerzos de torsión que existen entre el motor y el elemento acoplado a este. Figura 10.

#### ACOPLAMIENTO FLEXIBLE :

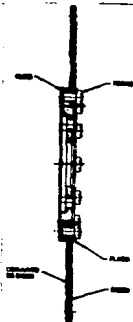


FIG. 10

#### h) PISTONES

Los motores Detroit - Diesel usan el pistón de tipo cruceta, el cual, consta de 2 piezas: una corona y una falda. Posee un anillo de metal que trabaja como sellador de aceite entre la corona y la falda los cuales se mantienen juntos por medio de un pasador. Este pasador utilizado en los motores

de aspiración natural y turboalimentados tienen un tubo de aceite de lubricación el cual retiene una tuerca flotante dentro del pasador del pistón. Las piezas internas del pistón son lubricadas y enfriadas por el aceite del pistón. Durante la operación del motor las cargas de combustible que están empujando la corona del pistón son tomadas por el pasador y buje del pistón. La falda del pistón estando separada, está libre de efectos de la carga vertical, reduciendo también la disipación térmica. Cuando el pistón se mueve hacia arriba y hacia abajo la mayor parte de la carga lateral es absorbida por la falda del pistón. Los motores de aspiración natural usan pistones con una relación de compresión de 19:1 y los turboalimentados usan pistones con relación de compresión de 17:1. Figura 11.

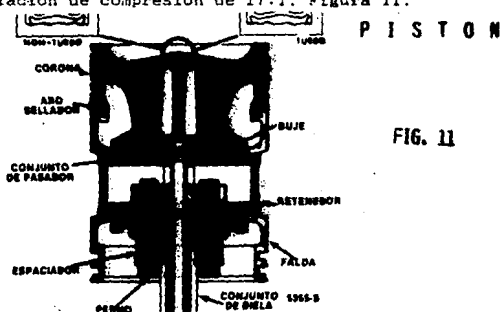


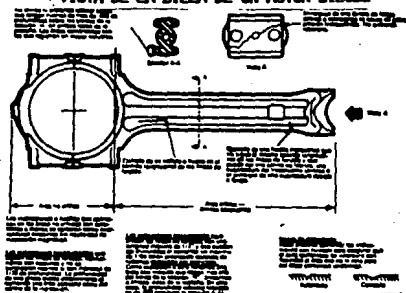
FIG. 11

#### ii) BIELAS.

Las bielas están forjadas como una sección "I" con un contorno de tipo abierto o de montura en el extremo superior

y una tapa de cojinete en el extremo inferior. Como se sabe es el elemento que transmite la fuerza vertical descendente al movimiento circular del cigüeñal. Figura 12.

### VISTA DE LA BIELA DE UN MOTOR DIESEL.



#### j) BALANCRIO DEL MOTOR Y CONTRAPESOS.

En el balanceo del motor de 2 tiempos, es importante considerar los disturbios creados por la acción reciproca de los pistones. Estos disturbios son de 2 tipos: Fuerzas desequilibradas y pares desequilibrados. Estas fuerzas y pares son consideradas como primarias o secundarias de acuerdo a si su frecuencia es igual a la velocidad del motor o el doble de la velocidad de este. A pesar de es posible tener fuerzas o pares desequilibradas a frecuencias mayores que el segundo orden, estas tienen consecuencias pequeñas en comparación a las fuerzas o pares de primer orden. Así mismo las fuerzas o pares de segundo orden tienen poco significado práctico.

Las masas reciprocas (el pistón y el extremo superior de la biela), producen un par desequilibrado debido a su disposición sobre el cigueñal. Este par desequilibrado tiende a mover los extremos del motor en un recorrido elíptico. Esta pareja se anula incorporando un componente estabilizador integral en el cigueñal y colocando contrapesos en los extremos de los árboles de levas. Los árboles de levas, giran en dirección opuesta uno del otro; cuando los contrapesos en cualquiera de los extremos del motor están en plano vertical, sus fuerzas centrifugas están en la misma dirección y se oponen al par primario. Cuando están en un plano horizontal, las fuerzas centrifugas de esos contrapesos se oponen entre si y por lo tanto son anuladas. Los contrapesos delanteros actúan en dirección opuesta a los traseros. Por lo tanto, en la rotación resultará en un par eficaz solamente en un plano vertical. Este par, junto con aquel integrado al cigueñal, forman un par elíptico que equilibra completamente al par primario.

#### k) PROPULSION DE ACCESORIOS.

Los accesorios tales como: compresor, bombas, alternadores y en general cualquier toma de fuerza, se pueden accionar en forma directa o por medio de poleas desde varias partes del motor; no sin antes hacer un previo cálculo de velocidades de los diferentes engranes de accionamiento y compararla con la velocidad requerida por el accesorio. Estas tomas de

fuerza pueden ser los ejes de los árboles de levas, el eje del soplador, volante, etc. Figura 13.

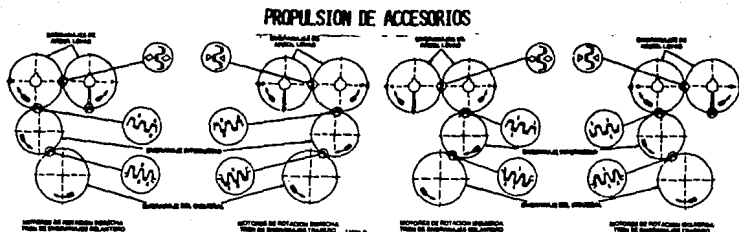


FIG. 13

#### 1) SISTEMA DE COMBUSTIBLE.

El sistema de combustible incluye los inyectores, tubos de combustible, múltiple de combustible, bomba de combustible, colador y filtros.

El combustible viene del tanque de almacenamiento, pasa por el colador y entra a la bomba de combustible. Al salir de la bomba con presión, el combustible es forzado a entrar al filtro y hacia el interior del múltiple de admisión; luego pasa por los tubos de combustible para después llegar a cada uno de los inyectores. El exceso de combustible regresa de la salida de los inyectores al múltiple de retorno de combustible y luego al tanque de abastecimiento. Figura 14.



# SISTEMA DE COMBUSTIBLE

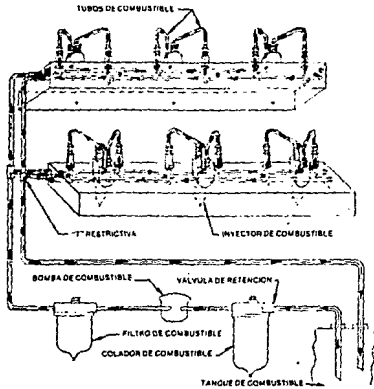


FIG. 14

# Sistema de Bombeo de 2 Tiempos Petrol - Diesel

ADMISION DE AIRE

INYECTOR

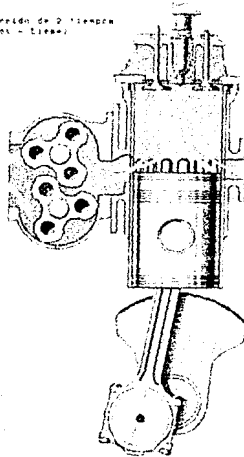


FIG. 15

#### m) SISTEMA DE ADMISION DE AIRE.

En el proceso de barrido de los cilindros se fuerza la salida de gases por medio de la entrada de aire limpio proporcionado por el soplador del motor. Este aire también ayuda a enfriar las piezas internas del motor, especialmente las válvulas de escape. Al comienzo de la carrera de compresión, se llena cada cilindro con aire fresco limpio, el cual proporciona una combustión más eficiente.

El aire que entra al soplador desde el depurador de aire, es llevado por los lóbulos del rotor del soplador al costado de descarga. El ángulo de las lumbreras de las camisas de los cilindros produce un movimiento uniforme de aire cuando entra a estos. Figura 15.

#### n) SISTEMA DE LUBRICACION.

El aceite del motor circula dentro de este por succión partiendo desde el cárter y pasando a través del colador hasta la entrada de la bomba de aceite donde adquiere presión, existe una válvula de alivio que descarga el exceso de aceite cuando la presión en la bomba excede las 100 lb/in<sup>2</sup>. Después del enfriador, el aceite regresa al block de cilindros donde una cavidad vertical corta y una diagonal lo llevan a la cavidad longitudinal principal a lo largo del centro del block. El aceite con presión fluye desde esta cavidad hacia cada uno de los orificios de los diferentes componentes del motor que están en movimiento. Figura 16.



o) SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.

Este tipo de motores utilizan tres diferentes sistemas de enfriamiento que son: Radiador y Ventilador, Permutador Térmico y Enfriamiento por Quilla. Cada sistema posee bombas de agua de tipo centrífugo la cual hace circular el refrigerante en el motor. Cada sistema posee termostatos para mantener la temperatura de funcionamiento normal del motor entre 56.8 y 70.7 grados Centígrados.

Los motores enfriados por radiador y ventilador están equipados por un múltiple de escape enfriado por aire. Los motores que poseen permutador térmico o sistema de enfriamiento por quilla (motores marinos) tienen múltiple de escape enfriado por agua. El sistema de enfriamiento de estos motores consta de un múltiple de escape y silenciadores. Figura 17.

p) MANTENIMIENTO.

Para el buen funcionamiento de un motor, en cualquier circunstancia, se debe de seguir un programa estricto de mantenimiento preventivo; básicamente para evitar fallas en situaciones reales de trabajo. Este programa debe de contener a todos y cada uno de los diferentes componentes o por lo menos a los más importantes.

A continuación, se plantea un programa típico de mantenimiento preventivo para este tipo de motores, para garantizar el buen funcionamiento de este. Ver programa anexo.

## CUADRO DE LUBRICACION Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO (Motores Industriales y marinos)

Intervalo de tiempo

Item	Funcionamiento	Moras Millas	Intervalo de tiempo									
			Diaria- mente	8 240	50 1,500	100 3,000	200 6,000	300 9,000	500 15,000	1,000 30,000	2,000 60,000	
1.	Aceite lubricante		ⓐ									
2.	Tanques de combustible		ⓐ									
3.	Líneas de combustible		ⓐ									
4.	Sistema de enfriamiento		ⓐ									
5.	Turboalimentador		ⓐ									
6.	Depurador de aire (baño de aceite)						ⓐ					
7.	Aceite lubricante						ⓐ					
8.	Filtros de aceite lubricantes						ⓐ					
9.	Correas propulsoras						ⓐ					
10.	Compresor de aire						ⓐ					
11.	Filtros de combustible							ⓐ				
12.	Depurador de aire (seco)			ⓐ					ⓐ			
13.	Filtro del enfriador		ⓐ						ⓐ		ⓐ	
14.	Motor de arranque							ⓐ				
15.	Tanques de combustible								ⓐ			
16.	Sistema de enfriamiento								ⓐ			
17.	Sistema de aire								ⓐ			
18.	Sistema de escape								ⓐ			
19.	Compresor de aire								ⓐ			
20.	Tubos de drenajes de la cámara de aire								ⓐ			
21.	Cierre de emergencia								ⓐ			
22.	Motor (limpieza por vapor)								ⓐ			
23.	Radiador								ⓐ			
24.	Funcionamiento de la persiana								ⓐ			
25.	Presión del aceite								ⓐ			
28.	Alternador (carga de batería)											ⓐ
29.	Montajes, motor y transmisión											ⓐ
30.	Presión del cigüeñal											ⓐ
31.	Cubo del ventilador											
33.	Sistema enfriamiento (anual)											
34.	Termostato y sellos (anual)											
35.	Soplador y rejilla (anual)											
36.	Respiradero del cigüeñal											
37.	Afinación del motor (+)											
38.	Permut. térmico y bomba agua cruda									ⓐ	ⓐ	

- ⓐ = Inspecciones, corrija y reemplaza si necesario  
 ⓑ = Reemplaza  
 + = Como se requiera

DIARIAMENTE	
1. ACEITE LUBRICANTE	⓪
2. TANQUES DE COMBUSTIBLE	⓪
3. TUBOS DE COMBUSTIBLE	⓪
4. SISTEMA DE REFRIGERANTE	⓪
5. TURBOALIMENTADOR	⓪

## LUBRICACION Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO (Motores de vehiculos)

A INTERVALOS DE 4,000 A 6,000 MILLAS	
6. DEPURADOR DE AIRE (BAÑO DE ACEITE)	⓪
7. ACEITE LUBRICANTE	⓪*
8. FILTROS DEL ACEITE LUBRICANTE	⓪*
9. CORREAS PROPULSORAS	⓪
10. COMPRESOR DE AIRE	⓪

A INTERVALOS DE 8 MESES O 10,000 MILLAS	MESES	6	12	18	24	30	36	42	48	50	60
	MILLAS EN MILES	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
11. FILTROS DE COMBUSTIBLE		⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪
12. DEPURADOR DE AIRE (SECO)			⓪		⓪		⓪		⓪		⓪
13. FILTRO REFRIGERANTE		⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪
14. MOTOR DE ARRANQUE		⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪
15. TANQUES DE COMBUSTIBLE			⓪		⓪		⓪		⓪		⓪
16. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO			⓪		⓪		⓪		⓪		⓪
17. SISTEMA DE AIRE			⓪		⓪		⓪		⓪		⓪
18. SISTEMA DE ESCAPE			⓪		⓪		⓪		⓪		⓪
19. COMPRESOR DE AIRE			⓪		⓪		⓪		⓪		⓪
20. TUBOS DE DRENAJE DE LA CAJA DE AIRE			⓪		⓪		⓪		⓪		⓪
21. CIERRE DE EMERGENCIA			⓪		⓪		⓪		⓪		⓪
22. MOTOR (VAPOR LIMPIO)			⓪		⓪		⓪		⓪		⓪
23. RADIADOR			⓪		⓪		⓪		⓪		⓪
24. FUNCIONAMIENTO DE LA PERSIANA			⓪*		⓪		⓪		⓪		⓪
25. PRESION DEL ACEITE			⓪		⓪		⓪		⓪		⓪
26. REGULADOR							⓪				⓪
27. TOLERANCIA, VALVULA E INYECTORES DE COMBUST.							⓪				⓪
28. ALTERNADOR (CARGADO POR BATERIA)									⓪		
29. MONTAJES DE LA TRANSMISION Y MOTOR									⓪		
30. PRESION DEL CARTER									⓪		
31. CUBO DEL VENTILADOR**											
32. RETARDO DE LA ACELERACION							⓪				⓪

ANUALMENTE	
33. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	⓪
34. TERMOSTATO Y SELLOS	⓪
35. SOPLADOR Y MALLA	⓪
36. RESPIRADERO DEL CARTER	⓪
37. AFINACION DEL MOTOR	+

