

# **Universidad Nacional de Ingeniería**

- FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



## **“ Implementación de un Sistema de Protección y Mando Electromecánico para Compresores de Gas Natural en Petromar S. A. ”**

**T E S I S**

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**ARCADIO TUME CHUNGA**

PROMOCION: 1981 - 1

**LIMA . PERU . 1991**

# CONTENIDO

## I INTRODUCCION

## II DESCRIPCION DE OPERACIONES

2.1. Generalidades

2.2. Descripción de la unidad motor-compresor

2.3. Alcances del estudio

## III PARAMETROS DE CONTROL DEL MOTOR Y COMPRESOR

3.1. Generalidades

3.2. Parámetros de control del motor

3.2.1. Circuito de refrigeración

3.2.2. Circuito de lubricación

3.2.3. Sistema de admisión (aire)

3.2.4. Sistema de ignición

3.2.5. Sistema de gas combustible

3.2.6. Sistema de gases de escape

3.2.7. Conjunto de monoblock

3.3. Parámetros de control del compresor

3.3.1. Circuito de refrigeración

3.3.2. Circuito de lubricación

3.3.3. Sistema de succión del gas natural

3.3.4. Sistema de descarga del gas comprimido

## IV SELECCION Y DISEÑO DEL SISTEMA ELECTROMECHANICO

4.1. Generalidades

- 4.2. Fuente de suministro de energía
  - 4.2.1. Tensión
  - 4.2.2. Potencia
- 4.3. Trazado de los circuitos
- 4.4. Procedimiento de cálculo
  - 4.4.1. Número de circuitos
  - 4.4.2. Relés o equipos instalados
  - 4.4.3. Potencia instalada
  - 4.4.4. Máxima demanda
  - 4.4.5. Cálculo de la corriente
  - 4.4.6. Caída de tensión
  - 4.4.7. Selección de conductores
  - 4.4.8. Cálculo del diámetro de tuberías
- 4.5. Cálculo del circuito motor-compresor
- 4.6. Tablero general
  - 4.6.1. Subtableros

## **V MONTAJE Y ENSAMBLE**

- 5.1. Especificaciones técnicas de materiales
  - 5.1.1. Conductores
  - 5.1.2. Empalmes
  - 5.1.3. Tuberías
  - 5.1.4. Accesorios para tuberías
  - 5.1.5. Cajas
  - 5.1.6. Elementos de control
  - 5.1.7. Tableros

5.1.7.1. Subtableros

5.1.8. Puesta a tierra

5.2. Especificaciones técnicas de montaje

5.2.1. Conductores

5.2.2. Tuberías

5.2.3. Elementos de control

5.2.4. Tablero de control

5.2.5. Colocación de accesorios

5.2.6. Pruebas

5.2.7. Aplicación de normas

## VI ESTIMACION DE COSTOS Y PRESUPUESTOS

Conclusiones

Bibliografía

Planos

Apéndices

## PROLOGO

Particularmente en la Compañía PETROLEOS DEL MAR S.A. (PETROMAR S.A.) se utilizan muchos compresores para comprimir gas natural, los cuales son accionados por motores que aprovechan como combustible el propio gas que producen los pozos de petróleo, tanto en operaciones tierra como en el Zócalo Continental.

Los motores son de gran potencia, desde 140 a 1,800 HP, - trabajando a velocidades comprendidas entre 600 y 1000 RPM con compresores que comprimen desde 1,000 a 7,000 MCFPD, con presiones de succión de 3 a 20 PSI y descarga de 35 a 3,000 PSI, según las necesidades de uso. Como se podrá imaginar son grandes unidades que requieren un control muy cuidadoso de cada uno de los componentes de los sistemas y accesorios, como son :

Sistema de lubricación

Sistema de enfriamiento

Sistema de aire-combustible

Conjunto block-motor

Conjunto block-compresor

Sistema de succión y descarga de gas

Tablero de control

Motivado por la necesidad de contar con un informe técnico de un sistema óptimo de control, protección y mando

de las unidades (motor-compresor) de gas natural que se utilizan en los diversos procesos de la industria de producción de gas natural y petróleo, nos llevó a desarrollar este trabajo que es materia de la presente tesis.

El estudio se basa en el control de los parámetros y/o datos de operación obtenidos de las placas características de cada uno de los accesorios y/o equipos, de tal manera que nos permitan operar con el máximo de rendimiento, con fiabilidad y seguridad, lo cual redundará en una mayor producción de gas y petróleo y a la vez en la mejor conservación de las maquinarias de la empresa.

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

Los compresores de gas natural, impulsados por motores que consumen el gas producido por los propios pozos petroleros, son máquinas térmicas que representan en gran parte el potencial de extracción de los recursos energéticos del subsuelo, básicamente derivados del petróleo.

Estas máquinas por su capacidad potencial son una importante preocupación para el Departamento de Mantenimiento, significando un costo y tiempo de reparaciones, así como también una cantidad de barriles de petróleo que se dejaría de producir en caso de una falla. Esta preocupación fue lo que nos llevó a desarrollar un estudio del sistema de protección y mando para mantener el buen funcionamiento de los mismos.

El sistema consiste en ejercer un control sobre las máquinas, de tal manera que trabajen dentro de los rangos técnicos recomendados y si se presenta alguna anomalía, ésta pare automáticamente y registre en el tablero de control el motivo de la falla, así como la posibilidad de emitir alguna señal o alarma que indique que dicha unidad queda fuera de servicio. Al llegar el personal técnico a poner en servicio la máquina, éstos tomarán las medidas correc

tivas del caso.

El sistema desarrollado en este trabajo puede ser fácilmente aplicado a la diversa gama de maquinarias complementarias que se usan en la empresa, como son :

Generadores eléctricos

Calderas de vapor

Equipo de bombeo en general, etc.

El estudio se basa en los rangos de trabajo, criterios y datos de las placas características de los propios equipos y/o accesorios y de los suministrados por algunos fabricantes, principalmente en lo que se refiere a elementos de control; de esta forma se obtienen los resultados que se presentan en forma de descripción, explicación y tablas en las diferentes partes de la presente tesis.

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento al personal de la Superintendencia de M & R de PETROMAR S.A. quienes me han brindado todo su apoyo. Al mismo tiempo quiero agradecer al ingeniero Gilberto Becerra Arévalo por haberme asesorado y apoyado en la ejecución del presente trabajo.



## CAPITULO II

### DESCRIPCION DE OPERACIONES

#### 2.1. GENERALIDADES

El presente estudio tiene por objeto diseñar un circuito óptimo para ejercer el control, protección y mando de las unidades compresoras de gas natural empleados en la empresa PETROLEOS DEL MAR S.A. que está dedicada a la exploración, explotación y producción de petróleo y gas natural; hidrocarburo que es la fuente energética para el desarrollo del país.

En base a los datos de rangos de operación se van a seleccionar los elementos de control y protección. ¿Dónde y porqué se usa un compresor de gas natural? Cuando se ha concluido la perforación y completación de un pozo petrolero, existen dos posibilidades, que son :

**Pozo fluente :** cuando la presión del reservorio es mayor que la presión ejercida por la columna de fluidos sobre él, por lo tanto, el crudo fluye sólo al exterior.

**Pozo muerto :** cuando la presión del reservorio es menor o igual que la presión ejercida por la columna de fluido sobre él, por lo tanto, no puede fluir

al exterior y requiere darle energía para poder extraer (producir) el preciado crudo "petróleo".

La transmisión de energía se puede dar mediante varios métodos :

Inyección de gas a alta presión (sistema inyección gas Lift).

Inyección hidráulica con crudo.

Inyección hidráulica con agua salada.

Instalación de unidades de bombas de subsuelo, etc.

En la empresa lo más desarrollado y con la que mejores resultados se están obteniendo es el sistema de Inyección gas Lift y son los compresores de gas natural los que nos proveen esta energía. Los compresores toman el gas proveniente de los separadores de producción, los cuales han separado el crudo y gas respectivamente, tomándolo a succiones de 5 a 20 PSI y lo descargan de 800 a 3,000 PSI, según sea el requerimiento.

## 2.2. DESCRIPCION DE LA UNIDAD MOTOR-COMPRESOR

Los motores a gas que normalmente se usan son de las siguientes marcas :

WAUKESHA (WA.)

SUPERIOR (SUP.)

FAIBANK MORSE (F.M.)

Los compresores de gas normalmente usado son de las siguientes marcas :

INGERSOLL-RAND (I.R.)

WORTHINGTON (W.O.)

A continuación se detallarán mayores datos específicos referentes a los motores (ver tabla N° 1).

Actualmente la empresa cuenta con 58 unidades distribuidas en su mayoría en el Zócalo Continental, - los cuales están montados sobre plataformas.

Sea cual fuere el modelo y marca del motor-compresor, las principales partes de control son las siguientes :

#### **MOTOR**

Circuito de refrigeración:	Principal Auxiliar
Circuito de lubricación :	Prelubricación Principal
Sistema de combustión :	Admisión Ignición Escape
Conjunto de placa base :	Mono block Complementos

#### **COMPRESOR**

Circuito de refrigeración:	Mecanismo del compresor del gas comprimido
Circuito de lubricación :	Prelubricación Principal

**TABLA N° 1**

ITEM	MARCA MOTOR	MODELO MOTOR	BHP (HP)	# CIL. MOTOR	MARCA COMP.	MODELO COMPRES.	# ETAPAS	# CILIND. COMPRESOR.
1	WA	F-1197	137	6	IR	KOA1	1	2
2	WA	H-2475	263	8	IR	2RDH2	2	2
3	WA	L-7042	881	12	IR	3RDS3	3	3
4	WA	L-7042	881	12	IR	3RDS3	3	3
5	WA	L-7042	881	12	WO	OFSH3	3	4
6	WA	L-7042	881	12	WO	OFSH4	4	4
7	WA	L-7042	881	12	IR	4RDS1	1	4
8	WA	P-9390	1174	16	IR	4RDS3	3	4
9	SU	8G-825	860	8	IR	3RDS3	3	3
10	SU	126-825	1200	12	WO	OFGH4	4	4
11	FM	6G-RT	1350	6	IR	4RDS3	3	4
12	FM	6G-RT	1350	6	IR	4RDS3	3	4
13	FM	6G-RT.	1350	6	IR	4RDS4	4	4
14	FM	6G-RT	1350	6	IR	4RDS4	4	4
15	FM	8G-RT	1800	8	IR	4RDS3	3	4

NOTA: Los motores FM son de pistones opuestos (2 pistones x cilindro) sigue...

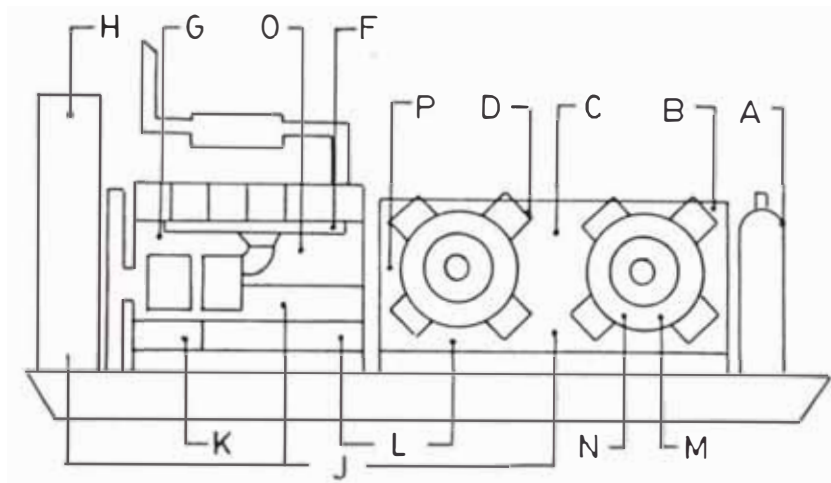
**Continuación Tabla N° 1**

<b>ITEM</b>	<b>DIAMETRO CILINDROS pulg.</b>	<b>PRES. SUC. PSI</b>	<b>PRES. DESC. PSI</b>	<b>CAPACIDAD MCFPD</b>	<b>RPM</b>
1	11.5 x 11.5	3	35	1000	900
2	15 x 7.5	15	400	1250	1000
3	20.5 x 9.5 x 7	20	1000	3290	1000
4	20.5 x 9.5 x 5	20	2000	2500	1000
5	15.5 x 15.5 x 10 x 6	20	1000	3300	1000
6	15.5 x 10 x 6 x 4.25	20	2000	2500	1000
7	15 x 15 x 15 x 15	20	150	7000	1000
8	20.5 x 20.5 x 15 x 9.5	15	650	7000	1000
9	20.5 x 9.5 x 5	20	2000	2500	900
10	18.5 x 10.75 x 6 x 5	20	2500	3760	900
11	20.5 x 20.5 x 13 x 7	20	1000	5740	900
12	15 x 15 x 9.5 x 5	20	2000	3000	900
13	20.5 x 11.5 x 6 x 3.75	20	3000	2800	900
14	23 x 11.5 x 7.5 x 4.5	20	2500	4470	900
15	15 x 15 x 9.5 x 5	20	2000	3000	900