- ⓪ = Inspeccion, corrija o reemplace si fuese necesario
- ⓪ = Reemplace
- \* = Verifique el nivel a diario y reemplace el filtro y el aceite inicial a las 3,000 millas
- + = Como sea requerido

## C A P I T U L O     I I I

### M O T O R E S     E . M . D .

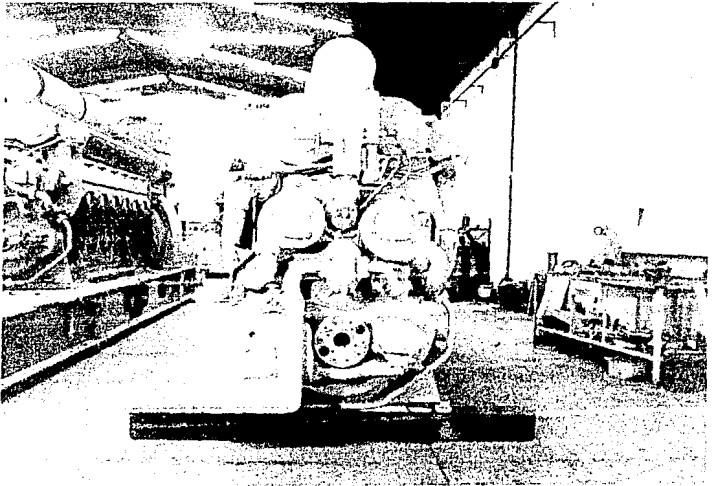
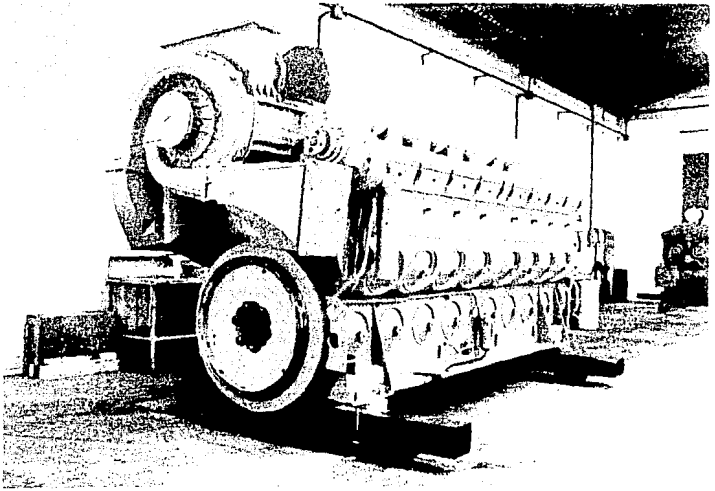
(Electro - Motive Division)

Este capítulo se enfoca a la descripción, operación y mantenimiento del motor E.M.D., el cual, se utilizará como base para el caso práctico de esta tesis.

A diferencia de los motores Detroit - Diesel, los motores E.M.D. son usados básicamente para cumplir necesidades de potencia mayores, figura 18. En realidad, su uso es muy común en la actualidad; y en México su utilización representa un soporte tecnológico muy importante; ya que su aplicación se enfoca a un sin número de campos industriales como son:

1. Industria Salina
2. Industria Minera
3. Industria Petrolera
4. Industria Pesquera
5. Industria del Acero
6. Industria Ferrocarrilera, etc.

Es por eso que este trabajo de tesis se enfoca a conocer ampliamente este motor y a la optimización de su uso.





### III.1. BASES DE FUNCIONAMIENTO

El motor E.M.D. puede ser de 2 tipos:

1. De tipo Soplador
2. Turbocargado

Esto se refiere específicamente al suministro de aire de entrada al motor y en algunas otras diferencias que se mencionarán más adelante.

El principio de operación es básicamente el mismo que el del motor Detroit - Diesel. Opera bajo el principio de 2 tiempos en donde cada pistón completa cada ciclo de potencia en una revolución en el cigueñal.

Este pistón no opera como una bomba de aire al dar una vuelta el cigueñal como en el caso de un motor de 4 tiempos, el cual, requiere de 2 vueltas en el cigueñal para completar un ciclo de potencia. A diferencia de un motor de 4 tiempos, el motor de 2 tiempos, tiene la necesidad imperativa, de proveer de aire al motor así la expulsión de los gases de escape.

En el motor de tipo soplador, el suministro de aire es proporcionado por 2 sopladores, excepto los motores de 8 cilindros, colocados en ambos lados del motor. Este soplador fuerza la entrada de aire limpio a las cámaras de combustión, expulsando a su vez los gases de escape. Por otra parte, el motor Turbocargado es usado generalmente cuando la demanda de potencia es mayor; el cual, abastece eficientemente la

necesidad de mayor suministro de aire a mayor presión durante la combustión.

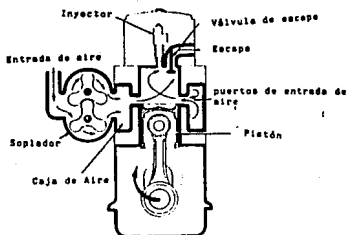
Durante la operación, el turbocargador utiliza la energía calorífica de los gases de escape del motor así como la energía del tren de engranes del motor para mover la turbina, que a su vez mueve a un compresor que es el que se encarga de suministrar el aire a alta presión a las cámaras de combustión. Sin embargo cuando la energía de los gases de escape es necesaria para mover por si sola a la turbina, el tren de engranes se desacopla de esta mediante un embrague de sobremarcha.

En realidad el principio de operación es el mismo para los 2 tipos de motores E.M.D., y es el siguiente:

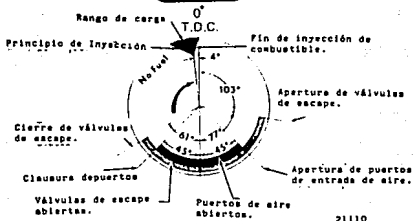
El aire del compresor centrifugo (motor turbocargado), es elevado tanto en presión como en temperatura; es deseable disminuir la temperatura del aire de entrada para incrementar su densidad antes de que entre a las cajas de aire que rodean a los cilindros. Esta rdeucción de temperatura se realiza por mdeio de postenfriadores, así el aire enfriado , posee mayor peso y oxigeno disponible para el motor.

Suponiendo que el pistón está en el punto más bajo de su carrera y comienza a subir, los puertos de entrada de aire y las válvulas de escape estarán abiertas. El aire a alta presión entra en el cilindro a través de los puertos de

**FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR E.M.D. CON SOPLADOR**

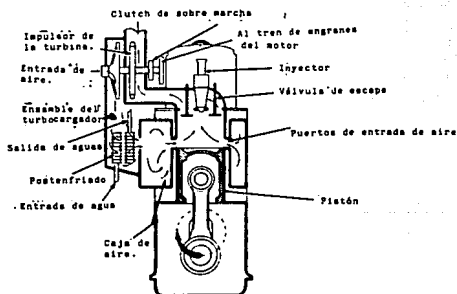


**FIG. 19A**

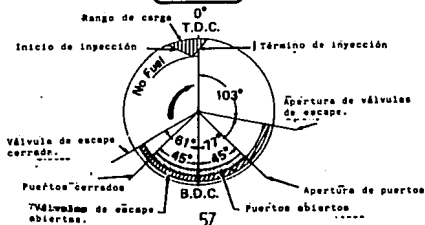


21110

**FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR E.M.D. TURBOCARGADO**



**FIG. 19B**



entrada de aire de la camisa, forzando la salida de los gases de escape y suministrando aire limpio en las cámaras. Cuando el cilindro se encuentra a 45 grados después del punto muerto inferior (PMI), los puertos de entrada de aire son cerrados por el pistón, como lo indica la figura 19a.

Inmediatamente después de que los puertos son cerrados, las válvulas de escape estarán cerradas también quedando atrapado el aire fresco dentro del cilindro. El cerrar las válvulas de escape después de los puertos, propicia a tener la mayor eficiencia en la combustión.

Como el pistón continúa su carrera ascendente, este comprime el aire atrapado reduciendo su volumen. Justo antes de que el pistón alcance su punto muerto superior (PMS), el inyector atomiza el combustible dentro de la cámara de combustión; la ignición del combustible es prácticamente instantáneo debido a la alta temperatura y elevada presión; que al explotar envía al pistón en dirección descendente en su carrera de potencia. En esta carrera y al estar el pistón a 45 grados antes de su PMI las válvulas de escape y los puertos de entrada son abiertos nuevamente. Figura 19b.

### III.2. DESCRIPCIÓN

A continuación se describe el motor E.M.D. 645F-4, el cual es un motor turbocargado de 645 pulgadas cúbicas de desplazamiento, figura 20; ya que es el que se ha



seleccionado para nuestro caso práctico; en caso de haya alguna diferencia con el motor de tipo soplador se hará mención de éstas.

### ESPECIFICACIONES

Diametro del cilindro	230.19 mm (9 1/16")
Carrera	254 mm (10")
Angulo entre Bancadas	45 grados
Relación de Compresión	14.5 : 1
Desplazamiento por Cilindro	10570 cm <sup>3</sup> (645 in <sup>3</sup> )
Rotación (visto por atrás)	Sentido antihorario
Orden de Encendido:	
8 Cilindros	1,3,5,7,4,8,2,6
12 Cilindros	1,12,7,4,3,10,9,5,2,11,8,6
16 Cilindros	1,8,9,16,3,6,11,14,4,5,12,13,2,7,10,15
20 Cilindros	1,19,8,11,5,18,7,15,2,17, 10,12,3,20,6,13,4,16,9,14
Válvulas de Escape (por cil.)	4
Cojinetes Principales:	
8 Cilindros	5
12 Cilindros	7
16 Cilindros	10
20 Cilindros	12
Control de Combustible	Actuador
Tipo de Soplador de Barrido	Turbo - Centrifugo

Sistema de Enfriamiento ..... Presurizado  
 Bombas de Agua ..... Tipo Centrifugo  
 Sistema de Aceite Lubricante ..... Totalmente Presurizado  
 Bombas de Aceite:  
 Bomba Principal  
 y Bomba de Enfriamiento de Pistones ..... Dos bombas en una  
 misma carcasa, entra-  
 da común, doble des-  
 carga.  
 Bomba de Barrido ..... Tipo Engranés Helicoidales  
 Inyección de Combustible ..... Inyector Unitario con  
 válvula de aguja  
 Bomba de Combustible ..... Desplazamiento Positivo  
 Encendido del Motor:  
 8 Cilindros ..... Motor de Aire  
 12,16,20 Cilindros ..... 2 Motores de Aire (Dual)

#### RANGOS DE OPERACION

Velocidad sin Carga .....	400 RPM		
Velocidad con Carga .....	720,750,900 RPM		
UNIDAD DE POTENCIA ESTACIONARIA	RPM	KW	BHP
8 Cilindros .....	900	1050	1525
12 Cilindros .....	900	1575	2305
16 Cilindros .....	900	2100	3070
20 Cilindros .....	900	2500	3600

CAPACIDADES DE LAS BOMBAS		900 RPM	
Bomba Principal de Aceite:		LPM	GPM
8 Cilindros .....		397	105
12 Cilindros .....		594	197
16 Cilindros .....		700	185
20 Cilindros .....		867	229
Bomba de Enfriamiento de Pistones:			
8 Cilindros .....		182	48
12 Cilindros .....		250	66
16 Cilindros .....		348	92
20 Cilindros .....		413	109
Bomba de Barrido:			
12 Cilindros .....		1056	209
16 y 20 Cilindros .....		1476	390
Bomba de Combustible:			
8 Cilindros .....		8	2.1
12, 16 y 20 Cilindros .....		17	4.5
Bomba de Agua:			
8 Cilindros .....		1892	500
12 Cilindros .....		2498	660
16 Cilindros .....		3218	850
20 Cilindros .....		4164	1100
PESO		TONELADAS	
8 Cilindros .....		11.3	
12 Cilindros .....		14.2	
16 Cilindros .....		17.8	
20 Cilindros .....		21.1	



A continuación se describen las diferentes partes del motor E.M.D. así como los diferentes sistemas que lo componen.

#### a) MONOBLOCK

Es la parte principal del motor. Su fabricación es de acero formando un ensamble rígido autosoportable para colocar y ensamblar los conjuntos de potencia, cigueñal y demás accesorios del motor.

Posee cavidades en ambos lados del motor, en la parte inferior, debidamente sellados para permitir la inspección del cigueñal, bielas y pistones, sirve también para la limpieza de la caja de aire, permite el acceso al múltiple de agua y al cárter. En la parte superior se encuentran los pasajes de escape, el múltiple de descarga de agua, así como todos los barrenos donde se soportan los conjuntos de potencia, silenciadores y demás accesorios.

En la parte inferior se encuentran todos los soportes del cigueñal, barrenos para acoplamiento del cárter, drenes de la caja de aire, etc. El cárter del motor está fabricado en acero, el cual, soporta al monoblock y sirve como base para el motor. En el centro de éste se encuentra el colector de aceite; la línea de succión de la bomba de barrido se encuentra dentro del cárter extendiéndose desde el colector al frente del motor y de ahí a las bombas. Ver figura 21.

### VISTA PARCIAL DEL MONOBLOCK

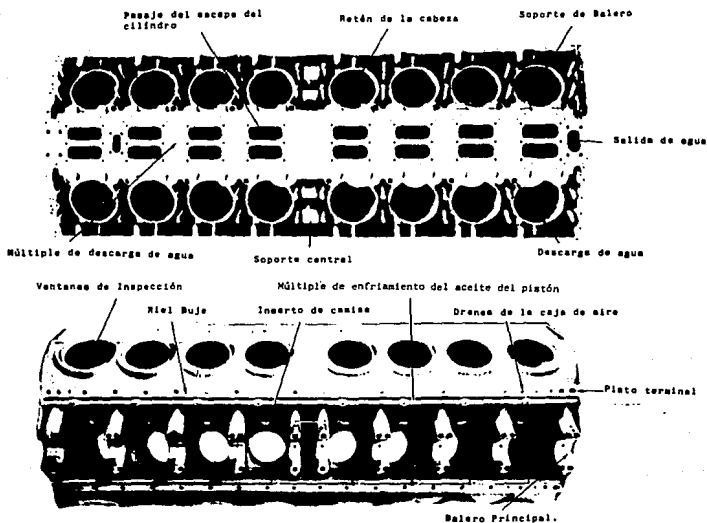


FIG. 21

### CABEZA DEL CILINDRO

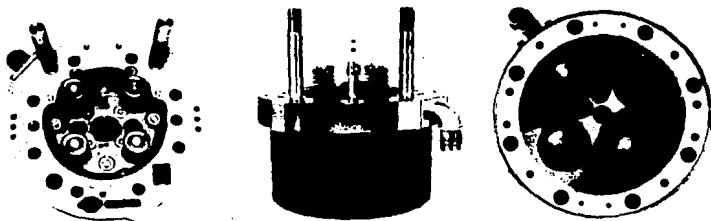


FIG. 22A

#### b) CABEZA DEL CILINDRO

Este tipo de motor posee una cabeza individual para cada cilindro, cada una con sus diferentes componentes, como son: inyector, resortes, válvulas de escape, sellos, balancines, cremalleras, etc.

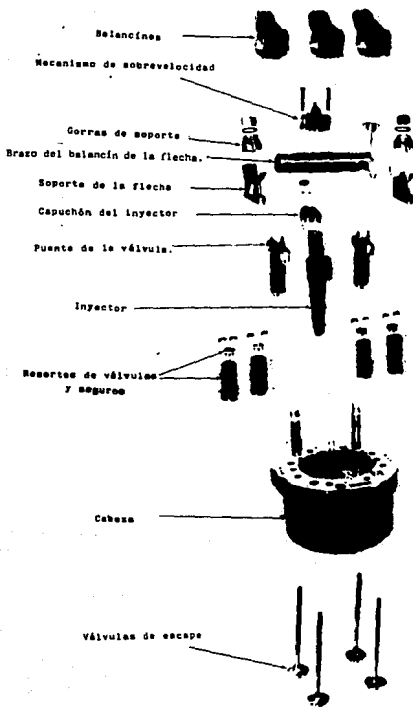
Su fabricación es de una aleación de hierro colado de alta resistencia, con un diseño especial para los pasajes de agua y los gases de escape. En esta se concentran los más altos índices en cambios de temperatura del motor, de ahí su fabricación especial, fig. 22a.

Las 4 válvulas de escape están dispuestas en un círculo concéntrico, dejando espacio en el centro de la cabeza para el inyector. Las válvulas y el inyector realizan su operación por medio de unos brazos llamados cremalleras, las cuales poseen un seguidor en su parte posterior que se une al árbol de levas. En esta parte de la cabeza, también se encuentra un seguro de sobrevelocidad el cual, funciona bloqueando la operación del inyector en caso de que el motor se desboque u ocurra cualquier otra falla. Ver figura 22b.

#### c) PISTONES

Son los que se encargan de transmitir la potencia al cigüeñal. La construcción del pistón consiste en una aleación de hierro colado; posee 4 anillos de compresión y 2 anillos para el control de aceite. El pistón es del tipo soporte giratorio y es usado para que el pistón rote o flote durante la operación del motor. Los soportes del pistón se

**PARTES QUE COMPONEN LA CABEZA  
DEL CILINDRO**



**FIG. 22a**

encuentran en una plataforma interna que soporta la parte superior del pistón; dentro de éste, se encuentra el portador o alma que es sujetado por seguros de presión. Para que el aceite lubricante llegue hasta la parte superior del pistón es necesario que pase por los 2 anillos de control de aceite através de los pasajes que se encuentran en el punto más bajo del pistón. Todas las partes internas son lubricadas y enfriadas por el aceite procedente de la bomba de enfriamiento de pistones. Ver figura 23.

#### d) BIELAS

La manufactura de las bielas del motor E.M.D. es muy peculiar, ya que consta de bielas de 2 tipos: Bielas de Hoja y Bielas de Horquilla, fig. 24a.

Las bielas de hoja poseen un movimiento hacia atrás y hacia adelante sobre la parte superior del metal y esta soportada por la parte superior de la biela de horquilla.

Uno de los extremos del soporte de la biela de hoja es más larga que la otra, para facilitar su ensamble.

Las bielas de hoja se ensamblan del lado derecho del motor con la parte más larga del soporte hacia el centro del motor; las bielas de horquilla se ensamblan del lado izquierdo del motor, fig. 24b.

#### e) CAMISA DEL CILINDRO

La camisa del cilindro consiste de una pieza fundida que posee 2 cámaras de agua por separado. Posee una línea de

PISTONES DEL MOTOR E.M.D.

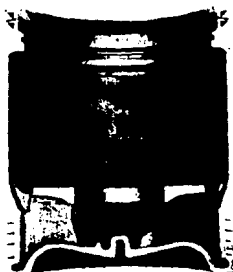


FIG. 23

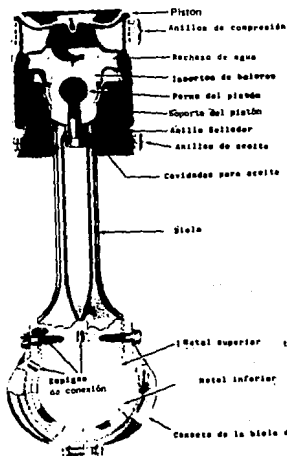


FIG. 24a

PARTES QUE COMPONEN A LAS BIELAS



FIG. 24b

puertos de entrada de aire alrededor de la camisa, para permitir la entrada de aire fresco a las cámaras de combustión. Debajo de los puertos de entrada de aire se encuentra una brida para conectar la tubería de entrada de agua para enfriar a la camisa; en la entrada de agua se encuentra un deflector que evita el choque directo del agua con la parte de la camisa distribuyendo el fluido radialmente. El agua que entra circula desde la parte de abajo de la camisa hasta la parte superior de la misma; descargando el agua en la cabeza a la cual entra por 12 perforaciones, cada perforación lleva un sello de silicón para evitar cualquier fuga de agua cuando se instala la cabeza. Una junta de acero revestida de cobre proporciona un sello entre la cabeza y la camisa durante la combustión.

Figura 25.

#### f) CIGUENAL

El cigueñal es una de las partes más importantes del motor ya que se encarga de soportar las cargas verticales de los pistones transformandolas en movimiento circular.

Es una pieza de acero al carbón fojado con una inducción especial de material resistente en los muñones y los pernos de los cojinetes principales. En los motores de 8 y 12 cilindros, el cigueñal esta hecho de una sola pieza; mientras que en los motores de 16 y 20 cilindros el cigueñal se compone de 2 piezas, las cuales, se unen por medio de bridas debidamente atornilladas. Posee también contrapesos

que proporcionan al motor una operación estable, cada cigueñal esta previa y debidamente balanceado, fig.26a.

Dentro del cigueñal existen pasajes por donde circula el aceite lubricante que llega a todas y cada una de las partes metálicas en contacto y constante movimiento, lubricando y enfriando estas debidamente, fig. 26b.

#### g) AMORTIGUADOR DE VIBRACIONES

Esta parte del motor, es un amortiguador de tipo viscoso, el cual, se encarga de absorber y disminuir cualquier vibración torsional en el cigueñal. Posee un fluido dentro de su cuerpo que debido a sus características de viscosidad y que al estar girando, las vibraciones que son transmitidas radialmente, son disminuidas. Su colocación es en la parte frontal del motor y detrás del tren de engranes.

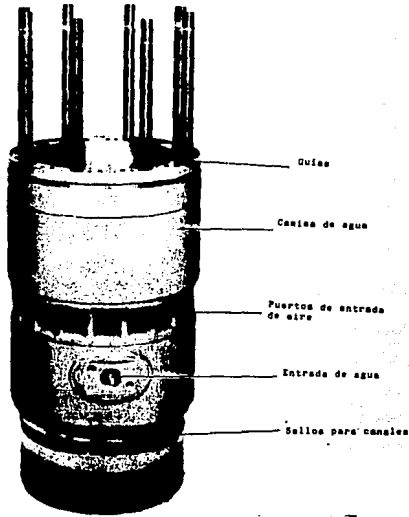
#### h) TREN DE ENGRANES

Es un conjunto de accesorios que se encarga de transmitir potencia a las bombas de agua, bombas de aceite y al gobernador. Los accesorios del tren de engranes se localizan en la parte frontal del motor. Este conjunto de engranes se compone de las siguientes partes: engrane impulsor, engrane de la bomba de succión de aceite, engrane de la bomba de barrido, engrane de la bomba principal de lubricación, engranes de las bombas derecha e izquierda de agua y el engrane que mueve al gobernador. Ver figura 27.



CAMISA DEL CILINDRO

FIG. 25



DIFERENTES CIGUEÑALES DEL MOTOR E.M.D.

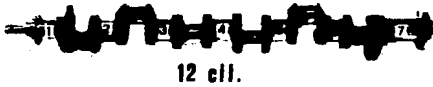


FIG. 26a

#### i) TREN DE ENGRANES DE LOS ARBOLES DE LEVAS

La potencia necesaria para mover los árboles de levas y el turbocargador o los sopladores, es suministrada por el tren de engranes; su localización es en la parte trasera del motor. Este tren se compone de los siguientes elementos: El engrane impulsor montado en el cigueñal, el engrane libre número 1, el conjunto de resortes del engrane de transmisión, engranes derecho e izquierdo de los árboles de levas, el engrane libre número 2 con su conjunto de resortes y el engrane del turbocargador, figura 28a y 28b.

#### j) GOBERNADOR

Es el elemento que tiene la función de mantener la velocidad a la cual debe operar el motor. Es un componente del sistema de control de carga, el cual, incluye una caja de control y una caja de control de carga máxima. El actuador se encuentra en el motor acoplado al impulsor del gobernador que es el que lo hace funcionar. Su funcionamiento básicamente es que por medio de una señal eléctrica que se encarga de regular la entrada de combustible a las cámaras aún cuando el motor está operando con carga.

En el caso de que el motor sirve para suministrar energía eléctrica, (acoplado a un generador, se deben mantener las revoluciones por minuto a las que debe operar el generador, figura 29.

## CONDUCTOS DE LUBRICACION EN EL CIGUEÑAL

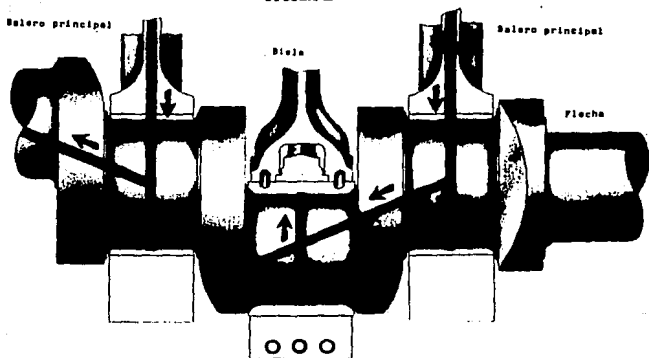


FIG. 26a

## TREN DE ENGRANES

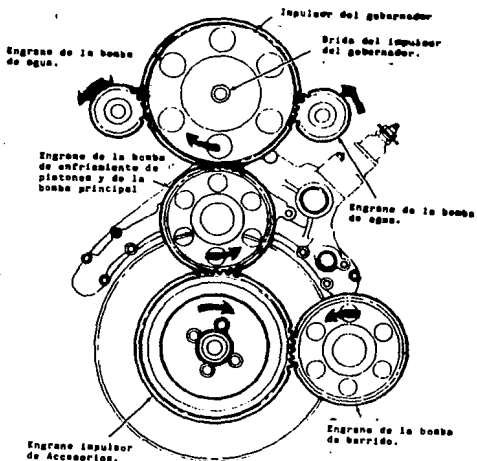
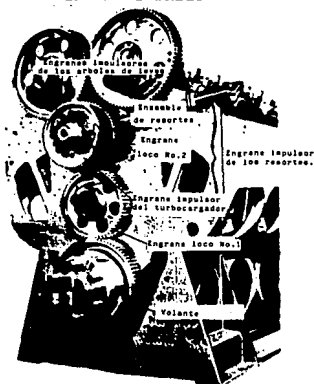


FIG. 27

TREN DE ENGRANES DE UN MOTOR  
E.M.D. TURBOCARGADO



TREN DE ENGRANES DE UN MOTOR  
E.M.D. CON SOPLADOR



FIG. 28 A

ÁRBOL DE LEVAS

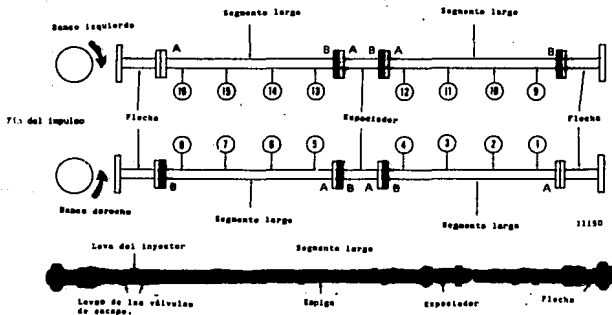
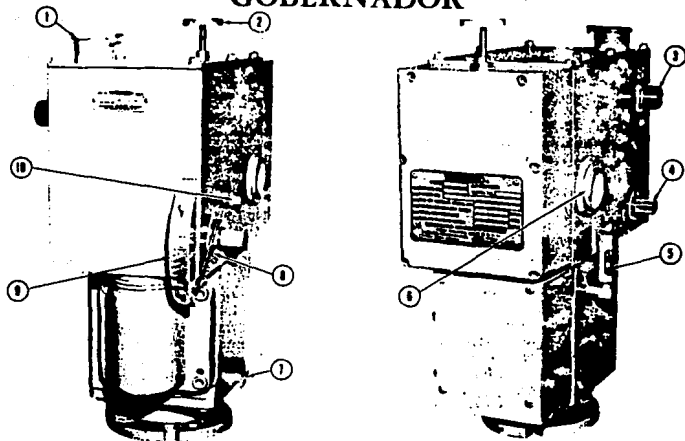


FIG. 28B

# GOBERNADOR



18046

18067

- 1.- Copa del filtro de aceite
- 2.- Ajuste Manual de Velocidad
- 3.- Recipiente eléctrico
- 4.- Flecha
- 5.- Medidor del nivel de aceite

- 6.- Acceso a purga de la válvula de aguja
- 7.- Drene de aceite
- 8.- Scala terminal de la flecha
- 9.- Flecha terminal
- 10.- Acceso a purga a la válvula eléctrica de aguja.

FIG. 29

El conjunto de accesorios y dispositivos antes mencionados, componen al motor base. A continuación se describen los sistemas mediante los cuales opera el motor.

#### k) SISTEMA DE ADMISION DE AIRE

Este sistema se refiere básicamente a la entrada de aire al motor y a los elementos que se encargan de ello, fig.30a.