Sistema de compresión : Succión  
Inter etapas  
Descarga

Conjunto de placa base : Block  
Complementos

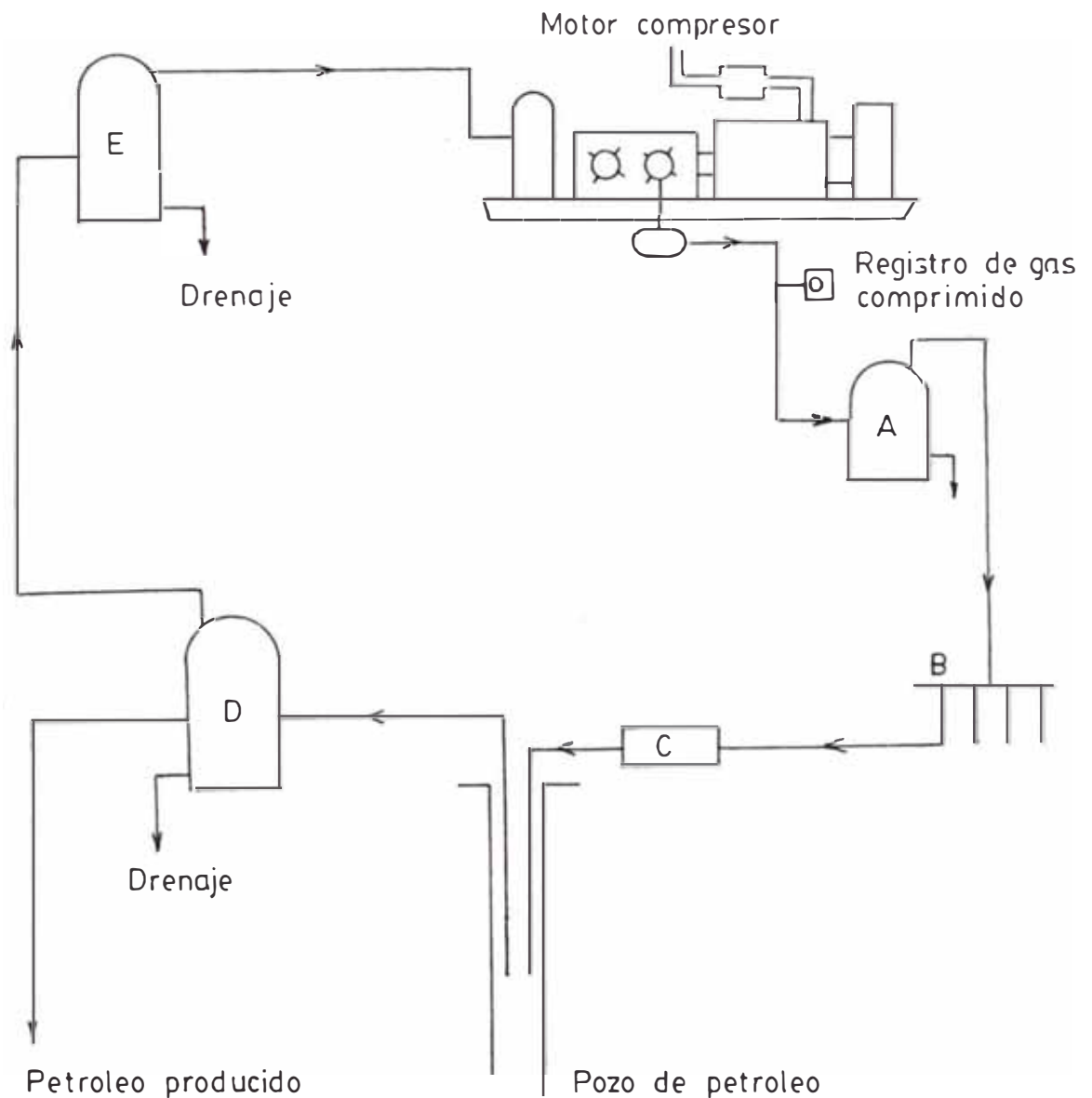
#### LISTA DE COMPROBACION PARA CONTROL DE COMPRESORES



- A - Nivel líquido del scrubber de succión
- B - Nivel de aceite de los inyectores de lubricación
- C - Presión de agua del compresor
- D - Temperatura de agua del compresor
- F - Temperatura de agua del motor
- G - Presión de agua del motor
- H - Nivel de agua del radiador
- J - Vibración de motor-enfriador y compresor
- K - Cierre de emergencia de la válvula de gas combustible.
- L - Nivel de aceite del motor y compresor
- M - Temperatura del gas de descarga

- N - Presión del gas de proceso
- O - Presión del aceite del motor
- P - Presión del aceite del compresor

Figura N° 1 : DIAGRAMAS DE FLUJO: USO DEL COMPRESOR



- A : Scrubber de alta presión
- B : Manifold de gas Lift
- C : Regulador de inyección-otis
- D : Separadores petróleo-gas
- E : Scrubber de baja presión

### 2.3. ALCANCES DEL PROYECTO

Tal como se mencionó anteriormente, la finalidad fundamental del presente estudio es la de diseñar un circuito eléctrico que permita ejercer el control, protección y mando de los compresores de gas natural, dotándolas de efectivos sistemas de protección para su normal funcionamiento, dentro de las especificaciones recomendadas por los fabricantes, así como también la de brindar máxima seguridad a los operadores de dichas máquinas.

El proyecto está constituido por la selección de los equipos que mejor se adecuan a nuestras operaciones, teniendo en cuenta que ya se tienen ciertos modelos y marcas de elementos protectores trabajando. Se selecciona nuestra fuente de alimentación de corriente, propulsado por el mismo motor, se controla con criterio los parámetros más representativos del motor y compresor, se calcula el sistema de cableado para cada elemento de control y protección se selecciona cada tipo de elemento y se recomienda el montaje de los equipos e instalaciones.



## CAPITULO III

### PARAMETROS DE CONTROL DEL MOTOR Y COMPRESOR

#### 3.1. GENERALIDADES

El estudio de los parámetros de control del motor y compresor tienen la finalidad de conocer y determinar los accesorios, elementos o principales partes constitutivas de la máquina donde se va a instalar un sistema de protección.

#### 3.2. PARAMETROS DE CONTROL DEL MOTOR

Los motores empleados son de combustión interna, de dos y cuatro tiempos, clasificados en la serie de alta potencia (hasta 1,800 BHP), mediana velocidad (hasta 900 RPM), de aspiración natural y turbo alimentados. Todos ellos usan como combustible el gas natural producido por los pozos, luego de ser secado (filtrado).

Cualquiera que sea el modelo o tipo de motor está equipado con su sistema de refrigeración, sistema de combustión, conjunto de monoblock y de los principios operacionales que lo rigen.

### 3.2.1. Circuito de refrigeración del motor

Para disipar eficazmente el calor generado por el motor se emplea un sistema de enfriamiento cerrado, donde una bomba de agua del tipo centrífugo - hace circular el refrigerante del motor a lo largo de todo su circuito donde recoge todo el calor, de allí se envía a un sistema externo de enfriamiento (radiador) donde se disipa el calor y desde donde vuelve a recircular por el trabajo de la bomba.

Convencionalmente el refrigerante es del tipo líquido (agua tratada) y la bomba es impulsada por el mismo motor.

La circulación del refrigerante la podemos identificar en dos zonas :

**Circulación interna (dentro del motor):** El agua - ingresa al motor por el distribuidor (manifold) a lo largo de todo el block, circulando alrededor - de cada camisa del cilindro de potencia, luego fluye a refrigerar culatas, manifold (colector) - de escape y finalmente sale a través de un solo ducto con dirección a la caja de válvulas termostáticas.

**Circulación externa (fuera del motor):** cuando el agua sale del motor pasa a la caja de válvulas

termostáticas, luego pasa al radiador o bypasea hacia la succión de la bomba. Lo que pasó por el radiador disipa el calor lo suficiente (de acuerdo a su propio diseño), luego, por gravedad fluye a la succión de la bomba, ésta descarga para luego pasar por los enfriadores de aceite y finalmente ingresar al motor.

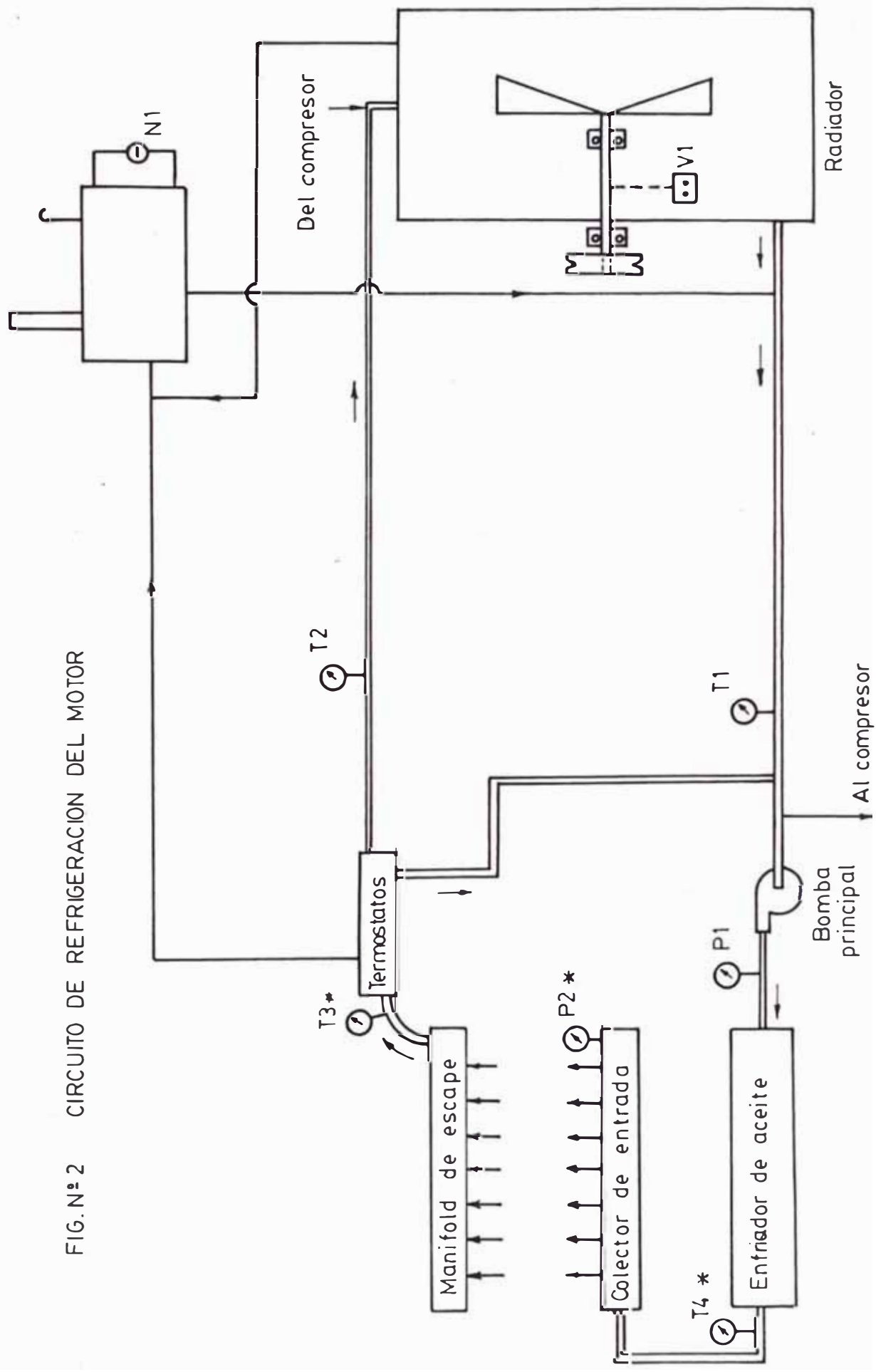
Cada fabricante nos proporciona las recomendaciones de los parámetros de funcionamiento (ver tabla N° 2), donde nosotros instalaremos los elementos de control y protección para que la máquina pare automáticamente en caso de falla y la deje registrada en el panel evitando mayores averías en caso de ser lanzada, sin haberla revisado.

Básicamente se controla los parámetros de presión, temperatura, vibraciones y niveles de agua, tal como se muestra en la figura N° 2.

**PRESION (PSI)** - A la salida de la bomba de agua (PI)  
- En el manifold de distribución (P2).

**TEMPERATURA (°F)** - Entre la línea de salida del radiador y la succión de la bomba (TI).  
- Entre la válvula termostática y el radiador (T2).  
- Entre el manifold de escape y la válvula termostática (T3).

FIG. N° 2 CIRCUITO DE REFRIGERACION DEL MOTOR



- Entre el enfriador y el colector de entrada (T4). \*

NIVEL DE AGUA EN: - Tanque de expansión del radiador (NI).

TABLA N° 2

RANGOS DEL CIRCUITO DE REFRIGERACION DEL MOTOR

MARCA	MODELO	P1(PSI) (mín.)	P2(PSI) *	T1(°F) (máx)	T2(°F) (máx)	T3(°F) *	T4(°F) *	VI	NI
WA	F-1197	12	6	165	180	180	170	0 300 Hz, máximo: 0. G	De acuerdo a la capacidad del tanque.
WA	H-2475	12	6	165	180	180	170		
WA	L-7042	15	6	165	180	180	170		
WA	I-9390	15	6	165	180	180	170		
SUP	8G-825	20	10	165	185	185	170		
SUP	12G-825	30	10	165	185	185	170		
F.M.	6GRT	60	30	145	165	165	150		
F.M.	8GRT	60	30	145	165	165	150		

- Tenemos que como elemento del circuito de refrigeración está el radiador, en este caso, tenemos dos tipos de radiador: el vertical que usa un solo ventilador y el horizontal que usa tres o más ventiladores y que el funcionamiento de éstos va a depender del estado en que se encuentren las chumaceras, elementos de acoplamiento y ventiladores, los cuales

\* Son parámetros referenciales, más no de control.

son controlados por el nivel de vibración que producen en la estructura de la misma.

### **3.2.2. Circuito de lubricación del motor**

Para prolongar la vida útil de todas las piezas expuestas a fricción, disminuir las pérdidas por rozamiento, refrigeración, sellado, etc. se emplea un sistema de lubricación casi siempre mixto forzado y salpicado.

El aceite lubricante es circulado por una bomba de presión del tipo de engranaje, montada en el interior e impulsada por el mismo motor.

El aceite es succionado por la bomba desde el carter; la descarga de la bomba pasa a ser enfriado a un intercambiador (enfriador de aceite), continúa su paso por los filtros, luego ingresa a las galerías internas que distribuyen a cada uno de los elementos móviles del motor, donde paulatinamente va sufriendo caída de presiones, debido a la expansión que sufre al lubricar, para finalmente ir cayendo al carter, donde nuevamente es recirculado por la bomba.

Es muy importante conocer el tipo de lubricación utilizado en cada motor porque nos ayudará a detectar las principales fallas y problemas que se generen.

Cada fabricante nos dá las recomendaciones de los pa  
rámetros de funcionamiento (ver tabla N° 3), donde  
nosotros instalaremos los elementos de control y pro  
tección para que la máquina pare automáticamente en  
caso de falla y la deje registrada, evitando mayores  
averías en caso de ser lanzada.

Básicamente se controla los parámetros de presión, -  
temperatura y niveles de aceite, como se muestra en  
la figura N° 3.

PRESION (PSI) - A la salida de la bomba (P3)  
- A la salida de los filtros de acei  
te y entrada del motor (P4)  
- A la entrada de los filtros de a-  
ceite (P5)

TEMPERATURA(°F) - A la entrada de la válvula termos-  
tática (T5). \*  
A la salida del enfriador de acei-  
te (T6). \*

NIVELES DE ACEITE-Nivel de aceite del carter, con  
válvula automática de reposición  
(N2)

-----

\* Son parámetros referenciales, más no de control.

FIG.N° 3 CIRCUITO DE LUBRICACION DEL MOTOR

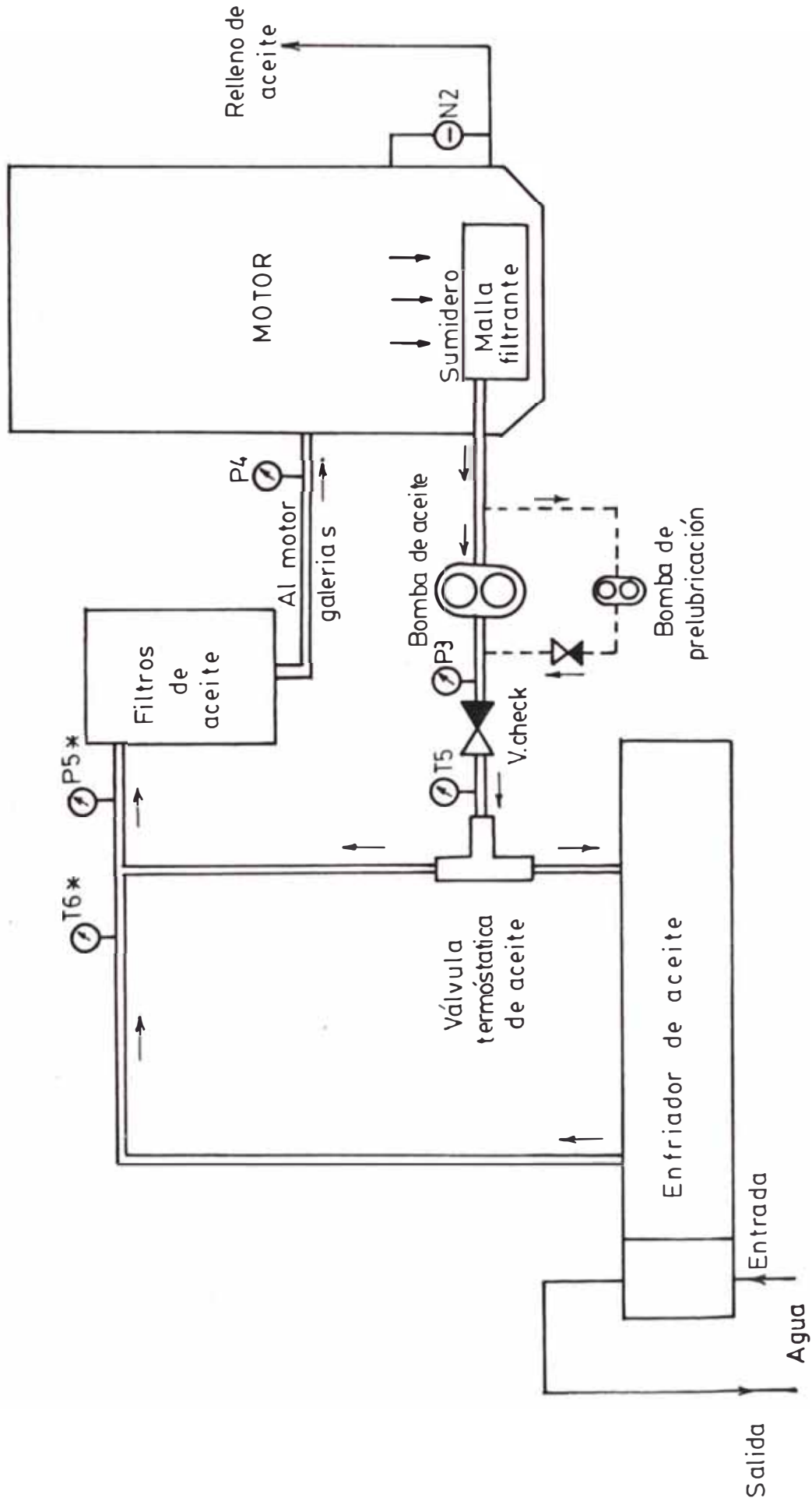




TABLA N° 3  
RANGOS DEL SISTEMA DE LUBRICACION DEL MOTOR

MARCA	MODELO	P3(PSI) (mín)	P4(PSI) (mín)	P5(PSI)	T5(°F) (máx)	T6(°F) *	N2
WA	F-1197	50	35	45	185	165	I
WA	H-2475	50	35	45	185	165	N
WA	L-7042	60	45	55	185	165	D
WA	P-9390	60	45	55	185	165	I
SUP	8G-825	60	35	45	200	175	C
SUP	12G-825	60	35	45	200	175	A
F.M.	6GRT	70	45	60	185	160	D
F.M.	8GRT	70	45	60	185	160	O

### 3.2.3. Sistema de admisión de aire

La importancia de no dejar entrar al motor aire cargado de polvo y arenilla, no debe descuidarse, el aire limpio es esencial para el funcionamiento satisfactorio del motor y para una vida prolongada del mismo.

Tanto los motores de aspiración natural, como turbos alimentados, usan los depuradores de aire (filtros), pudiendo ser del tipo seco o húmedo, - según sea la necesidad. Deben tener la capacidad suficiente para retener el material separado del aire y permitir su operación por un período de

tiempo razonable, antes de tener que limpiarlo. El polvo y la suciedad que entran a un motor causarían el desgaste rápido de los anillos de pistón, las camisas de cilindros y los pistones, así como el mecanismo de las válvulas, con una correspondiente pérdida de potencia y alto consumo de aceite lubricante, así como otros problemas que acarrearán una combustión incompleta.

Podemos analizar los esquemas de los motores de aspiración natural, así como los sobrealimentados. En el motor de aspiración natural, básicamente se controla la caída de presión excesiva acusada por la restricción, debido a los filtros sucios (P6). En el motor asobrealimentado se controla la caída de presión por restricción, así como los parámetros de presión (P7) y temperatura (T7) del aire después de haber pasado por el turbocompresor. En la figura N° 4 y tabla N° 4 se acotan los parámetros de control.

**TABLA N° 4**

**PARAMETROS DE ADMISION DE AIRE**

MARCA	MODELO	P6(H20") * (mínimo)	P7(PSI)*	T7(°F)
WA	L-7042	15"	3-6	80
WA	P-9390	15"	3-6	80

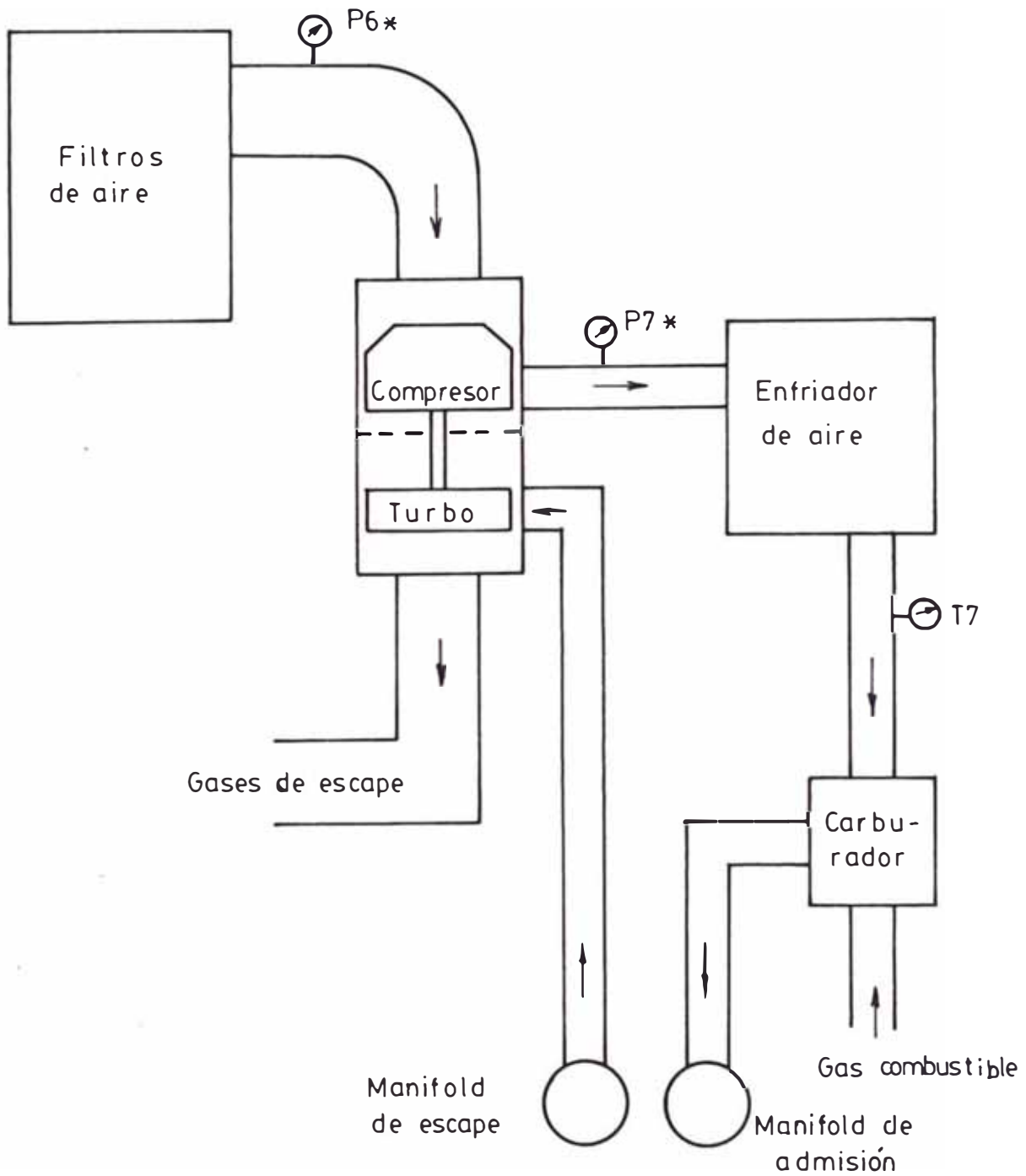


FIG. N°4 SISTEMA DE ADMISION DE AIRE

#### 3.2.4. Sistema de ignición

Son diversas las formas de aplicar el sistema encendido por chispa, en este caso específico se usa un magneto, de preferencia sin contactos (platinos).