Como elemento principal de este sistema se encuentra el Turbocargador que, como se mencionó anteriormente, se utiliza para aumentar la potencia e incrementar la economía de combustible del motor, operando por medio de la utilización de la energía de los gases de escape. Como se muestra en la figura 30b; el turbocargador posee una turbina de una sola etapa impulsada mediante el acoplamiento con un tren de engranes. Este tren de engranes es utilizado para que cuando el motor inicia su arranque impulse al turbocargador y se suministre el aire necesario al motor para su operación. En la situación en la cual el motor se encuentre en operación con carga pequeña o cuando se requiere una rápida aceleración, la energía calorífica de los gases de escape es insuficiente para mover la turbina tan rápido como para suministrar el aire necesario para la combustión, el turbocargador es ayudado por medio del tren de engranes que es impulsado por el motor.

Cuando el motor se aproxima a la operación a plena carga, la energía calorífica de los gases de escape, en la cual la temperatura alcanza los 1000 grados Fahrenheit (537.7 grados

Centígrados), es suficiente para mover a la turbina sin ayuda del motor; en este punto el embrague de sobremarcha se desacopla del tren impulsor desconectándose mecánicamente el tren de engranes.

El eje impulsor de la turbina es accionado mediante el tren de engranes del motor por medio de un conjunto de engranes en el turboalimentador. El engrane impulsor del turboalimentador, se acopla al engrane intermedio de este, moviendo al engrane impulsor transportador. El eje transportador mueve a un engrane solar en el eje de la turbina por medio de tres engranes planetarios, esto siempre que el motor mueva al turbocargador. Estos engranes planetarios se acoplan a una corona dentada que mueve al conjunto del embrague de sobremarcha.

EL aro o corona dentada queda fijo cuando el motor impulsa a la turbina debido a que la dirección de la torsión en la corona dentada acopla al embrague de sobremarcha. Cuando la turbina es impulsada por completo por los gases de escape, la dirección de la torsión es invertida permitiendo que la corona dentada gire libremente sin acoplarse con ningún elemento.

El aire al salir del turbocargador, pasa por un elemento enfriador que hace que el aire entre fresco a las cámaras de combustión a través de los puertos de entrada de la camisa del cilindro.

Los gases de escape se descargan desde los cilindros al múltiple de escape al abrirse las válvulas, en donde son

76

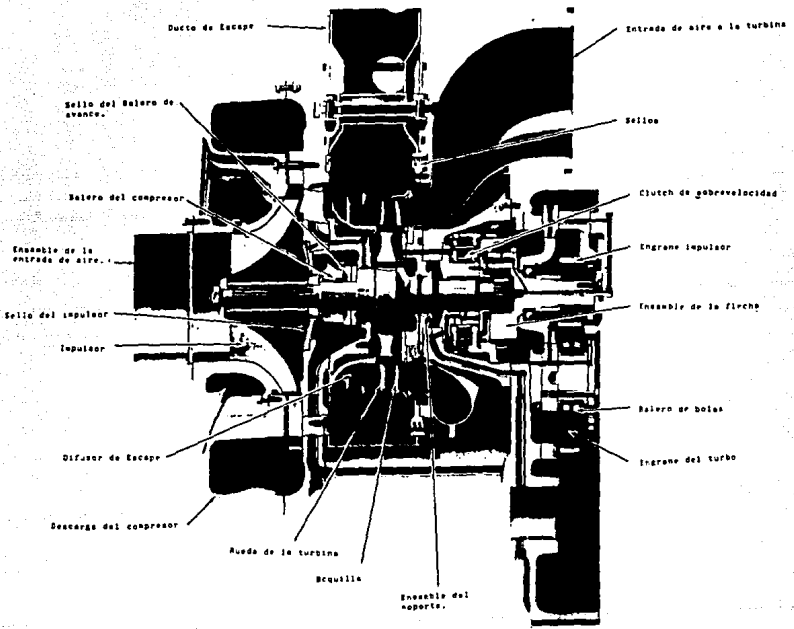


FIG. 30A

**E-16** TURBOCARGADOR



## SISTEMA DE ADMISION DE AIRE

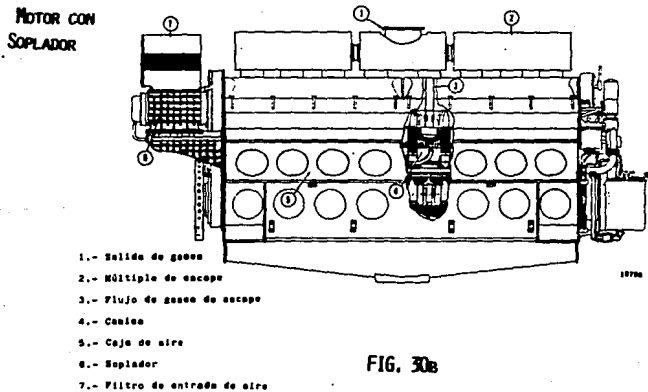
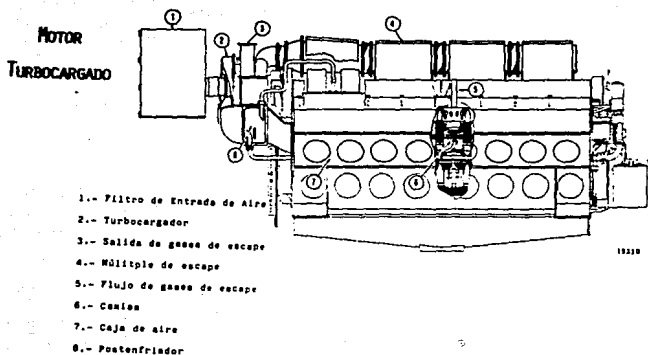


FIG. 30b

canalizados a pasar hacia la turbina del turbocargador para impulsarla y después son expulsados hacia el exterior.

#### l) SISTEMA DE ARRANQUE

El sistema de arranque del motor puede ser de 2 tipos:

1. Eléctrico
2. Neumático

Para este caso se describe el sistema neumático ya que es el que se utilizará en el caso práctico.

Este sistema, llamado sistema dual, utiliza 2 motores de aire para el arranque; se colocan en uno de los costados del motor, dependiendo de la rotación de este y se acoplan al volante del motor. Este sistema se compone de los siguientes elementos: tanque de aire, filtros, válvula de solenoide, válvula de entrada de aire, lubricador de la línea de aire, válvula de corte y botón de arranque.

El aire requerido por el motor es proporcionado mediante un compresor, el cual, suministra aire a alta presión accionando ambos motores. Figura 31.

El volante del motor es impulsado mediante un bendix que se acopla a este cuando entra el aire y hace girar el eje de cada uno de los motores.

#### m) SISTEMA DE LUBRICACION

El sistema de aceite lubricante del motor E.M.D. es una combinación de tres sistemas separados; estos son: El sistema de lubricación principal, el sistema de enfriamiento

de pistones y el sistema de aceite de extracción: cada sistema posee su propia bomba de aceite.

La bomba de lubricación principal y la bomba de aceite de enfriamiento de pistones, aunque son bombas individuales, se encuentran dentro de una misma carcasa e impulsadas por una flecha común. El funcionamiento de la bomba de barrido (sistema de extracción), es independiente del de las otras 2 bombas.

Las 3 bombas son impulsadas por el tren de engranes auxiliar que se encuentra en la parte delantera del motor. A continuación se describirá el funcionamiento de éstos 3 sistemas. Figura 32.

#### 1. SISTEMA PRINCIPAL.

El sistema principal suministra aceite al motor a baja presión y se distribuye a la mayor parte de las piezas en movimiento. La bomba principal extrae aceite desde la caja de coladores que se encuentra en el extremo derecho de la parte delantera del motor; el aceite se conduce hacia el múltiple de aceite que se encuentra sobre el cigüeñal y se extiende a lo largo del motor. La presión de aceite es regulada por una válvula de alivio que se localiza entre la bomba y el múltiple de aceite.

#### 2. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE PISTONES

La bomba de aceite de enfriamiento de pistones recibe el aceite desde un sumidero común, para ésta y para la bomba principal de lubricación, y suministra el aceite a los

## SISTEMA DE ARRANQUE DEL MOTOR

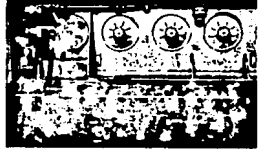
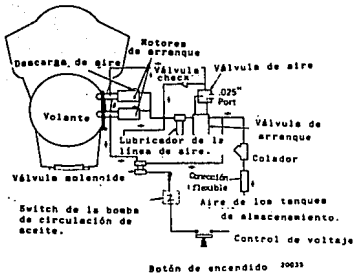


FIG. 31

## SISTEMA DE LUBRICACION DEL MOTOR

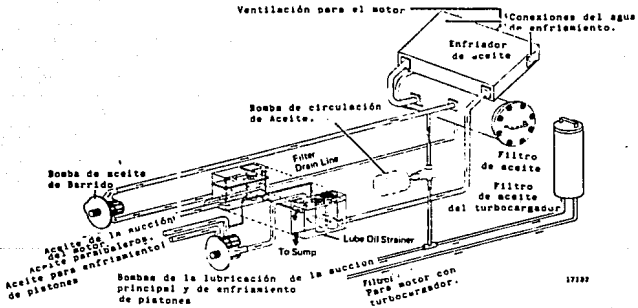


FIG. 32

múltiples que se encuentran a lo largo del motor y en ambos lados. El aceite se dirige hacia cada cilindro mediante un conducto que se encuentra dentro del porta pistón, con esto se enfría la parte inferior de la corona del pistón y los anillos. Parte de este aceite entra a una de las ranuras que posee el cojinete del perno del pistón y el aceite restante se vacía a través de orificios en la falda del porta pistón y de ahí cae al cárter.

### 3. SISTEMA DE EXTRACCION

En este sistema, el aceite se succiona, por medio de la bomba de barrido a través de un colador que se encuentra en el sumidero del cárter haciéndolo pasar por filtros y por el enfriador de aceite. El aceite se regresa a la caja de coladores para ser succionado por la bomba principal y por la bomba de enfriamiento de pistones previamente filtrado y enfriado. El exceso de aceite se derrama sobre un dique en la caja de coladores regresando al cárter.

Los motores turbocargados poseen un sistema de retrosaturación de aceite, el cual, sirve para asegurar la lubricación de los cojinetes del turbocargador antes de poner en funcionamiento el motor y para disipar el calor residual de las partes del turbocargador después de que el motor ha sido apagado. Existe otro medio que suministra presión al aceite de lubricación; este medio se controla automáticamente por medio de los controles de encendido y apagado del motor.

#### n) SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

A este sistema lo constituyen 2 bombas centrifugas accionadas mediante el engrane impulsor del gobernador; se encargan de hacer circular el agua a través de 2 repartidores que se extienden a lo largo del motor. De estos repartidores se derivan tubos de alimentación para cada cilindro y para cada cabeza enviando el agua posteriormente al múltiple de descarga.

Las bombas se encuentran montadas en la parte delantera del motor sobre la cubierta del eje impulsor de auxiliares.

El agua caliente que sale del motor, se hace pasar por un radiador exterior que se encarga de enfriar el agua disipando el calor que esta posee.

#### Bombas de Agua

Las bombas de agua (1 en motores de 8 cilindros), son del tipo centrifugo de alta capacidad auto drenadas girando en sentido contrario del cigueñal. Básicamente las 2 bombas son iguales variando solamente en la posición de la caja del impelente que permite su alineamiento con el tubo de descarga de la bomba.

Las bombas de diseño reciente son de auto drenaje, careciendo de la llave de purga en la bomba del banco derecho y de los orificios de purga en la bomba del lado izquierdo con los que estaban dotadas las bombas del diseño anterior. Figura 33.

## SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

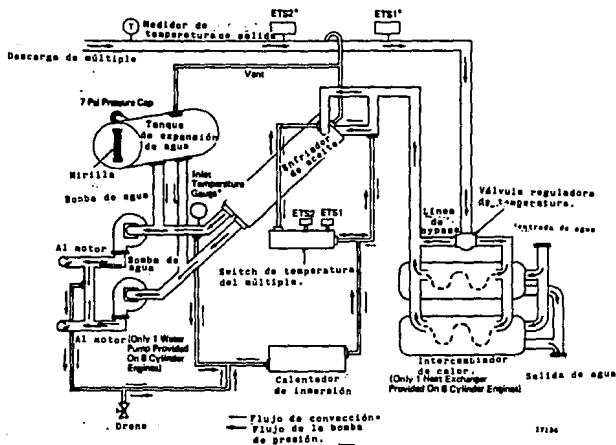


FIG. 33

## SISTEMA DE COMBUSTIBLE

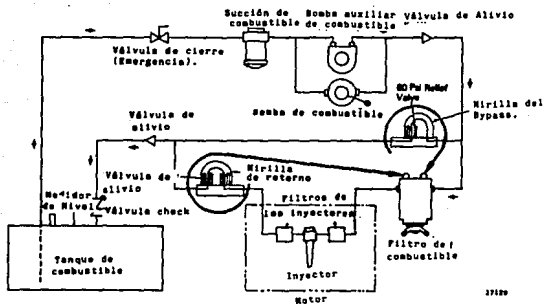


FIG. 34

#### o) SISTEMA DE COMBUSTIBLE

Este sistema se encarga de abastecer de combustible al motor para su funcionamiento. Los elementos que componen este sistema son los siguientes:

- Inyectores de tipo unitario
- Filtro de combustible
- Tuberías de abastecimiento y de retorno
- Bomba de combustible
- Tanque de almacenamiento de combustible
- Filtro de succión
- Tubería y accesorios de conexión

El funcionamiento del sistema es el siguiente:

La bomba succiona el combustible del tanque de almacenamiento haciendolo pasar por el colador de succión antes de llegar al filtro que se encuentra en el motor. Después de pasar por el filtro, el combustible circula por la línea de abastecimiento hasta llegar a cada uno de los inyectores.

Una pequeña parte del combustible que llega al inyector se introduce a la cámara de combustión a muy alta presión pasando a través de la válvula de aguja y descargandose por la tobera del inyector. La cantidad de combustible inyectado depende de la posición angular del émbolo que es determinado por la cremallera. Ver figura 34.

El combustible excedente, circula por el inyector y sirve tanto como lubricante como refrigerante del mismo.



El combustible sobrante que sale del inyector se hace pasar por el filtro de retorno con el fin de proteger al inyector en caso de una contrapresión en la línea de retorno; del filtro, el combustible llega a una válvula reguladora la cual, se encarga de mantener el rango adecuado de presión en la línea.