Referencialmente veremos el sistema de ignición, dado que es la fuente generadora de energía empleada para alimentar el sistema de protección de la unidad.

El sistema de ignición sin contactos (platinos), consiste básicamente en un generador de ignición, bobinas y el cableado de interconexión.

La ausencia de contactos (platinos) y del distribuidor de alta tensión, hace que el generador de ignición, esté libre por completo de la formación de arcos internos.

El generador de ignición incluye componentes electrónicos de estado sólido, accionados por impulsos. La corriente alterna se rectifica y almacena en los capacitores. Los rectificadores de silicio controlado (SCR) funcionan como interruptores para descargar la energía almacenada a las bobinas de disparo, que produce el pequeño voltaje requerido para conectar a SCR.

Normalmente el magneto es impulsado por la transmisión de pinones que vienen de los engranes de sincronización, por lo que su puesta a punto, se realiza en concordancia con la volante, el primer cilindro y sus RPM gobernadas.

En el sistema de ignición no tenemos parámetros de control. (Ver figura N° 5).

### **3.2.5. Sistema de gas combustible**

El gas combustible usado es el propio gas producido, separado y filtrado de los pozos en el separador de baja presión, proveniente de las líneas de producción. El control se ejerce después que el gas a pasado el regulador de baja presión (ver figura N° 6), donde reduce su presión a 10-30 PSI, para ingresar a los filtros de gas combustible, eliminando humedad e impurezas sólidas, luego, ingresa a la válvula reguladora de presión, donde se ajusta a presiones diferenciales, según el tipo de motor, para disponer finalmente su ingreso del gas al carburador.

El carburador tiene como función lograr la mezcla apropiada de aire y combustible para obtener una combustión completa. Inmediatamente después del carburador, se encuentra una válvula mariposa con

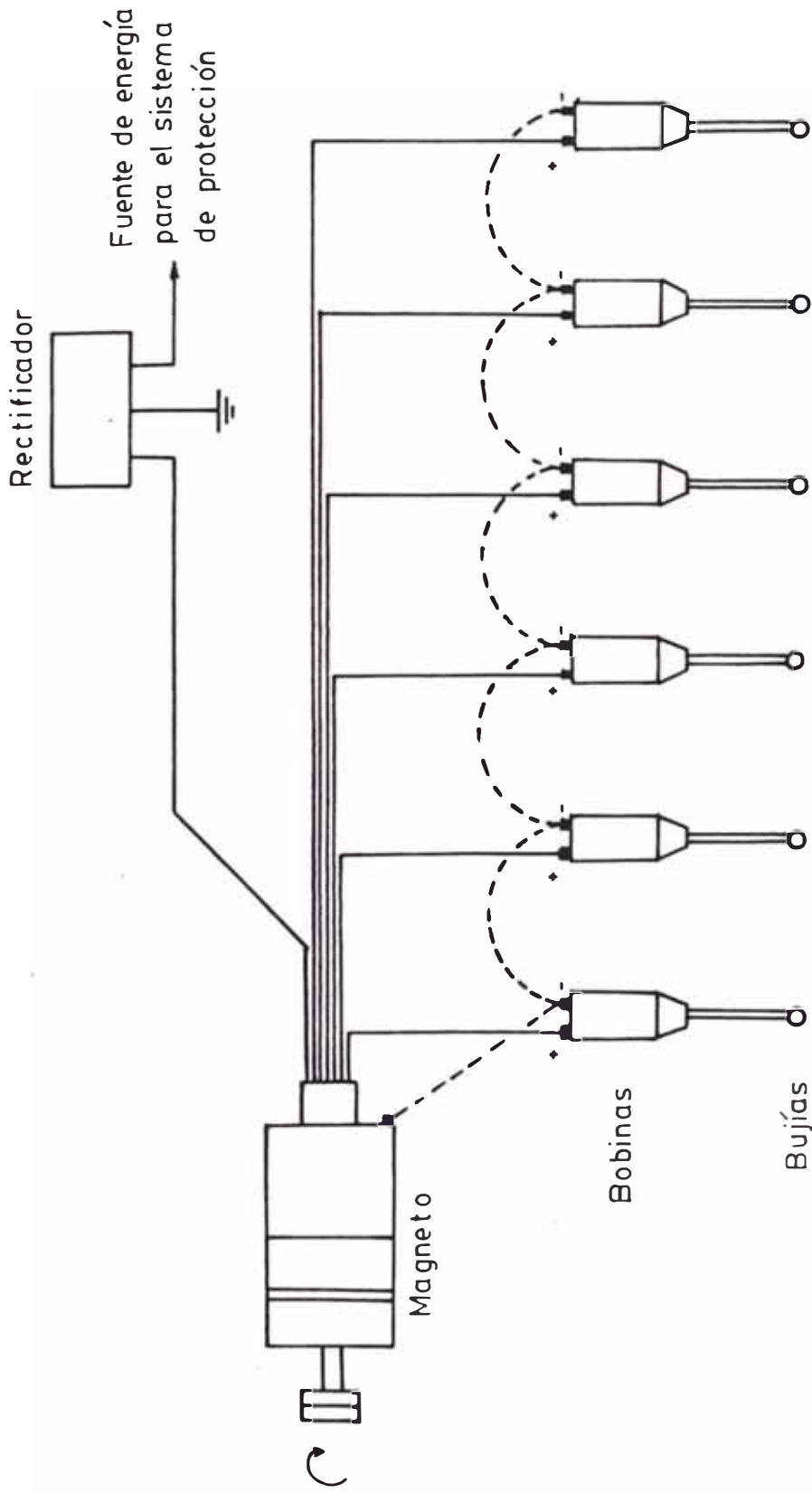


FIG. N° 5 SISTEMA DE IGNICION

trolada por el gobernador que tiene como función controlar la cantidad de mezcla aire-combustible que fluye al motor, la cual depende del ajuste del carburador de los RPM y de la carga.

La cantidad de presión de combustible al carburador, depende de la calidad del gas combustible, cuanto más alto sea su poder calorífico, menor presión de combustible se va a necesitar para mantener el cabllaje requerido.

Es muy importante el sistema de gas combustible porque entre el carburador y el manifold de admisión está instalado la válvula master de control de combustible, que es donde llega la señal de pare, ante cualquier emergencia o falla detectada por los circuitos del sistema de control y protección de la unidad motor compresor.

Adicionalmente en el sistema de combustible se controla los parámetros de presión del gas combustible (P8), (ver figura N° 6); a continuación la tabla N° 5 nos detalla los rangos establecidos, según el modelo y fabricante.

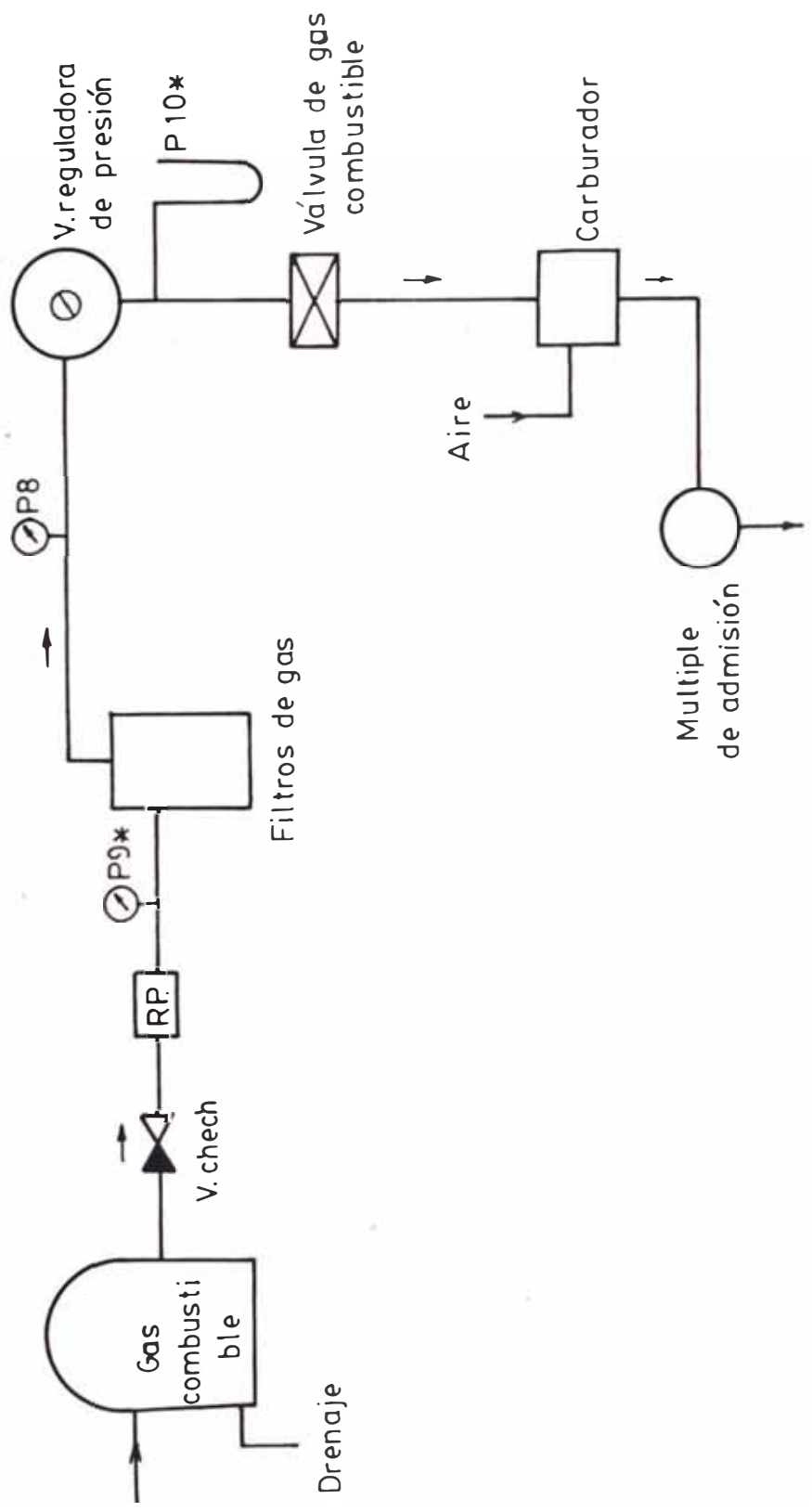


FIG.Nº 6 SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE



TABLA N° 5  
PARAMETROS DE GAS COMBUSTIBLE

MARCA	MODELO	P8(PSI)	P9(PSI)*	P10(Onz/pulg)*	N8
WA	F-1197	15	25	4	I
WA	H-2475	15	25	4	N
WA	L-7042	15	25	4	D
WA	P-9390	25	35	4	I
WA	P-9390	25	35	4	C
SUP	8G-825	35	45	4	A
SUP	12G-825	35	45	4	D
					O

### 3.2.6. Sistemas de gases de escape

Las grandes cantidades de aire empleadas en la combustión del motor se deben dejar escapar en forma adecuada, evitando al mínimo las restricciones y la resultante contrapresión en el sistema de escape.

En los motores de aspiración natural, los gases pasan directamente al silenciador y finalmente al medio ambiente.

En los motores con turbocargador los gases pasan al turbo, luego al silenciador y finalmente al medio ambiente.

La contrapresión de escape, corriente abajo del manifold de escape en los motores de aspiración natural y corriente abajo del turbocargador en los motores turboalimentados, no debe exceder una

determinada contrapresión que la indicada por el fabricante para un determinado modelo, básicamente estos parámetros de contrapresión las tomamos como referenciales, más no de control.

En la figura N° 7 se muestra el sistema de gases de escape y en la tabla N° 6 se muestran los parámetros referenciales proporcionados por cada fabricante.

Los puntos indicados con "t" en la figura N° 7, nos muestran las salidas donde se instalarán pirómetros de temperatura para verificar el buen funcionamiento de cada cilindro, siendo éstos referenciales.

TABLA N° 6  
PARAMETROS DE GASES DE ESCAPE

MARCA	MODELO	P11("H2O") (mínimo) *
WA	F-1197	18
WA	H-2475	18
WA	L-7042	18
WA	F-9390	12
SUP	8G-825	12
SUP	12G-825	12

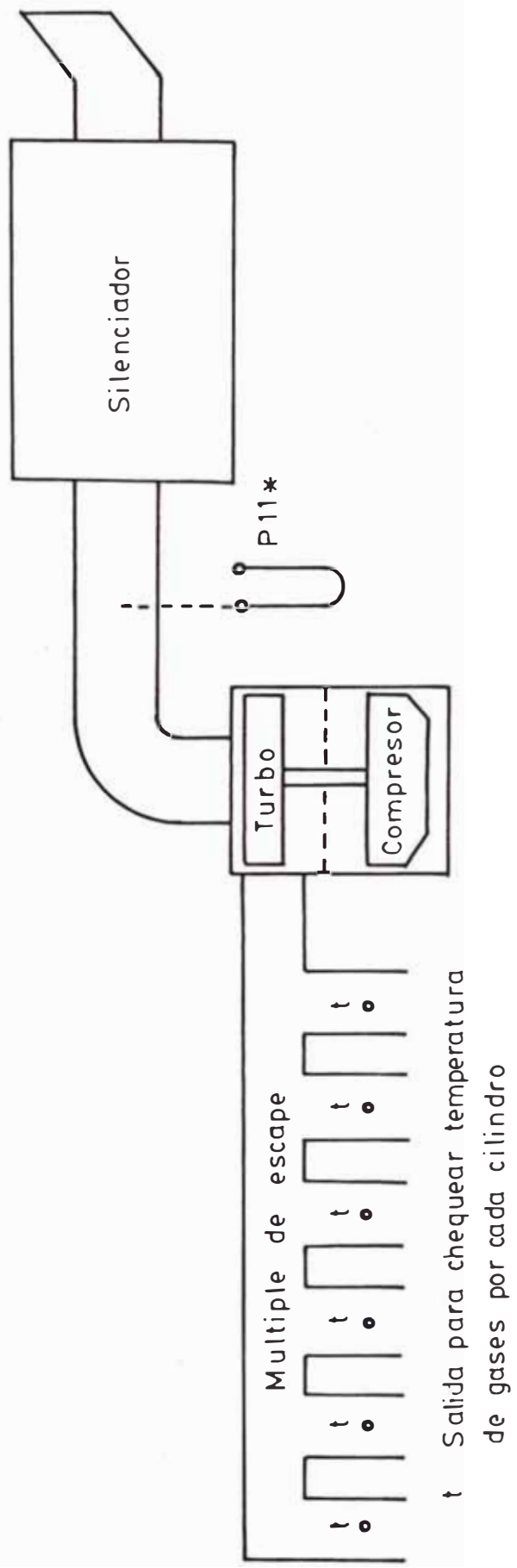


FIG. N°7 SISTEMA DE GASES DE ESCAPE

### 3.2.7. Conjunto del monoblock del motor

Está constituido por la base donde normalmente se aloja el cigueñal, salvo excepciones, se soporta en el carter.

En el interior es donde se realiza la operación de transformación de energía en movimiento, a través de la puesta en marcha de todos sus mecanismos articulados, que por propia naturaleza de su trabajo, usan ciertos niveles de vibración permisible en su funcionamiento.

En algunos casos los fabricantes alcanzan un estándar del campo de vibraciones permisibles y en otros hay que evaluar y sacar un promedio de márgenes tolerables para poder ejercer un control de vibración.

Casi siempre el desgaste de las piezas en sus diversas etapas, así como un mal alineamiento del motor compresor, aumenta los niveles de vibración que son la causa mayor en las complicaciones de las máquinas, por lo que se hace necesario la instalación de un sistema de protección contra la vibración. En la figura N° 8 se indica en que parte del monoblock se instala el elemento de control de vibración.

En el conjunto del monoblock se encuentra acoplado el gobernador, normalmente del tipo hidráulico y a éste está conectado el sistema de control de sobre velocidad, también del tipo hidráulico. La velocidad (S) de control, normalmente está fija da a 10% adicional de la velocidad nominal. (Ver apéndice I).

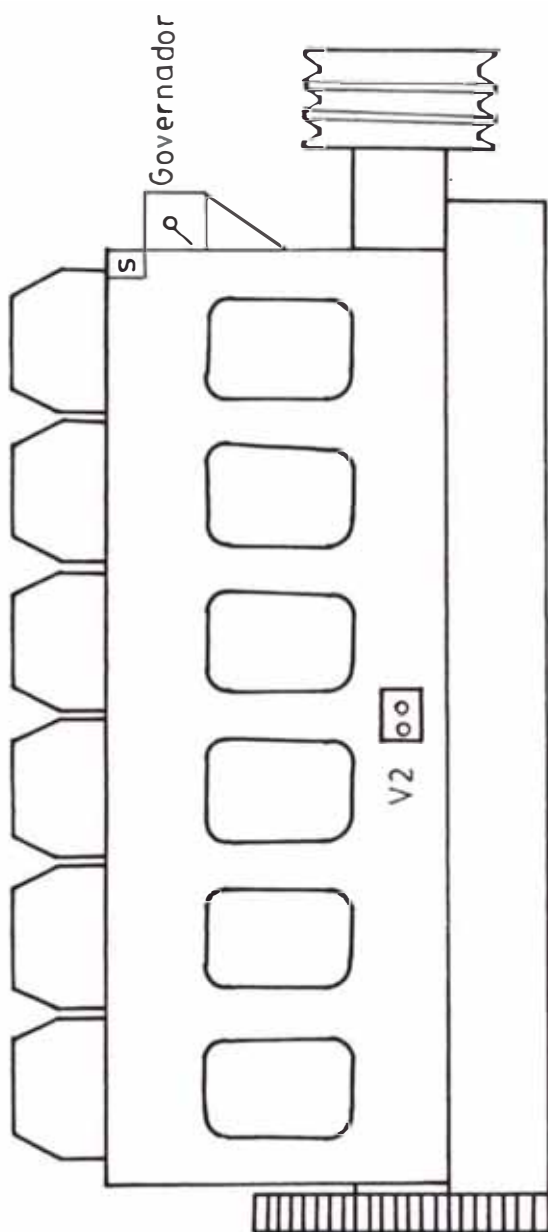


FIG. Nº 8 CONJUNTO DEL MONOBLOCK DEL MOTOR

### 3.3. PARAMETROS DE CONTROL DEL COMPRESOR

Los compresores usados son del tipo alternativo, reciprocantes de doble efecto, impulsado en este caso por motores a gas y utilizados para comprimir gas natural que se emplea en los diversos procesos y etapas de producción de petróleo.

Cualesquiera que sea la marca y modelo, tiene sus circuitos de refrigeración, lubricación y sistema de comprimido del gas, los cuales son motivo de análisis para ver donde se debe instalar su sistema de protección y control de la unidad.

#### 3.3.1. Circuito de refrigeración del compresor

Todas las unidades utilizadas son refrigeradas - por agua circulante en circuito cerrado y accionada por una bomba auxiliar de agua impulsada por el tren de poleas del motor.

El agua de enfriamiento absorbe parte del calor de compresión y de fricción de los cilindros. Se utiliza la misma agua de refrigeración del motor, alimentándose a través de una derivación antes de la succión de la bomba principal del motor; luego recorre su circuito de refrigeración, para finalmente descargar a la línea que ingresa al radiador.

En la figura N° 9 se esquematiza el circuito de refrigeración y se indican los parámetros de control, que son los siguientes :

- Presión a la salida de la bomba auxiliar (P12)
- Temperatura del agua de retorno (T8)

En la tabla N° 7 se indican los valores recomendados por el fabricante.

TABLA N° 7

PARAMETROS DEL CIRCUITO DE REFRIGERACION DEL COMPRESOR

MARCA	MODELO	P12(PSI) (mínima)	T8(°F) (máxima)
IR	4RDS4	30	185
WO	OFSH4	15	185

### 3.3.2. Circuito de lubricación del compresor

El sistema de lubricación del bastidor (block) - del compresor es similar al del motor, con la diferencia que la lubricación de los pistones es con otro circuito de alta presión; primeramente veremos el sistema de lubricación del bastidor (ciguenal y bie las con sus respectivos metales y crucetas) y posteriormente el sistema de lubricación de los pistones.

- a) El circuito de lubricación del bastidor es un circuito cerrado y forzado circulado por una

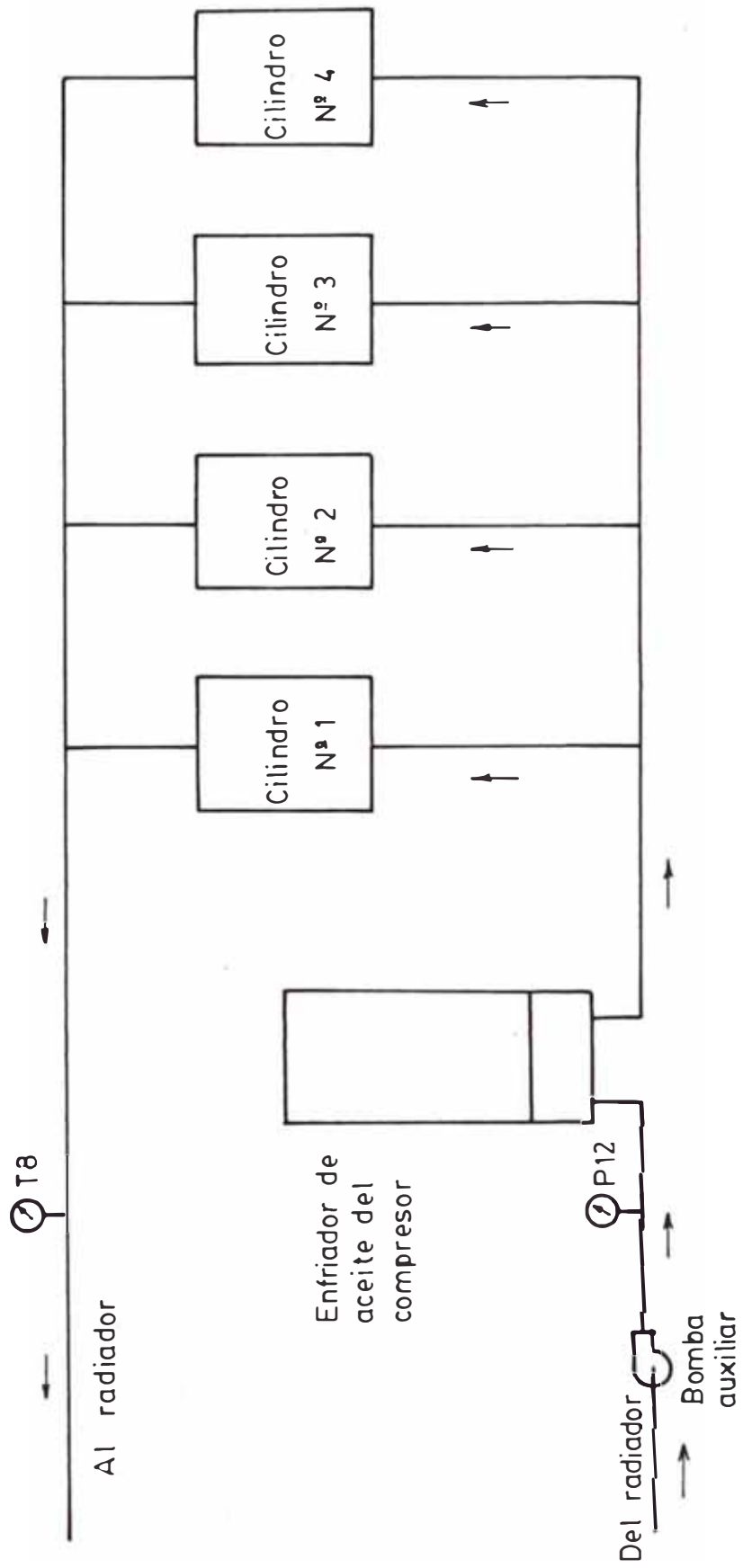


FIG. Nº 9 CIRCUITO DE REFRIGERACION DEL COMPRESOR



bomba del tipo de engranaje, puesto que los bastidores del compresor no están sometidos a altas temperaturas y no tienen los problemas de depósito de carbón de combustión, como sucede en los motores, el mantenimiento del sistema no tiene mayores problemas.

En la figura N° 10 mostramos el circuito del bastidor, indicando los parámetros de control y sus valores permisibles, de acuerdo a recomendaciones del fabricante (tabla N° 8). Dichos parámetros de control son los siguientes :

- Presión de aceite del compresor (P13)
- Presión de aceite antes del filtro para chequear su caída de presión (P14). \*
- Temperatura de aceite del compresor (T9)
- Temperatura aceite después del enfriador para chequear su enfriamiento (T10). \*
- Nivel de aceite del carter del compresor (N3).

-----

\* Son parámetros referenciales, más no de control.