#### p) RACK DE ACCESORIOS

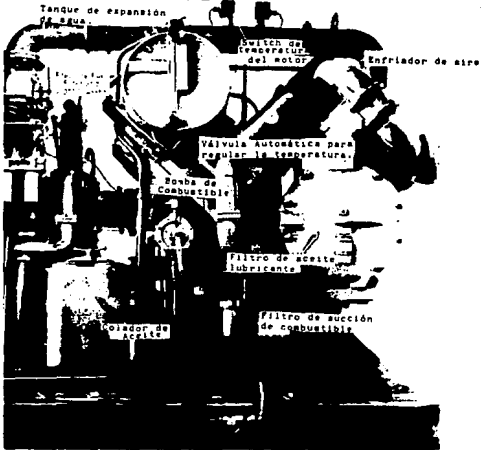
El rack de accesorios es una parte muy importante del motor E.M.D. ya que en el se encuentran los elementos auxiliares externos de los sistemas de lubricación, enfriamiento y combustible. Estos elementos varían de acuerdo con la aplicación del motor.

El rack del motor turbocargado consta de los siguientes elementos:

- \* Filtro de aceite lubricante
- \* Enfriador de aceite
- \* Tanque de expansión de agua del motor
- \* Intercambiador de calor
- \* Bomba de cebado de combustible
- \* Panel de control del motor

Todos estos elementos están montados en una estructura fabricada en acero, que se coloca en la parte frontal del motor. Estos accesorios están interconectados con sus respectivas tomas que salen del motor, para cada sistema. El panel de control se monta en uno de los extremos del rack y

# RACK



## Intercambiador de Calor

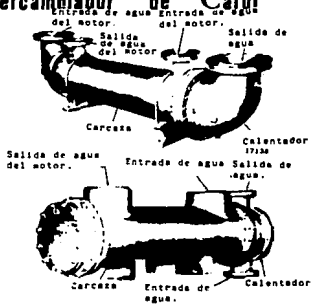


FIG. 35

es de este, de donde toma las señales de presión, temperatura, niveles, etc.; que son indicadas en dicho panel. Ver figura 35.

### III.3 M A N T E N I M I E N T O

A continuación se presenta un programa de mantenimiento típico para un motor E.M.D.; ver programa anexo:

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO BASICO

PARA MOTOR E.M.D. 645 TURBOCARGADO (SERVICIO CONTINUO)

CONCEPTO	DIARIAMENTE	MESES		1 MES		3 MESES		6 MESES		1 AÑO		3 AÑOS		5 AÑOS	
		Hrs.	250	500	1000	1600	2000	4000	8000	120000	16000	24000	72000		
<b>*ANTES DE PONER EN MARCHA EL MOTOR.</b>															
A) NIVEL DE COMBUSTIBLE.	V														
B) NIVEL DE ACEITE.	V														
C) FUGAS EN AMBOS LADOS DEL MOTOR.	V														
D) NIVEL DE ACEITE EN EL GOBERNADOR.	V														
E) NIVEL DE REFRIGERANTE EN EL TANQUE DE EXPANSIÓN.	V														
<b>MOTOR</b>															
1. NIVEL DE COMBUSTIBLE	V														
2. NIVEL DE ACEITE	V														
3. NIVEL DE ACEITE DEL GOBERNADOR	V														
4. NIVEL DE REFRIGERANTE EN EL TANQUE DE EXPANSIÓN	V														
5. APRIETE DE TORNILLOS Y TUERCAS DEL MOTOR			A		A		A	A		A		A		A	
6. TORNILLOS Y TUERCAS DE LAS CAMISAS Y LÍNEA DE ENTRADA DE AGUA			A		A		A	A		A		A		A	
7. TUERCAS DE LA CABEZA				A		A		A		A		A		A	
8. TORNILLOS GUÍA DE LA CABEZA			A		V	V		V	A	A	V	A		A	A
9. TORNILLOS Y TUERCAS DE LOS DUCTOS DEL POSTENFRIADOR			A		V	V		V	A	V	A	V		A	V
10. JUNTAS DEL MOTOR								V	C	V	C	V		C	C
11. DRENES DE LA CAJA DE AIRE				V		V			L	V	L	V		L	L

CONCEPTO	DIARIAMENTE	MESES		3 MESES		6 MESES		1 AÑO		3 AÑOS		5 AÑOS	
		Hrs.	250	500	1000	1600	2000	4000	8000	120000	16000	24000	72000
12. ANILLOS Y CAMISAS					V		C	V	C	V	V	C	C
13. VELOCIDAD DEL MOTOR (RPM'S)	V												
14. TIEMPO DE LOS INYECTORES			V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
15. TORNILLOS DEL MÚLTIPLE DE ESCAPE						A		A	A	A	A	A	A
16. RECUBRIMIENTOS								C		C	C	C	C
17. CONEXIONES DE TUBERÍA EXTERNA -- (AGUA, COMB. Y AIRE)						V		V		V	C	C	C
18. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN			V			V		V		C		C	C
19. BASE DEL MOTOR (TORNILLOS DEL PA Y(N))		V			V			V		V	V	V	V
20. OVERHALL								0		0		0	0
*CAMBIO DE CONJUNTOS DE POTENCIA													
*BOMBAS (ENGRANES, SELLOS, ETC.)													
*RECTIFICAR CIGÜEÑAL													
*CAMBIO DE CIGÜEÑAL													
*METALES (BIELA Y BARRACUDA) DE - CIGÜEÑAL Y DE ÁRBOLES DE LEVAS													
*RECTIFICAR ÁRBOLES DE LEVAS													
*PONER A TIEMPO													
*CALIBRACIÓN DEL GOBERNADOR													
*CAMBIO DE INYECTORES													
*AJUSTE DE CREMALLERAS													
*TRENES DE ENGRANES													
*CAMBIO DE VÁLVULAS DE ESCAPE													
*RECTIFICAR MONDBLOCK													
*LIMPIEZA GENERAL													
*OTROS													

CONCEPTO	DIARIAMENTE	MESES		1 MES		3 MESES		6 MESES		1 AÑO		3 AÑOS		5 AÑOS
		Hrs.	250	500	1000	1600	2000	4000	8000	12000	16000	24000	72000	
<b>SISTEMA DE ENFRIAMIENTO</b>														
1. FILTROS		V	C	V	C	V	C	C	C	C	C	C	C	C
2. LÍQUIDO REFRIGERANTE (AGUA)			V			V	C	V	V	C	C	C	C	C
3. BOMBAS DE AGUA								V/C		V/C			V/C	V/C
4. VÁLVULA DE REGULACIÓN DE TEMPERATURA							L	C		C			C	C
5. TANQUE DE EXPANSIÓN		V	V	L	V	L	V	V	L	V	L	L	L	L
6. INTERCAMBIADOR DE CALOR		V	V	L	V	V	L	L	V	L	L	L	L	L
7. CONEXIONES		V	V	V	V	V	V	V/C	V	V/C	V/C	V/C	V/C	V/C
8. OTROS	V													
<b>SISTEMA DE ACEITE LUBRICANTE</b>														
1. FILTROS		V	C	C	V	C	C	C	C	C	C	C	C	C
2. ACEITE			C		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
3. BOMBAS (BARRIDO, EP, PRINCIPAL)					V			L/C	V	L/C	V	L/C	V	L/C
4. RADIADOR DE ACEITE (ENFRIADOR)		V	V	L	L	V	V	L	L	V	L	L	L	L
5. PRESIÓN DE ACEITE	V													
6. FUGAS	V													
7. COLADORES (CAJA)			L		L		L	L		L	L	L	L	L
8. OTROS	V													
<b>SISTEMA DE COMBUSTIBLE</b>														
1. TANQUE DE COMBUSTIBLE		V	V	L	V	V	L	V	V	L	L	L	L	L
2. LÍNEAS DE SUMINISTRO					L		L			L	L	L	L	L
3. BOMBA								V/C		V/C			V/C	V/C
4. FILTROS			L	C	L	L	C	C	C	C	C	C	C	C
5. INYECTORES					L		L	L/C		L/C			L/C	L/C
6. PRESIÓN	V													
7. LÍNEA DE RETORNO					L		L			L	L	L	L	L
8. OTROS	V													

CONCEPTO	DIARIAMENTE	MESES		1 MES		3 MESES		6 MESES		1 AÑO		3 AÑOS		5 AÑOS
		Hrs.	250	500	1000	1600	2000	4000	8000	120000	16000	24000	72000	
<b>SISTEMA DE ADMISION DE AIRE</b>														
1. FILTROS			L		C	L		C	L	C	C	C	C	C
2. TURBOCARGADOR (TURBINA " COMPRESOR)										L/C		L/C		L/C
3. CAJAS DE AIRE					L			L		L	L	L	L	L
4. VÁLVULAS DE ALIVIO		V												
5. OTROS		V												
<b>SISTEMA DE ESCAPE</b>														
1. DUCTOS			V	V	V	V	V	V	V	V	V/C	V	V/C	V/C
2. SILENCIADORES			V	V	V	V	V	V	V	V	V/C	V	V/C	V/C
3. TAPAS DE LLUVIA	V													
4. OTROS	V													
<b>SISTEMA DE ARRANQUE</b>														
1. MOTORES DE AIRE										V/C		V/C		V/C
2. TUBERÍA			V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
3. COMPRESOR					V			V		V/L		V/L		V/L
4. PRESIÓN	V													
5. OTROS	V													
*TABLERO DE SEÑALIZACION	V													
<b>NOMENCLATURA</b>														
V: VERIFICAR ó INSPECCIONAR.														
C: CAMBIO.														
L: LIMPIAR.														
A: APRETAR.														
O: OVERHALL.														

## C A P I T U L O    I V

### C A S O   P R A C T I C O

#### IV.1. PARAMETROS NECESARIOS PARA EL CALCULO Y LA SELECCION DE LOS ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS QUE COMPONEN AL EQUIPO ELECTROGENO

Para elaborar una selección adecuada de los elementos y dispositivos que comprenden la instalación de un equipo electrógeno, es necesario tomar en cuenta ciertos parámetros que constituyen la base para que la instalación del equipo resulte lo más satisfactoriamente posible.

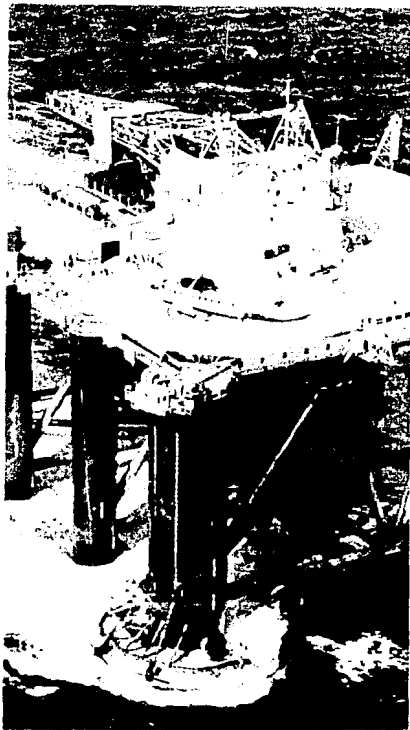
A continuación se presentan los parámetros de diseño y selección que se necesitan para instalar un equipo electrógeno como proyecto de ingeniería:

1. CONDICIONES DE OPERACION. Básicamente se refiere a que la eficiencia de un motor varía de acuerdo a las condiciones ambientales en las que se encuentra o a las cuales va a operar, por lo que es necesario conocer esas condiciones.

2. REQUERIMIENTOS DE CARGA. Un equipo electrógeno, como ya se mencionó, tiene la función de suministrar energía eléctrica; es por eso que se debe elaborar un censo de



# PLATAFORMA MARINA



cargas, el cual nos indica, que el moto - generador, satisface esas necesidades de carga.

3. LUGAR DE OPERACION. Tanto para la operación como para la duración y facilidad en el mantenimiento de un equipo, cualquiera que sea, es necesario que este trabaje u opere en las condiciones adecuadas.

4. INSTALACION DEL EQUIPO. Este es un punto muy importante ya que, de una buena instalación tanto del moto - generador como de sus elementos auxiliares, depende el buen funcionamiento de este.

5. MANTENIMIENTO. Este parámetro, quizá sea el más importante, ya que, para este tipo de equipos, se requiere de un buen programa de mantenimiento tanto preventivo como correctivo así como del personal capacitado para llevarlo a cabo.

Así pues, a continuación, se llevan a cabo estos puntos, apegándose a las diferentes normas vigentes de diseño en ingeniería.

## IV.2. CONDICIONES DE OPERACION

En cualquier proyecto de ingeniería, en donde se vaya a instalar cualquier equipo (maquinaria, obra civil, obra industrial, etc.) es imperativo saber en que condiciones ambientales se va a llevar a cabo.

Para este caso se ha seleccionado una plataforma marina para poner en operación un moto-generador. La razón de instalar este equipo en ese lugar es que al elaborar un previo análisis, de llevar líneas de suministro de energía eléctrica desde tierra, es muy alto.

El equipo se instalará frente a las costas de Ciudad del Carmen, Campeche.

Las condiciones ambientales de este lugar son las siguientes:

- \* Altura: 20 m (65.61 ft) SNM
- \* Dirección del Viento: Este
- \* Velocidad del viento: 40 m/s (131.23 ft/seg)
- \* Humedad relativa: 76% anual
- \* Presión: 760 mm Hg
- \* Temperatura: (en grados centígrados)

Ext. Máx.	Prom. Máx.	Media	Prom. Mín.	Ext. Mín.
43.7	31.9	27.2	22.4	11.0

Como se puede observar, las condiciones de operación son propicias para que el motor opere en condiciones con pérdidas de potencia muy bajas.

#### IV.3. CALCULO, DISEÑO Y SELECCION DE LOS ELEMENTOS QUE SE REQUIEREN PARA LA INSTALACION DEL EQUIPO ELECTROGENO.

##### 1. SELECCION DEL MOTOR.

La selección del motor, se lleva a cabo, principalmente en base a tres parámetros:

- a) Requerimiento de Cargas
- b) Condiciones de Operación
- c) Dimensiones del Motor

El uso del equipo será de servicio continuo.

##### a) Requerimientos de Carga.

	Consumo
Alumbrado. Oficinas	100 kw
Habitaciones	80 kw
Comedores	40 kw
Centros de trabajo	90 kw
Bombas de Lodo (7)	574 kw
Compresores (4)	746 kw
Motores eléctricos (15)	168 kw
Motores de grúas (4)	30 kw
	-----
TOTAL	1858 KW

En base a estos requerimientos de carga, se concluye, que se requieren aproximadamente 1900 kw para abastecer de energía eléctrica a toda la plataforma.