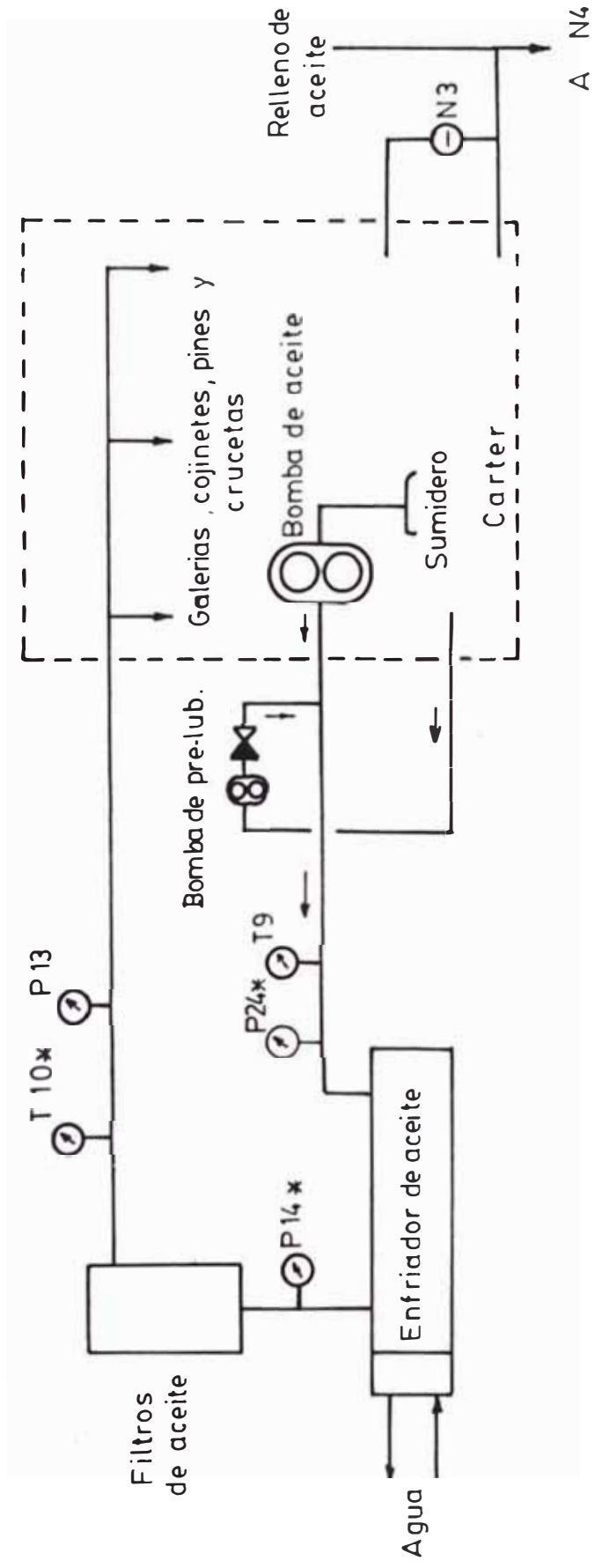


FIG. N° 10 CIRCUITO DE LUBRICACION DEL COMPRESOR

TABLA N° 8

MARCA	MODELO	T9(°F) (máx.)	T10(°F) *	P13(PSI) (mínima)	P14(PSI) *	P24(PSI)
IR	RDS todos	180	160	55	70	75
WO	OFSH todos	180	165	45	60	65

b) El circuito de lubricación de los pistones, se realiza con un sistema de alta presión y no se trata del sistema normalmente llamado cerrado, puesto que todo el aceite que pasa a través del mismo, no se recupera; normalmente es removido por la corriente de gas del cilindro del compresor, por lo tanto se vuelve aceite perdido. El diseño del sistema varía según la aplicación y las condiciones operacionales del compresor, dado que el aceite no se recircula, sino que su suministro es por inyección a gota.

La caja de inyectores de lubricación es accionada por una transmisión por cadena del cigueñal, en la caja hay un árbol de levas que acciona a cada una de las bombas-inyectores de aceite.

En esta parte es donde se debe tener en cuenta que la presión de inyección de aceite para lubricar la barra y pistón, siempre debe ser mayor o igual que la presión del gas que se está comprimiendo en ese cilindro o etapa.

En la figura N° 11 se muestra un esquema de funcionamiento y se indica donde deben ir instalados los elementos de control.

En la tabla N° 9 se acotan los rangos de funcionamiento para un caso específico.

TABLA N° 9

PRESIONES DE INYECTORES DE LUBRICACION

MARCA	MODELO	P15(PSI)	P16(PSI)	P17(PSI)	P18(PSI)
I.R	RDS gral.	80	200	400	800
W.O	OF5H	60	150	300	600

### 3.3. CONJUNTO DEL BASTIDOR DE COMPRESOR

El bastidor es el conjunto donde aloja al cigueñal, bielas, crucetas y soporta al amarre (anclaje) de los cilindros del compresor; tan igual como el mono block del motor, por efecto del trabajo que realiza está sujeto a un nivel de vibración que se produce y que puede causar ciertos daños sino son controlados.

En la figura N° 12 mostramos el lugar más adecuado para instalarle un elemento de control de vibraciones que será calibrado para detectar un nivel permisible, según recomendación del fabricante o estadística según experiencia (ver el monograma de vibra -

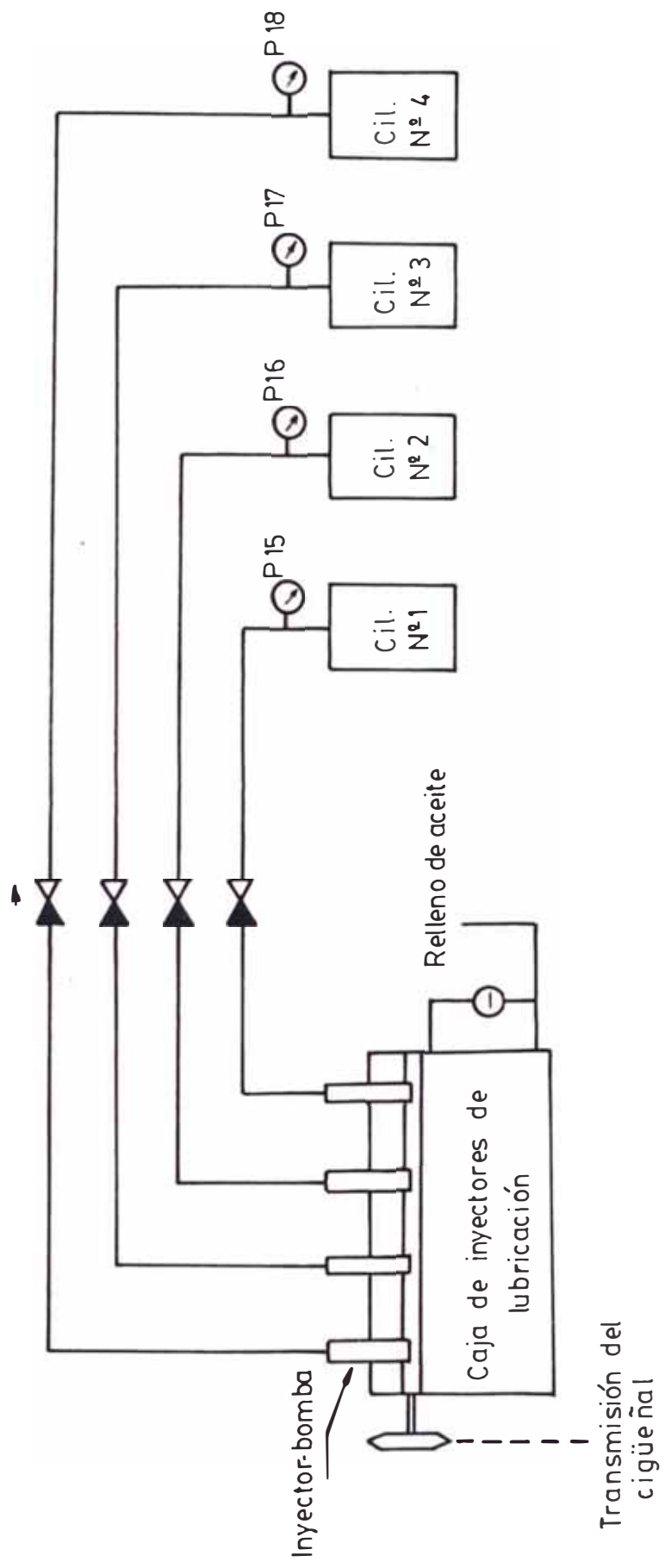


FIG. N° 11 COMPLEMENTO DEL CIRC.DE LUBRICACION DEL COMPRESOR

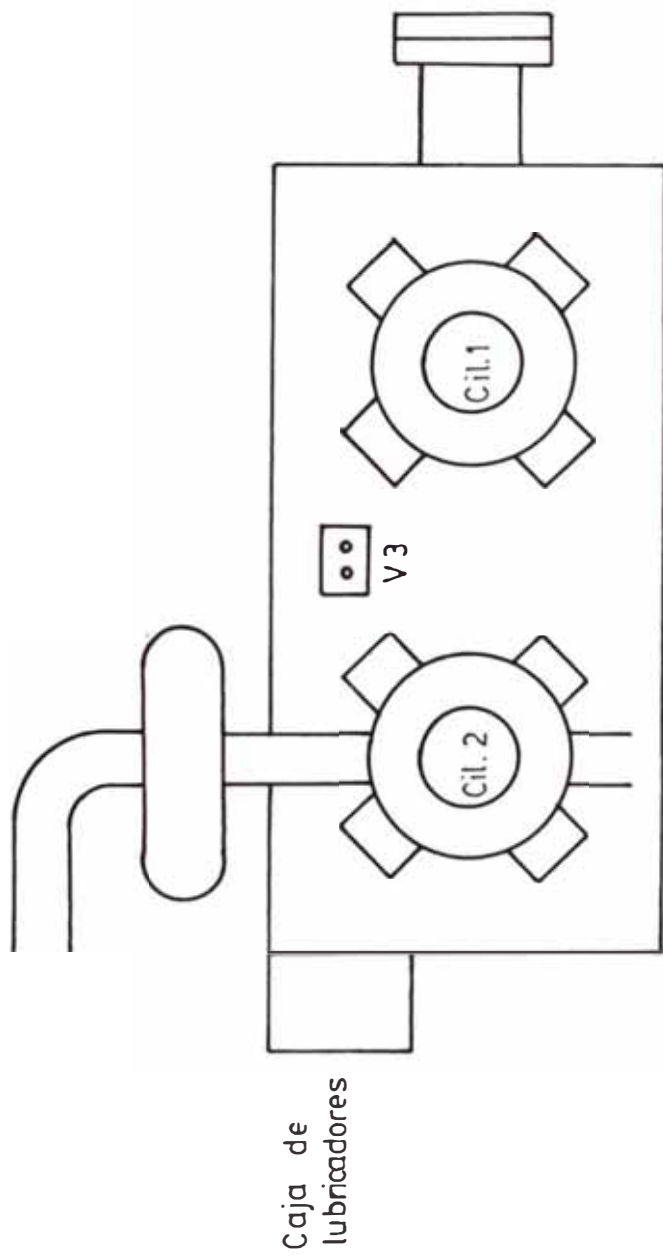


FIG. Nº 12 CONJUNTO DEL BASTIDOR DEL COMPRESOR

ciones del Apéndice I).

#### **3.3.4. Sistema del ciclo de comprimido del gas natural**

El gas natural que es recibido del scrubber de baja presión se hace pasar por un filtro de malla - para detener alguna impureza propia de la tubería o sustancia parafínica, luego pasa al scrubber de succión, donde se elimina la humedad y condensados para ingresar a la cámara de succión del cilindro de la primera etapa, donde es comprimido y descargado a determinada presión y temperatura, en estas condiciones el gas pasa a un enfriador, luego pasa al scrubber de la segunda etapa y empieza una nueva etapa de compresión, éstas pueden ser de dos, tres o cuatro etapas, según el requerimiento.

Al inicio y final de cada etapa tenemos al gas con diferentes condiciones de presión y temperatura que serán los parámetros de control del compresor.

En la figura N° 13 mostramos un esquema del ciclo de gas comprimido y señalamos los puntos donde se instalarán los elementos de control. Asimismo en la tabla N° 10 se acotan los rangos permisibles - para el buen funcionamiento, según los fabricantes.

En los scrubber de succión de cada interetapa se ha instalado una boya de control de nivel de líquidos condensados, que también actúan como control y drenaje automático.

En cada etapa se controla :

- a) Succión P (PSI)
- b) Descarga P (PSI)
- c) Temperatura de entrada (°F)
- d) Temperatura de salida (°F)
- e) Nivel de líquido del scrubber de succión

**TABLA N° 10**

**PARAMETROS DE CONTROL DEL CICLO DEL GAS COMPRIMIDO**

MARCA	IR	WO
MODELO	3RDS3	OF5H3
P 19(PSI)*	22	22
P 20(PSI)	20	20
P 21(PSI)	100	80
P 22(PSI)	400	350
P 23(PSI)	900	850
T 10(°F)*	80	80
T 11(°F)	250	175
T 12(°F)*	90	90
T 13(°F)	200	225

\* Parámetros referenciales

sigue ....



Continuación de la tabla N° 10 :

T 14(°F)*	90	90
T 15(°F)	250	275
T 16(°F)*	90	90
N 5	Indicado	Indicado
N 6	Indicado	Indicado
N 7	Indicado	Indicado

### 3.3.5. Resumen de parámetros de control

a) El motor tiene instalados 14 relés de control, que son como sigue :

#### **PRESION**

P 1 = mínima presión de la bomba de agua principal (sistema de refrigeración)

P 3 - mínima presión de la bomba de aceite

P 4 - mínima presión de aceite que ingresa al sistema de lubricación (galerías)

P 8 - mínima presión de gas combustible para el funcionamiento del sistema de combustión

S = máxima RPM del motor

#### **TEMPERATURA**

T 1 = máxima temperatura del agua de entrada a la bomba principal

T 2 - máxima temperatura del agua de salida del motor

T 5 - máxima temperatura del aceite a la salida de la bomba

T 7 - máxima temperatura del aire de ingreso al carburador.

#### VIBRACION

V 1 = máxima nivel de vibración permisible en el sistema de ventiladores

V 2 - máxima nivel de vibración permisible en el motor del motor

#### NIVEL DEL LIQUIDO

N 1 = mínimo nivel de agua permisible en el Tk. auxiliar del radiador

N 2 - mínimo nivel de aceite permisible en el carter del motor

N 8 - máximo nivel de líquidos condensados en el scrubber de gas combustible.

b) El compresor tiene instalados 21 relés de control , que son como sigue:

#### PRESION

P 12 = mínima presión de la bomba de agua auxiliar (sistema de refrigeración)

P 13 - mínima presión de aceite que ingresa al sistema de lubricación (galerías)

P 15 - mínima presión de aceite del inyector que lubrica al cilindro N° 1

P 16 - mínima presión de aceite del inyector que lubrica al cilindro N° 2

- P 17 - mínima presión de aceite del inyector que lubrica al cilindro N° 3
- P 18 - mínima presión de aceite del inyector que lubrica al cilindro N° 4
- P 20 - alta o baja presión de succión del gas natural que ingresa al compresor
- P 21 - alta o baja presión del gas comprimido en la primera etapa del compresor
- P 22 - alta o baja presión del gas comprimido en la segunda etapa del compresor
- P 23 - alta o baja presión del gas comprimido en la tercera etapa del compresor

### **TEMPERATURA**

- T 8 - máxima temperatura del agua de salida del compresor
- T 9 - máxima temperatura del aceite a la salida de la bomba
- T 11 - máxima temperatura del gas comprimido en la primera etapa del compresor
- T 13 - máxima temperatura del gas comprimido en la segunda etapa del compresor
- T 15 - máxima temperatura del gas comprimido en la tercera etapa del compresor.

### **VIBRACION**

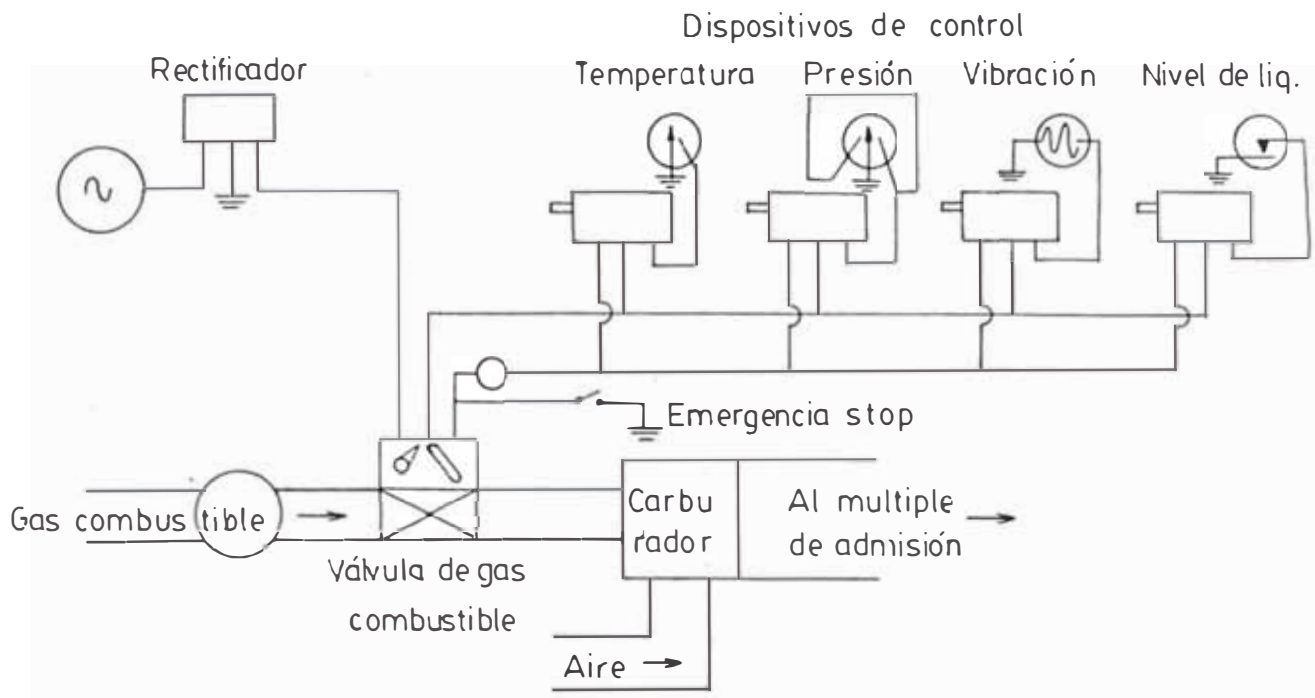
- V 3 - máximo nivel de vibración permisible en el monoblock (caja) del compresor

## NIVEL DE LIQUIDO

- N 3 = mínimo nivel de aceite permisible en el carter del compresor
- N 4 mínimo nivel de aceite permisible en la caja de inyectores de lubricación
- N 5 - máximo nivel de líquidos condensados en el scrubber de succión de la primera etapa del compresor
- N 6 - máximo nivel de líquidos condensados en el scrubber de succión de la segunda etapa del compresor
- N 7 - máximo nivel de líquidos condensados en el scrubber de succión de la tercera etapa del compresor.

NOTA : Tanto los relés del circuito de protección - del motor, como del compresor, están interconnectados con la válvula electromagnética de cierre de gas combustible, como se verá mas adelante.

### 3.3.6. Principio y esquema de funcionamiento del sistema de protección



#### a) Esquema de funcionamiento del sistema de protección

El esquema que nos permitirá explicar el principio de funcionamiento del sistema de protección es el adjunto.

#### b) Principio de funcionamiento

El magneto genera la tensión necesitada por nuestro sistema y se usa 120 voltios a c.c., ésta energiza al dispositivo de cierre eléctrico de la válvula de flujo de gas combustible el que alimenta al carburador, esta válvula se abre solo manualmente y corta (cierra) el flujo de gas eléctricamente, cuando alguno de los relés de tempe

ratura, presión, vibración o nivel del líquido, por efecto de alguna falla detectada en la máquina, cierra el circuito, dado que los relés están interconectados con la válvula de gas combustible y cada uno de los registradores de los elementos de control.

Cuando ocurre una falla, el relé cierra el circuito con el dispositivo de control, además de indicar el motivo de la falla, nos dá la señal de cierre a la válvula de gas combustible, bloqueándose inmediatamente, cerrando el paso del gas combustible, por lo que la máquina dejará de funcionar inmediatamente, ya que no tiene combustible para la combustión.

En el momento del arranque, la corriente que necesitan las bujías para poder arrancar, se produce por el impulso que dá el arrancador neumático que impulsa la volante del motor.

## CAPITULO IV

### SELECCION Y DISEÑO DEL SISTEMA ELECTROMECHANICO

#### 4.1. GENERALIDADES

El objeto de este capítulo es establecer pautas para la formulación del proyecto, teniendo en cuenta las normas de seguridad y recomendaciones de los fabricantes de estos equipos.

En el capítulo anterior hemos visto todos los parámetros(variables) sujetos a control y que son gobernados o accionados por un relé electromecánico que funciona con una tensión y corriente definida, con las que se harán los cálculos respectivos en el diseño de las instalaciones eléctricas.

#### 4.2. FUENTE DE SUMINISTRO DE ENERGIA

La fuente de suministro es el magneto de ignición , el cual nos abastece de 120 V de tensión alterna y 60 Hertz de frecuencia.

##### 4.2.1. Tensión

La tensión generada por el magneto es alterna (ver apéndice II) y para ser utilizada en el sistema de

protección es rectificadora a corriente continua a una tensión de 120 V y la tomaremos como tensión del sistema.

#### **4.2.2. Potencia**

Por lo regular la potencia de los magnetos para este tipo de máquina, es del orden de 60-100 vatios.

#### **4.3. TRAZADOS DE LOS CIRCUITOS**

Luego de establecer el número de relés que accionan el control de los parámetros del motor, se estaría conformando el circuito del motor.

De la misma manera se determina el número de relés que conforman el circuito del compresor y de algunas salidas especiales que nos sirven para alimentar sistemas auxiliares, como el pirómetro del sistema de escape, tacómetro, etc.

Una vez ubicados todos los puntos eléctricos y la posición de los relés en el panel de control se procede al trazado del recorrido de los circuitos.

#### **4.4. PROCEDIMIENTOS DE CALCULO**

Una vez trazados todos los circuitos, tanto del motor y compresor se tabula un cuadro de cálculo, el cual será mostrado a través del capítulo.



En el cuadro de cálculo, los datos y resultados obtenidos se tabulan de la forma como se indica en la tabla N° 12.

#### **4.4.1. Número de circuitos**

Se indican como C.M. (circuito del motor) y C.C. (circuito del compresor).

#### **4.4.2. Relés o equipos instalados**

Se establece :

Tipo : se indica el tipo de relé seleccionado, según el requerimiento y la válvula de gas combustible.

Cantidad: es el número de relés que controlan cada una de las variables del control, - tanto del motor como del compresor, más una válvula electromagnética de cierre del gas combustible.

#### **4.4.3. Potencia instalada**

Es la carga de diseño del relé o equipo eléctrico instalado, se indica en vatios.

#### 4.4.4. Máxima demanda

Se expresa en vatios y como su nombre lo indica - es el máximo valor de la demanda que se presenta durante un período determinado (en el momento que el o los relés dan la señal para que la válvula e léctrica de gas combustible cierre automáticamente y pare inmediatamente el motor).

La máxima demanda (MD) individual de cada relé o equipo se ha determinado, teniendo en cuenta lo siguiente :

##### **Cuando ocurre una falla entra en funcionamiento:**

- El relé que detecta la falla
- La bobina que acciona el dispositivo de cierre eléctrico de la válvula de gas combustible
- Por efecto transitorio, al momento de parar se podría disparar un relé adicional que normalmente es el de presión de aceite por tener su rango muy ajustado.

##### **Cálculo de la máxima demanda:**

El relé usado es del tipo MURPHY 307 PH-CD que - funciona con 120 V, c.c.  $I_{nom} = 0.150$  amperios

$$P = 18 \text{ watts}$$

La válvula de gas combustible es del tipo MURPHY M 50-78 CD que funciona con :

$$V = 120 \text{ V, c.c.} - I_{\text{nom}} = 0.100 \text{ amperios}$$

$$P = 12 \text{ watts}$$

Luego la máxima demanda en el momento de una falla, tanto para el motor como compresor, por estar ambos circuitos en paralelo, será :

$$MD = 18 + 18 + 12 = 48 \text{ W}$$

El factor de demanda (F.D.) :

$$(F.D.) = \frac{\text{Máxima demanda (MD)}}{\text{Potencia instalada (P.I.)}}$$

#### 4.4.5. Cálculo de la corriente

Por tratarse de corriente continua se usa la siguiente expresión :

$$I \text{ (Amp)} = \frac{W \text{ (watts)}}{V \text{ (voltios)}}$$

- De acuerdo al Código Eléctrico del Perú para el cálculo del conductor, la corriente nominal se incrementa en un 25%, obteniéndose así la corriente de diseño.
- La longitud de los conductores expresada en metros será la que se obtenga de la ubicación del panel de control y la instalación del elemento de control, de acuerdo a sus ubicaciones reales y que nos servirá para chequear la caída de tensión permisible.