A continuación, se presenta una tabla para la selección del motor en base a los datos ya obtenidos.

modelo	rangos			
	alternador e.m.d.	voltaje de fase	BHP	kw
900 RPM 60 Hz				
SBE1G	AB21-24	2400 V	1050	745
SI2E1G	AB21-24	2400 V	1500	1075
SI6E1G	AB21-24	2400 V	1950	1400
SBE4CG	AB21-24	2400 V	1525	1090
SI2F4BG	AB21-24	2400 V	2550	1825
SI6F4BG	AB21-24	2400 V	3400	2435
S20F4BG	AB21-24	2400 V	4000	2865

MOTOR.

\* MODELO: S - 16F-4 BG

\* SERIE: 645

\* POTENCIA: 3400 HP

\* KW = 2535.38 kw

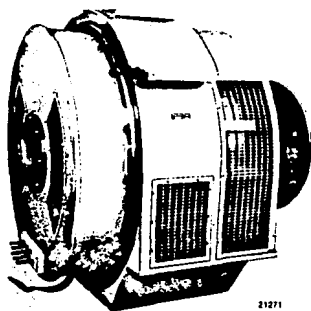
\* KW continuos = KW \* n gen \* n acop

KW cont = 2535.38 + 0.97 \* 0.92

KW cont = 2262.57 kw > 1858 kw Ok!!

\* Velocidad de giro: 900 rpm

Modelo	H <sub>z</sub>	Voltaje de línea	Conexiones	KW Máximos continuos.	KVA máximos Continuos D.B F.P.	RPM
<b>AB21-24</b>	60	4800	Y	2315	2895	900
	60	4160/2400	Y/Δ	2865*	3580	900
	60	3300/1905	Y/Δ	2700	3375	900
	50	4160/2400	Y/Δ	2000	2500	750
	50	3300/1905	Y/Δ	2425	3030	750
<b>AB21-6</b>	60	600	Delta Permanente	2190	2738	900
	60	480		1600	2000	900
	50	440		1500	1875	750
	50	380		1300	1625	750



GENERADOR

GENERADOR

\* MODELO: AB21 - 24

\* FASES: 3

\* VOLTAJE ENTRE FASES: 4160 / 2400 V

\* FRECUENCIA: 60 Hz

\* KVA MAXIMOS CON 0.8 FP = 3580

\* CORRIENTE:  $I = KW * 1000 / (1.73 * E * FP)$

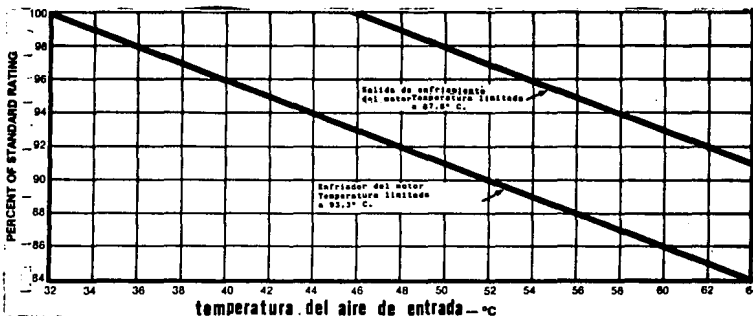
$$I = 2100 * 1000 / (1.73 * 2400 * 0.8)$$

$$I = 632.22 \text{ Amperes}$$

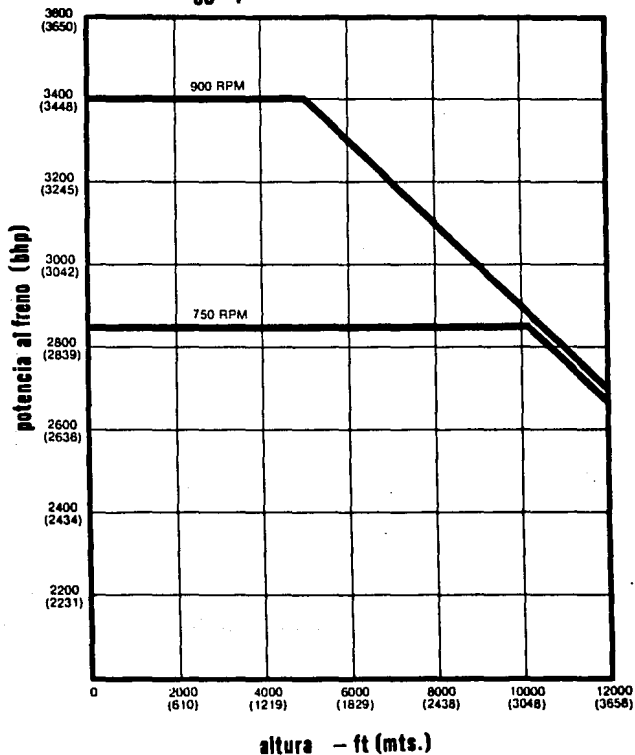
b) Curvas de Desarrollo

En base a las condiciones de operación antes mencionadas, se utilizan las siguientes gráficas con el objeto de observar como la temperatura y la presión, afectan la potencia nominal del motor.

**rango de pérdidas por temperatura (°C)  
para EMD 645E1, E8, E4C, E9C, F4B y F9B  
motores diesel**

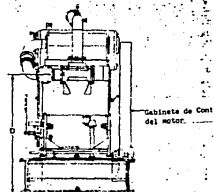
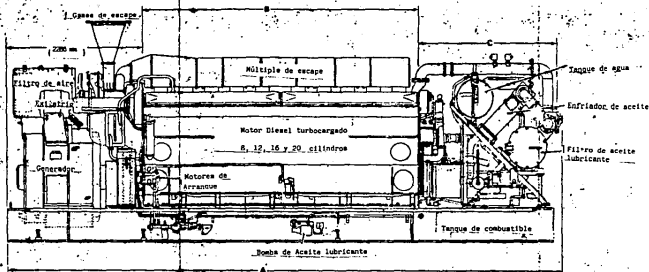
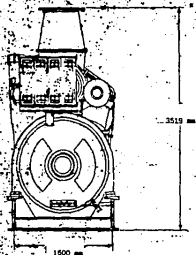


**Pérdidas por Altura**  
**motor 16f4-B**  
**900 / 750 rpm**  
**90 °f**



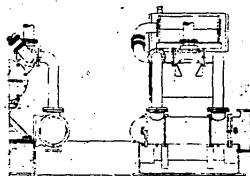


**c) Dimensiones del Motor. (Ver plano anexo)**



Cabinete de Control del Motor.

Modelo	8M24G	12M24G	16M24G	20M24G
A	2365 mm	2925 mm	3375 mm	3810 mm
B	1864 mm	2254 mm	2715 mm	3152 mm
C	2215 mm	2215 mm	2277 mm	2277 mm
D	2023 mm	2023 mm	1672 mm	1672 mm



Aplicación con Intercambiador de calor.

Modelo ..... Motor 8 cilindros  
 Motor 12 cilindros  
 Motor 16 cilindros  
 Motor 20 cilindros  
 102 Detalle de Instalación  
 Unidad Estacionaria de Potencia.

## 2. CALCULO DEL CUARTO DE MAQUINAS

Este punto se enfoca al cálculo de la estructura, columnas y techo de lo que es el cuarto de máquinas.

Dimensiones del cuarto:

claro = 15 m

largo = 20 m

altura = 5.5 m

Area total (At) = 15.4 m \* 20 m

At = 308 m<sup>2</sup> , considerando un 10% extra de traslapes, tenemos:

At = 308 \* 1.1

At = 338.8 m<sup>2</sup>

## A R M A D U R A Y T E C H O

Cálculo de los Largueros:

a. Carga del Viento:

$W = 0.00555 * C * A * V^2$  ,      0.00555=factor de diseño

donde: C = factor de empuje = 1.43 (según manual AHMSA)

A = area expuesta (Area tributaria)

V = velocidad del viento = 110 km/hr (diseño)

por lo tanto:

$W = 0.00555 * 1.43 * 25.9 * (110)^2$

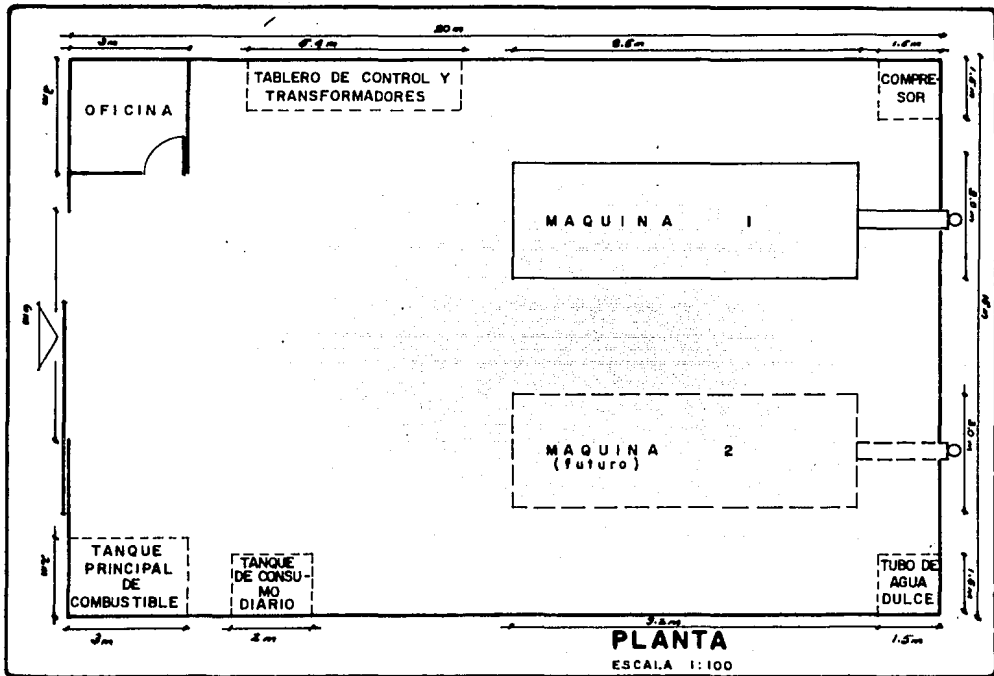
W = 2487.21 Kg

b. Carga Viva:

CV = 70 kg/m<sup>2</sup> \* A trib

CV = 70 kg/m<sup>2</sup> \* 25.9 m<sup>2</sup> ;      CV = 1813 kg

NOTA



c. Peso de los Largueros:

Para este caso se propone canal de 10"

$$\text{Peso} = 37.20 \text{ kg/m}$$

$$w \text{ larg} = 37.20 \text{ kg/m} * 10 \text{ m}$$

$$w \text{ larg} = 372 \text{ kg}$$

d. Peso del Techo:

Se empleara lámina galvanizada senoidal MS - 70 (según especificaciones Manual AHMSA).

Mdeidas: ancho = 81 cm

$$\text{largo} = 3.65 \text{ m}$$

$$\text{calibre} = 20$$

$$\text{peso} = 8.6 \text{ kg/m}^2$$

$$W \text{ techo} = A \text{ trib} * \text{peso lam.}$$

$$W \text{ techo} = 25.9 \text{ m}^2 * 8.6 \text{ kg/m}^2$$

$$W \text{ techo} = 222.74 \text{ kg}$$

e. Carga en los Largueros:

$$W \text{ larg} = W \text{ techo} + w \text{ larg} + CV + W$$

$$W \text{ larg} = 222.74 + 372 + 1813 + 2487.21$$

$$W \text{ larg} = 4894.95 \text{ kg}$$

por lo tanto:

$$M \text{ max} = w * l^2 / (9 * \text{sqr } 3)$$

$$w = W \text{ larg} / l$$

$$w = 4894.95 / 10$$

$$w = 489.5 \text{ kg/m}$$

$$M \text{ max} = 489.5 * (10)^2 / (9 * \text{sqr}3)$$

$$M_{\max} = 3140.14 \text{ kg m}$$

$$M_{\max} = 3140.14 \text{ kg m} * 100 \text{ cm/m}$$

$$M_{\max} = 314014.3 \text{ kg cm}$$

$$s = M_{\max} / S_x \quad ; \quad S_x = 1520 \text{ kg/cm}^2$$

$$s = 314014.3 \text{ kg cm} / (1520 \text{ kg/cm}^2)$$

$$s = 206.58 \text{ cm}^3 < 221.2 \text{ cm}^3 \quad \text{ok !!}$$

### CARGAS TOTALES

#### A. Carga del Viento:

$$W = 0.00555 * C * A * V^2$$

$$W = 0.00555 * 1.43 * 77 * (110)^2$$

$$W = 7394.43 \text{ kg}$$

#### B. Carga Viva:

$$CV = 70 \text{ kg/m}^2 * 77 \text{ m}^2$$

$$CV = 5390 \text{ kg}$$

#### C. Peso de los Largueros:

$$w_{\text{larg}} = 37.20 \text{ kg/m} * 30 \text{ m}$$

$$w_{\text{larg}} = 1116 \text{ kg}$$

#### D. Peso del techo:

$$W_{\text{techo}} = W_{\text{lam.}} * A_{\text{exp.}}$$

$$W_{\text{techo}} = 8.6 \text{ kg/m}^2 * 77 \text{ m}^2$$

$$W_{\text{techo}} = 662.2 \text{ kg}$$

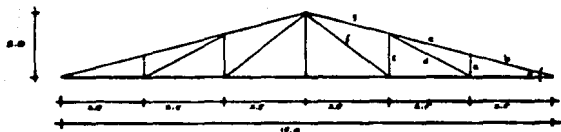
E. Peso de la Armadura:

Se utilizará ángulo de acero estructural A.S.T.M. A-36,  
de las siguientes medidas:

$$2 \frac{1}{2} " * 3/16 " \quad (\text{segun manual AHMSA})$$

$$\text{Peso} = 4.61 \text{ kg/m}$$

La armadura tendrá el siguiente arreglo:



por lo tanto, tenemos que:

$$\theta = 14.9 \text{ grados}$$

$$\tan \theta = a / 2.5 ; \quad a = 2.5 * \tan \theta$$

$$a = 0.67 \text{ m}$$

$$\text{sen } \theta = a / b ; \quad b = 0.67 / \text{sen } \theta$$

$$b = 2.59 \text{ m}$$

$$\tan \theta = c / b ; \quad c = 5 * \tan \theta$$

$$c = 1.33 \text{ m}$$

$$d = \text{sqr} ( c^2 + (2.5)^2 ) ; \quad d = 2.83 \text{ m}$$

$$e = \text{sqr} ( c^2 + (5)^2 ) - b ; \quad e = 2.59 \text{ m}$$

$$f = \text{sqr} ( 4 + (2.5)^2 ) ; \quad f = 3.20 \text{ m}$$

$$g = \text{sqr} ( 4 + (7.5)^2 ) - e - b ; \quad g = 2.59 \text{ m}$$

sumando las longitudes de media armadura, se tiene:

$$L = 2 + a + b + c + d + e + f + g$$

$$L = 2 + 0.67 + 2.59 + 1.33 + 2.83 + 2.59 + 3.20 + 2.59$$

$$L = 17.8 \text{ m}$$

por lo tanto:

$$W_{\text{arm}} = \text{peso} * L$$

$$W_{\text{arm}} = 4.61 \text{ kg/m} * 17.8 \text{ m}$$

$$W_{\text{arm}} = 82.058 \text{ kg}$$

CARGA TOTAL:

$$WT = W + CV + W_{\text{larg}} + W_{\text{techo}} + W_{\text{arm}}$$

$$WT = 7394.43 + 5390 + 1116 + 662.2 + 82.058$$

$$WT = 14,644.68 \text{ kg} \quad (14.6 \text{ ton})$$

### C O L U M N A S

Las columnas se construirán de canal doble de acero estructural A.S.T.M. A - 36 con las siguientes dimensiones:

Canal : 6 " \* 2 1/2 "

Area : 30.84 cm<sup>2</sup>

Peso : w = 24.40 kg/m

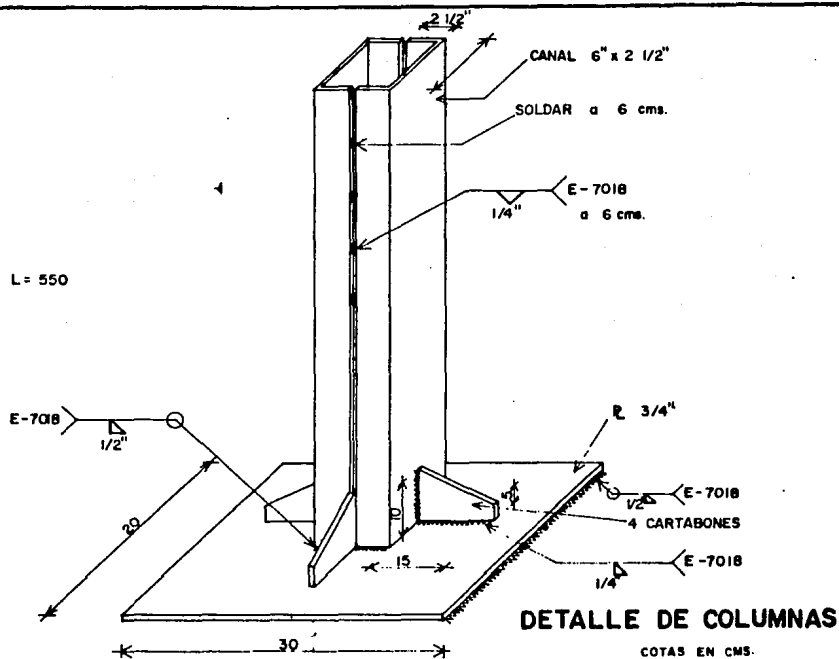
Calibre : 14 ; St = 2100 kg/cm<sup>2</sup>

Si la longitud de la columna es l = 5.5 m, se tiene que:

$$A_t = 30.84 \text{ cm}^2$$

$$r_x = 5.94 \text{ cm}$$





### 3. BASTIDOR DEL MOTOR

Para la selección y cálculo del bastidor se empleará un arreglo como el de la figura (a), compuesto por 4 vigas "I" de acero estructural A.S.T.M. A - 36, en base a lo siguiente:

Peso del motor (W) : 30 tons  
(incluye generador, aceite, rack y agua)

Peso que soporta cada patin:

$$W_p = W / 2$$

$$W_p = 30 / 2 \quad ; \quad W_p = 15 \text{ tons}$$

para la selección del patin se escoge el arreglo de una viga con carga uniformemente repartida y empotrada en sus extremos:

$$M_{\text{max}} = w * l / 24$$

$$M_{\text{max}} = 15 \text{ tons} * 8.5 / 24$$

$$M_{\text{max}} = 5.31 \text{ ton-m}$$

Para este caso se escoge una viga con las siguientes características:

$$\text{Peralte} = 18 \text{ ''}$$

$$\text{Largo} = 8.5 \text{ m}$$

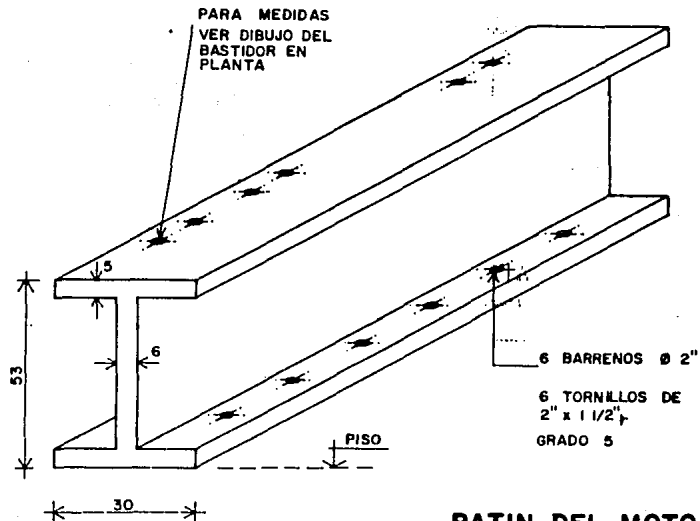
$$\text{Peso} = 95.4 \text{ kg/m}$$

$$\text{Espesor del alma} = 10.2 \text{ mm}$$

$$\text{Area del patin (A}_p) = 8.5 * 0.30$$

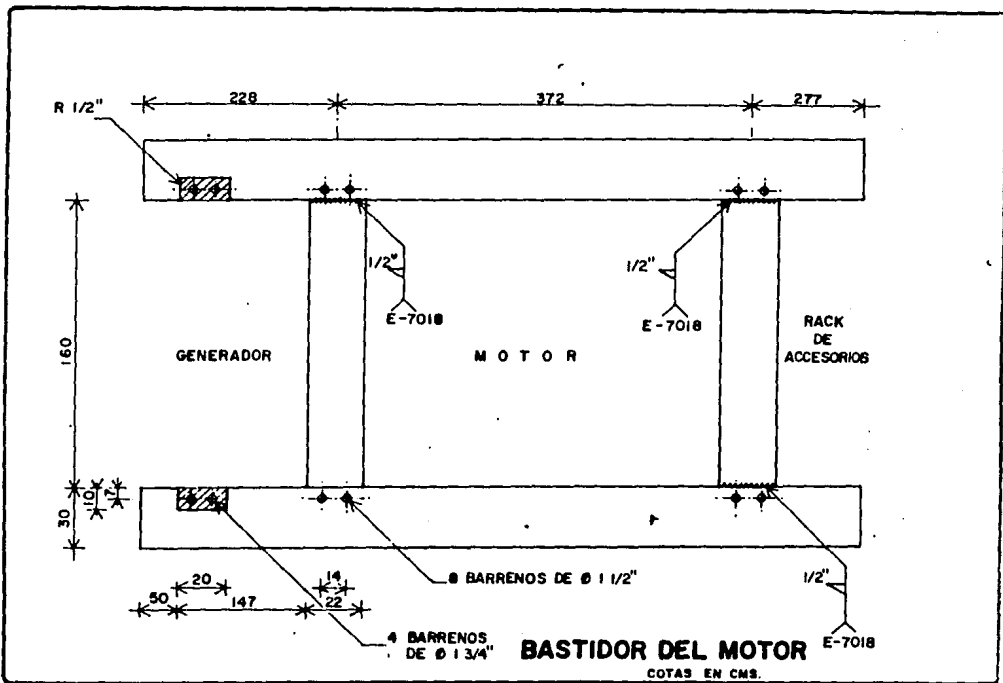
$$A_p = 2.55 \text{ m}^2$$

III



**PATIN DEL MOTOR 2 PIEZAS**

COTAS EN CMS.



Si se tiene un esfuerzo de trabajo  $St = 2100\text{kg/cm}^2$ , tenemos que la carga que soporta el bastidor es :

$$P = Ap * St$$

$$P = 255 \text{ cm}^2 * 2100 \text{ kg/cm}^2$$

$$P = 53.5 \text{ Tons} > 15 \text{ tons Ok !!}$$

pero estas dimensiones quedan sujetas a recomendaciones del fabricante, el cual recomienda un patin un poco más grande para efectos de instalación, con las siguientes medidas:

$$\text{Peralte} = 21 \frac{5}{8} \text{ ''}$$

$$\text{Ancho} = 8 \frac{3}{8} \text{ ''}$$

el cual, también cumple con las especificaciones ya obtenidas. Ver detalles en dibujo anexo.

#### 4. SISTEMA DE VENTILACION (admisión de aire)

##### a) Dimensiones de la sala:

$$\text{Claro} = 15 \text{ m}$$

$$\text{Largo} = 20 \text{ m}$$

$$\text{Altura} = 7.5 \text{ m}$$

$$\text{Volúmen de la sala (Vs)} = \text{claro} * \text{largo} * \text{altura}$$

$$Vs = 15 * 20 * 7.5$$

$$Vs = 2250 \text{ m}^3 \quad (79505.30 \text{ ft}^3)$$

##### b. Carga Térmica:

$$\text{- Motor} = 16,334.38 \text{ btu/min} \quad (17550.51 \text{ KJ/min})$$

$$\text{- Generador} = 3465.80 \text{ btu/min} \quad (3656.67 \text{ KJ/min})$$

- Compresor = 3000.0 btu/min (3165,2 KJ/min)
- Tableros = 3% de los KW de diseño  
     Tableros = 2100 \* 0.03 = 63 KW \* 1/0.0176  
     Tableros = 3579 btu/min (3776,11 KJ/min)
- \* TOTAL = 26379.18 btu/min (28872.01 KJ/min)

c. Especificaciones Complementarias

- Aire para la combustión: 9223 CFM
- Flujo de gases de escape: 13700 CFM
- Presión de entrada: 760 mmHg
- Temperatura de entrada: 30 grados Centígrados
- Velocidad del motor: 900 rpm
- Temperatura de salida: 363 grados Centígrados

d. Condiciones del Lugar

- Temperatura de Bulbo Seco: 30 C (98.6 °F)
- Temperatura de Bulbo Húmedo: 26 C (97 °F)
- Presión Barométrica: 760 mmHg
- Altura SNM: 20 m
- Volúmen Específico: 14.45 ft<sup>3</sup>/lb (0.9023 m<sup>3</sup>/kg)
- Diferencia de Temperaturas: T = 10 °C recomendable

e. Aire a Manejar para la Extracción

3% del calor disipado de la carga instalada:

$$2100 \text{ kw} * 0.03 * 1/0.0176 = 3579 \text{ btu/min}$$

$$\text{CFM} = (\text{btu/min} * \text{vol. esp.}) / (0.24 * T * 1.8)$$

$$\text{CFM} = (26,379 * 14.45) / (0.24 * 10 * 1.8)$$

$$\text{CFM} = 88,235.91 \text{ cfm} \quad (24988.40 \text{ m}^3/\text{min})$$

Cambios por hora:

$$\text{No. de cambios} = 88,235.91 * 60 / V_s$$

$$\text{No. de cambios} = 66.58 = 67 \text{ cambios/hora}$$

f. Entrada de Aire Filtrado

$$Q_a = 88,235.91 + 9223$$

$$Q_a = 97458.91 \text{ CFM}$$

$$\text{Area de Filtración} = Q_a / \text{Vel. Ent.}$$

$$\text{Area de Filtración} = 97458 \text{ CFM} / 550 \text{ fpm}$$

$$\text{Area de Filtración} = 177 \text{ ft}^2 \quad (16.44 \text{ m}^2)$$

$$\text{No. de filtros} = A_f * A \text{ filtros}$$

$$\text{No. de filtros} = 177 \text{ ft}^2 * 4.75 \text{ ft}^2$$

$$\text{No. de filtros} = 37$$

g. Velocidad de Filtración

$$A_f = 177 \text{ ft}^2$$

$$V_f = Q_a / A_f \quad ; \quad V_f = 97458.21 / 177$$

$$V_f = 554.31 \text{ fpm} \quad (168.99 \text{ m/min})$$

h. Factor por Densidad (para el motor y extractores)

$$\text{- Temperatura de operación} = 37 \text{ }^\circ\text{C} \quad (97.8 \text{ }^\circ\text{F})$$

$$\text{- Altitud} = 20 \text{ m}$$

$$FT = (\text{temp. deseada} + 460) / (\text{temp. B.S.} + 460)$$

$$FT = (70 \text{ }^\circ\text{F} + 460) / (98.6 + 460)$$

$$FT = 0.94 = y$$

$$FA = (0.99 * \text{Pres. Abs.}) / 760$$

$$FA = (0.99 * 760) / 760$$

$$FA = 0.99 = z$$

Factores de corrección por densidad del aire:

$$F.C. = 1 / (y * z) \text{ donde } y, z = \text{factores de diseño}$$

$$F.C. = 1 / (0.94 * 0.99)$$

$$F.C. = 1.07 \quad ; \quad SP = 1.07 \text{ para el motor}$$

Para los extractores:

$$\text{Temp.} = 47 \text{ C } (116 \text{ F})$$

$$FT = (70 + 460) / (116 + 460)$$

$$FT = 0.91$$

$$FA = 0.99 * 760 / 760$$

$$FA = 0.99$$

$$FC = 1 / (0.99 * 0.91)$$

$$FC = 1.11 \text{ para el extractor}$$

Buscando en las referencias y en base a los valores anteriores se tiene:

$$Spc = 1.11 * 0.48 = 0.532$$

$$Spc = 1/2 \text{ " (extractor de } 1/2 \text{ " de presión)}$$

#### i. Selección de Extractores

Con los valores anteriores se selecciona el siguiente equipo de extracción para la sala de máquinas:



## EXTRACTORES.

Capacidad: 48 000 CFM (1359.36 m<sup>3</sup>/m) c/u vs 1/2" CA

2 Extractores ARMEE

Tamaño 49 VANE AXIAL V - BELT DRIVE

15 HP

692 rpm

## 5. SISTEMA DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE

Para el suministro de combustible se instalará el siguiente equipo:

- \* Tanque principal de combustible
- \* Tanque de consumo diario
- \* Bomba
- \* Tubería y accesorios

Para el dimensionamiento de los tanques, es necesario obtener el consumo diario de combustible utilizado por el motor, bajo las siguientes condiciones:

- \* Velocidad del motor: 900 rpm
- \* Tiempo de consumo: 24 hr
- \* Carga del motor: 75% promedio diario
- \* Capacidad de la bomba del motor: 0.039 m<sup>3</sup>/min

por lo tanto:

Consumo = 4.5 gal/min \* 60 min/hr \* 24 hr/día

Consumo = 6480 gal/día (59.74 m<sup>3</sup>/día)

como la máquina no utiliza el 100% del combustible suministrado por la bomba sino que solo utiliza aproximadamente el 75%; el combustible restante es regresado al tanque de consumo diario através de la posición de retorno que debe estar alejada de la posición de suministro, la cual, debe mantener la temperatura a 90 F , para evitar pérdidas de potencia. Por lo que:

$$\text{Consumo} = 6480 \text{ gal/día} * 0.75$$

$$\text{Consumo} = 4860 \text{ gal/día} * 3.785 \text{ lt/gal}$$

$$\text{Consumo} = 18395.1 \text{ lt/día}$$

En base a esta capacidad se propone un tanque de consumo diario con las siguientes dimensiones:

$$\text{Volúmen} = 25000 \text{ lt}$$

$$\text{Volúmen} = 25 \text{ m}^3$$

El tanque es cilíndrico, con las siguientes mdeidas:

$$\text{Diámetro (d)} = 2.5 \text{ m}$$

$$\text{Vol} = (3.1416 * (d)^2 / 4) * l$$

$$l = (\text{Vol.} * 4) / (3.1416 * (d)^2)$$

$$l = (25 * 4) / (3.1416 * (2.5)^2)$$

$$l = 5.09 \text{ m}$$

En base a este cálculo, el tanque principal tendrá las siguientes dimensiones:

$$\text{Capacidad} = 45000 \text{ lt} \quad (40 \text{ m}^3)$$

$$\text{Diámetro} = 3 \text{ m}$$

$$l = (\text{Vol.} * 4) / (3.1416 * (d)^2)$$

$$l = (45 * 4) / (3.1416 * (3)^2)$$

$$l = 6.36 \text{ m}$$

Se instalará una bomba para llenar el tanque de consumo diario, que en base a los detalles de instalación, tiene las siguientes características. (Segun fabricante):

Longitud de la tubería = 11 m

Accesorios: 5 "T"

2 Válvulas de compuerta

Bomba: BOMBA DE ENGRANES

MARCA: VIKING

POTENCIA DEL MOTOR: 1/2 HP

MARCA: SIEMMENS

MODELO: 632

ALIMENTACION: MONOFASICA

VELOCIDAD: 1750 rpm

1 / 60 HZ / 127 V

CAPACIDAD: 0.04 m<sup>3</sup>/min

CARGA MAXIMA: 13.71 m

DIAMETRO SUCCION: 1 1/2"

DIAMETRO DE DESCARGA: 1 1/2 "

La alimentación del tanque de consumo diario al motor será por gravdead. Los diámetros de la tubería así como los accesorios se mencionan en el plano anexo.

#### 6. ALMACENAMIENTO DE AGUA DULCE

El motor utiliza agua dulce para su sistema de enfriamiento, por lo que se dispondrá de un tanque de agua para necesidades del motor y usos en general.

Este tanque será cilíndrico con una capacidad de 5000 lt, con las siguientes dimensiones:

$$\text{Vol} = 5 \text{ m}^3$$

$$d = 1.5 \text{ m}$$

$$l = (\text{Vol} * 4) / (3.1416 * (d)^2)$$

$$l = (5 * 4) / (3.1416 * (1.5)^2); \quad l = 2.82 \text{ m}$$

#### 7. SISTEMA DE ARRANQUE.

El sistema de arranque recomendado por el fabricante es un sistema neumático de tipo dual (doble marcha); la selección del compresor y el tanque de almacenamiento se hace en base a los siguientes datos:

\* No. de motores = 2

\* Presión requerida en el tanque de aire = 1020 Kpa

\* Caída de presión permitida en la línea = 68 Kpa

\* Capacidad para el tanque de almacenamiento = 0.9345 m<sup>3</sup>

\* Flujo de aire requerido = 0.5097 m<sup>3</sup>/seg

\* Diámetro de la tubería = 1 1/2 "

En base a estos datos se selecciona el siguiente equipo neumático:

COMPRESOR:            Marca:    INGERSOLL - RAND

                          Modelo:    IR - 783

                          Potencia:  10 HP

                          Presión:    175 psig

                          Encendido: AUTOMATICO

                          Alimentación: TRIFASICA    440 / 220 V

Tiempo de recuperacion: 7 segundos

Capacidad del tanque de almacenamiento: 1000 lt (1 m<sup>3</sup>)

## 8. SISTEMA DE ESCAPE

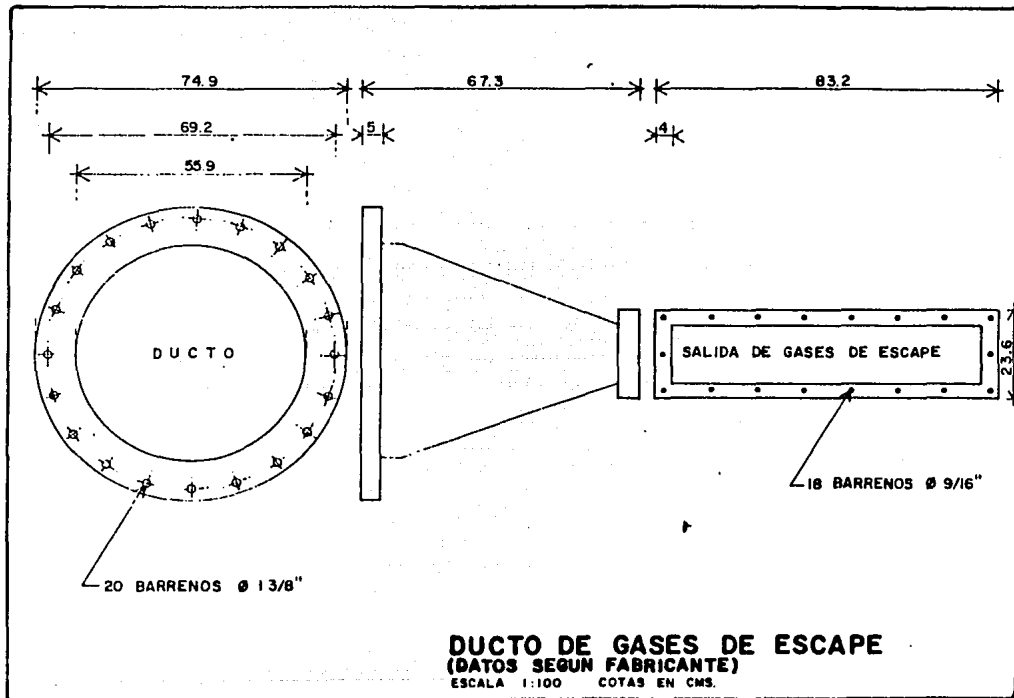
Los detalles de la tubería de gases de escape se explican en los siguientes dibujos:

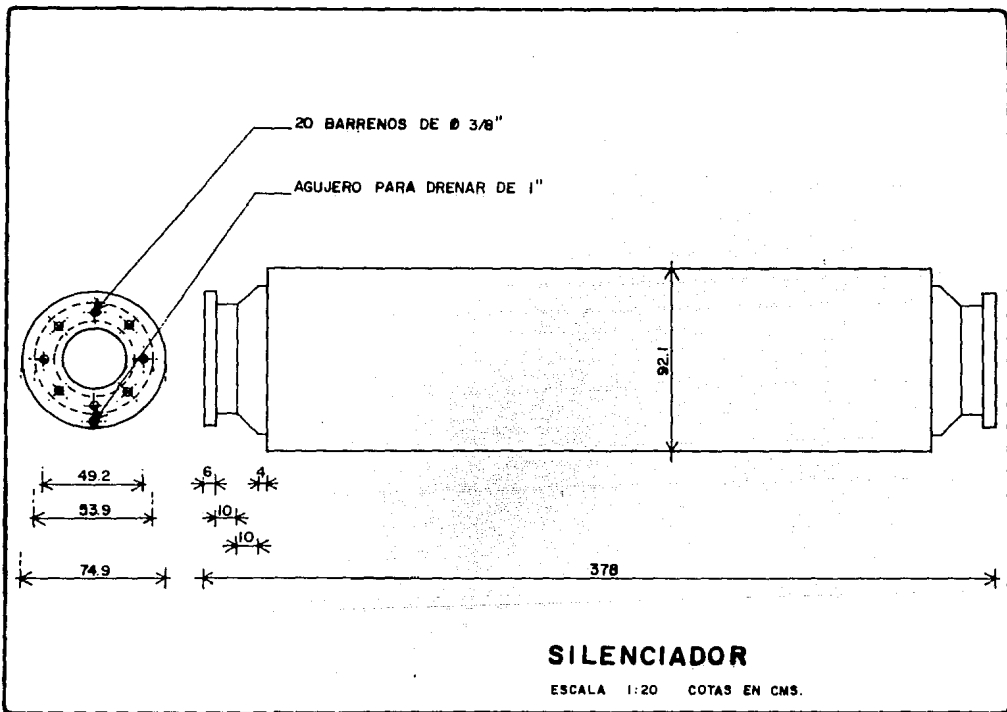
## 9. DISPOSITIVOS DE PROTECCION

Estos dispositivos son instalados en el motor con la finalidad de evitar problemas mayores en el motor, deteniendo este en caso de que suceda algún problema en cualquiera de sus sistemas. Los dispositivos principales son los siguientes:

1. DETECTOR DE PRESION EN EL CARTER
2. DETECTOR DE BAJO NIVEL DE AGUA
3. DISPARO DE SOBREVOLOCIDAD
4. SOLENOIDE DE APAGADO DEL MOTOR

Además de estos dispositivos, se encuentran también, todos los indicadores de presión, temperatura, niveles, etc. Que muestran las condiciones de operación del motor; las cuales deben de ser checadas continuamente para evitar algún problema más serio.





## CAPITULO V

### ANALISIS ECONOMICO

El análisis económico de cualquier proyecto de ingeniería representa una parte fundamental para el desarrollo del mismo.

Dicho análisis debe contemplar diferentes conceptos que se deben de tomar en cuenta al elaborarlo, éstos conceptos son los siguientes:

1. Costos de materiales
2. Costos de equipo
3. Costo de mano de obra
4. Costo de instalación
5. Costo de transporte
6. Costo de mantenimiento

A continuación se definen los costos (Octubre de 1991) de cada concepto para hacer un balance económico general del proyecto:

#### 1. MATERIALES

Acero estructural	\$ 12,374,140.00
Placa	\$ 1,000,000.00



Tornillería	\$ 1,000,000.00
Otros	\$ 5,000,000.00
<b>2. TRANSPORTE</b>	<b>\$180,000,000.00</b>
<b>3. EQUIPO</b>	
Motor - Generador	\$ 1,500,000,000.00
Tanques	\$ 30,000,000.00
Compresor	\$ 13,000,000.00
Tableros de control	\$ 30,000,000.00
Sistema de ventilación	\$ 90,000,000.00
Accesorios	\$ 10,000,000.00
<b>4. MANO DE OBRA E INSTALACION</b>	<b>\$ 165,000,000.00</b>
<b>5. MANTENIMIENTO (1 año)</b>	<b>\$ 1,650,000,000.00</b>
	-----
<b>T O T A L</b>	<b>\$ 3,687,374,140.00</b>

De lo anterior se puede concluir que para poner en operación un equipo electrógeno de estas dimensiones se necesitan aproximadamente \$ 4,000,000,000.00 , lo que puede paracer un costo alto pero que se puede recuperar en un periodo de tiempo relativamente corto debido a la aplicación de este equipo.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo de tesis arroja las siguientes conclusiones:

1. Los principios de la Mecánica, como ciencia, serán aplicados en una infinita gama del quehacer tecnológico de la humanidad.
2. El análisis, tanto de los principios de operación como de los diferentes sistemas que componen a las máquinas antes mencionadas, representa un soporte técnico para la operación correcta y duradera de estos equipos.
3. Para una verídica y exacta selección de máquinas diesel es necesario tomar en cuenta varios factores, tales como las condiciones ambientales y las condiciones de operación que darán la pauta para que el equipo trabaje según las necesidades requeridas.
4. Hoy en día, la infinita aplicación de estas máquinas, representa para el hombre un soporte tecnológico muy importante ya que generalmente se diseñan y construyen para trabajar en condiciones difíciles, tanto de operación como ambientales.

5. Los conocimientos técnicos adquiridos durante nuestra carrera, nos coloca ante la posibilidad de desarrollar al máximo acciones pragmáticas que justifiquen nuestros esfuerzos de profesionalización.

6. En el caso particular de los motores de combustión interna, los principios de las leyes universales de la mecánica, son ejemplo claro del desarrollo de la imaginación creativa del ser humano.

7. El reto para los ingenieros significa que no sólo deberá pensarse en la aplicación de los conocimientos adquiridos, sino el formar un criterio profesional para resolver los grandes problemas tecnológicos que día a día cambian y se generan en el ámbito de la ciencia.

## B I B L I O G R A F I A

1. MARKS MANUAL DEL INGENIERO MECANICO. Baumeister, Avallone  
Mc Graw Hill.
2. MANUAL DE SERVICIO PARA MOTORES DIESEL SERIES 53,71,92 Y  
149. General Motors Company
3. FLUJO DE FLUIDOS. Crane  
Mc Graw Hill.
4. BOMBAS SELECCION. USO Y MANTENIMIENTO. Kenneth McNaughton  
Mc Graw Hill.
5. COMPRESORES SELECCION USO Y MANTENIMIENTO. Richard Greene  
Mc Graw Hill.
6. MACHINERY HANDBOOK.
7. DIBUJO Y DISEÑO DE INGENIERIA. Jensen.  
Mc Graw Hill.
8. INYECCION DIESEL. J. Miguel Pla Prades.  
Ceac.
9. COMPENDIO DEL MANUAL A.H.M.S.A. Altos Hornos de México.
10. MOTORES DE COMBUSTION INTERNA. Deward F. Oberg
11. GM ELECTRO - POWER SPECIFICATIONS. G.M.
12. MANUAL DE APLICACION E INSTALACION DE MOTORES E. M. D.  
SERIE 645. General Motors Company Diesel Division.
13. MANUAL DEL MOTOR E.M.D. 645 TURBOCARGADO. G. M.
14. TERMODINAMICA Y SUS APLICACIONES. Van Wylen.