#### 4.4.6. Caída de tensión

Por tratarse de corriente continua, la caída de tensión en los conductores, lo calculamos con la siguiente expresión (ver apéndice III) :

$$\Delta V = \frac{\rho \times L \times I}{S}$$

S - sección en mm<sup>2</sup>

$\rho$  - resistividad del cobre = 0.017586  $\frac{\mu \times \text{mm}^2}{\text{mt}}$

L - longitud m

I corriente en amperios

$\Delta V$  - caída de tensión en voltios

#### 4.4.7. Selección de conductores

Se tiene en cuenta los siguientes factores:

- Uso del cable y condiciones de instalación
- Corriente máxima que debe transportar, ésta a su vez depende de
  - número de conductores (cables unipolares, bipolares, etc.)
  - número de cables que siguen juntos el mismo recorrido
  - tipo de colocación, al aire libre o en tubos
  - temperatura máxima del ambiente
- Caída de tensión máxima admisible
- Tensión de servicio

#### 4.4.8. Cálculo de diámetro de la tubería

Se siguen las recomendaciones del CEP y catálogos de algunos fabricantes.

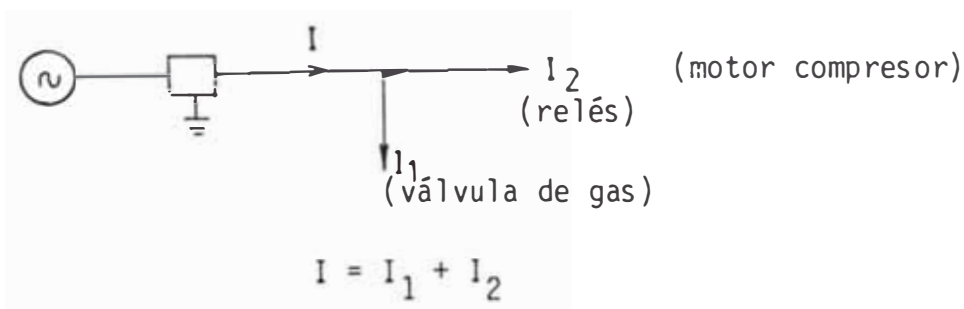
#### 4.5. CALCULO DEL CIRCUITO DE MOTOR Y COMPRESOR

A continuación se presenta el desarrollo de cálculo de los circuitos.

Del resumen de parámetros de control (página N° 46) tenemos :

- para el motor 14 relés de control
- para el compresor 21 relés de control

Ambos circuitos, en caso de falla, hacen actuar a la válvula eléctrica de cierre de gas combustible.



- Tipo de relé:

MURPHY 307 PH-CD

Tensión nominal 120 voltios, c.c.

Potencia de consumo - 18 watts (en el momento de cierre)

$I_2$  relé - 0.150 amperios

EQUIPO INST. CIRC. TIPO	CANT.	POT. INST. W	M.D W	f.d.	I Amp.	$I_D = 1.25I$ Amp.	$I_{40^\circ C} = 0.8$ Amp.	$I_D$	I # en tubo = de 4-6	cond.	$I_D$ 0 8	$\Delta V$ Voltios	# AWG Calcu lado	Recomend. CNE 4.2.1.4
<b>MOTOR :</b>														
Relé MURPHY 307 PH-CD	14	252												
Válvula elec trica N50-78 CD	1	12 264	48	0.18	0.4	0.5	0.61		0.76		0.08		22	14
<b>COMPRESOR :</b>														
Relé MURPHY 307 PH-CD	21	378												
Válvula eléc trica N50-78 CD	1	12 390	48	0.1	0.4	0.5	0.61		0.76		0.08		22	14

TABLA N° 12 - RESULTADOS DE LOS CIRCUITOS DEL MOTOR Y COMPRESOR

NOTA : Todos los relés y la válvula de gas combustible están instalados en paralelo, en casa de falla del motor o compresor, siempre actuará la válvula de gas, por ello se le considera en ambos casos y por lo tanto la corriente de falla en el circuito del motor como compresor será la misma.

Tipo de válvula de cierre eléctrico de gas combustible :

MURPHY M50-78 CD

Tensión nominal = 120 voltios, c.c.

potencia de consumo = 12 W

$I_2$  válvula = 0.100 amperios

En el momento de falla el relé hace actuar inmediatamente el cierre de la válvula de gas combustible, la máquina para instantáneamente, por lo que deja muy poca posibilidad de que algún otro relé actúe simultáneamente; de ser posible sería el relé que normalmente tiene muy ajustado su rango de operación, casi siempre es el de presión - de aceite del motor, por lo que consideramos como máxima demanda el funcionamiento simultáneo - de dos relés y válvula y de dos relés y válvula de gas combustible.

Entonces :

Potencia de máxima demanda (MD) =  $2 \times 18 + 12 = 48$  watts

Factor de demanda (f.d.) =  $\frac{M.D}{P.I}$

P.I. motor =  $(14 \times 18) + 12 = 264$  W

$$F.D = \frac{48}{264} = 0.18$$

$$I = \frac{M.D}{V} = \frac{48}{120} = 0.4 \text{ amperios}$$

$$(I = I_1 + 2I_2 = 0.100 + 2(0.150) = 0.4 \text{ amperios})$$

Corriente de diseño :

$$I_D = 1.25 \times 0.4$$

$$I_D = 0.5 \text{ amperios}$$

Selección del conductor por la corriente que transportan.

Consideraciones :

Longitud máxima del conductor:  $L = 12$  del metrado -  
de las instalaciones

Caída de tensión máxima:  $1\% V = 1.2$  voltios

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V}$$

donde:  $\rho =$  resistividad del cobre  $= 0.0175$

$L =$  longitud del conductor (m)

$I =$  corriente (amperios)

$S =$  sección del conductor ( $\text{mm}^2$ )

$\Delta V =$  caída de tensión (voltios)

$$S = \frac{0.0175 \times 12 \times 0.5}{1.2}$$

$$S = 0.09 \text{ mm}^2$$

El número de calibre fabricado es el # 22 AWG en TW y tiene una sección de  $S = 0.324 \text{ mm}^2$ .

Vemos que el calibre 22 AWG-TW, supera ampliamente la sección requerida que es  $S = 0.09 \text{ mm}^2$ .



Recálculo de la  $\Delta V$  :

$$\Delta V = \frac{0.175 \times 12 \times 0.5}{0.324}$$

$$\Delta V = 0.32 \text{ volt.} < 1.2 \text{ volt.}$$

Análisis de factores de corrección.

Temperatura de ambiente

Tabla de factores de corrección para temperatura de ambiente diferente a 30°.

Temper. máxima del con- ductor °C	TEMPERATURA AMBIENTE °C					
	25	30	35	40	45	50
80	1.06	1.00	0.95	0.90	0.84	0.79
75	1.06	1.00	0.94	0.89	0.82	0.76
60	1.07	1.00	0.91	0.82	0.71	0.58

Para una temperatura de 40°C se aplica el factor = 0.82 :

$$I \text{ a } 30^\circ\text{C} = 0.5 \text{ amperios}$$

$$I \text{ a } 40^\circ\text{C} = \frac{0.5}{0.82} = 0.61 \text{ amp.} \rightarrow I_n = 0.61 \text{ amperios}$$

Por agrupamiento de cables en tubos

Tabla de factores de corrección para agrupamiento - de cables en tubos.

N° de conductores en el tubo	Factor de corrección
Desde 4 hasta 6	0.8
Desde 7 hasta 24	0.7
25 o más	0.6

Desde 4 a 6 cables por tubo se aplica el factor = 0.8 :

$$I_N = \frac{0.61}{0.7} = 0.76 \text{ amp.}$$

La sección sería :

$$S = \frac{0.175 \times 12 \times 0.76}{1.2}$$

$$S = 0.133 \text{ mm}^2$$

Nuevamente se observa que el calibre 22 AWG-TW = 0.324 mm<sup>2</sup> supera ampliamente lo requerido :

$$\Delta V = \frac{0.175 \times 12 \times 0.76}{0.324}$$

$$\Delta V = 0.49 < 1.2 \text{ volt.}$$

Por lo tanto, por cálculo se puede usar cable 22 AWG-TW (ver apéndice III).

Según las normalizaciones para instalaciones de uso general industrial, el CNE no permite usar cables con secciones inferiores a 1.5 mm<sup>2</sup>, por lo que usa remos  $S = 2.08 \text{ mm}^2$  (calibre más próximo), este calibre de conductor lo usaremos para toda la instalación del circuito de protección del sistema.

$S > 1.5 \text{ mm}^2$ , el más proximo es  $S = 2.08 \text{ mm}^2$ , es decir el # 14 AWG.

Recálculo de la caída de tensión, usando conductor de sección  $2.08 \text{ mm}^2$ .

Como  $S = 2.08 \text{ mm}^2$ , entonces  $\Delta V = \frac{0.0175 \times 12 \times 0.76}{2.08}$

$$\Delta V = 0.08 \text{ voltios}$$

como  $0.08 \text{ V} < 1.2 \text{ volt.}$  que es la caída de tensión que fija la norma, entonces la instalación que se usará en la instalación es el # 14 AWG-TW o también el 14 AWG-THW.

Nº ELEMENTOS  
DE CONTROL  
EN EL TABLE-  
RO (relés)

DESCRIPCION

1	Relé de presión de bomba principal de agua del motor	(P1)
2	Relé de presión de la bomba de aceite del motor	(P3)
3	Relé de presión efectiva de aceite del motor	(P4)
4	Relé de presión de gas combustible del motor	(P8)
5	Relé de presión de la bomba auxiliar de agua	(P12)
6	Relé de presión de aceite del compresor	(P13)
7	Relé de presión del inyector que lubrica el cilindro Nº 1	(P15)
8	Relé de presión del inyector que lubrica el cilindro Nº 2	(P16)

sigue .....

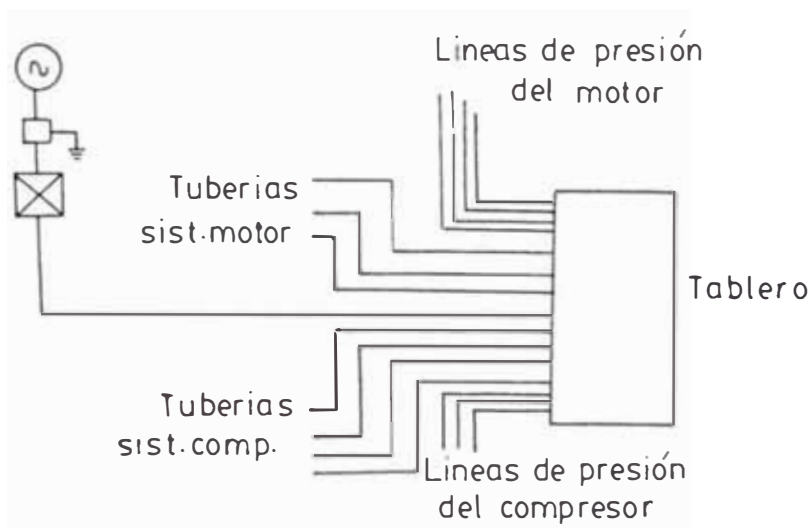
N° ELEMENTOS DE CONTROL EN EL TABLE- RO (relés)	DESCRIPCION	
9	Relé de presión del inyector que lubrica el cilindro N° 3	(P17)
10	Relé de presión del inyector que lubrica el cilindro N° 4	(P18)
11	Relé de presión de succión de gas natural	(P20)
12	Relé de presión de gas comprimido en primera etapa	(P21)
13	Relé de presión de gas comprimido en segunda etapa	(P22)
14	Relé de presión de gas comprimido en tercera etapa	(P23)
15	Relé de temperatura de agua entrada del motor	(T1)
16	Relé de temperatura de agua salida del motor	(T2)
17	Relé de temperatura de aceite del motor	(T5)
18	Relé de temperatura de aire de admisión	(T7)
19	Relé de temperatura de agua del compresor	(T8)
20	Relé de temperatura de aceite del compresor	(T9)
21	Relé de temperatura de gas comprimido de la primera etapa	(T11)
22	Relé de temperatura de gas comprimido de la segunda etapa	(T13)
23	Relé de temperatura de gas comprimido de la tercera etapa	(T15)
24	Relé de vibración de los ventiladores del radiador	(V1)

N° ELEMENTOS DE CONTROL EN EL TABLE- RO (relés)	DESCRIPCION	
25	Relé de vibración del motor	(V2)
26	Relé de vibración del compresor	(V3)
27	Relé de nivel de agua del tanque auxi- liar del radiador	(N1)
28	Relé de nivel de aceite del motor	(N2)
29	Relé del nivel de aceite del compre- sor	(N3)
30	Relé del nivel de aceite de los in- yectores de lubricación	(N4)
31	Relé de nivel de líquidos condensa- dos en el scrubber de succión de la primera etapa	(N5)
32	Relé de nivel de líquidos condensa- dos en el scrubber de succión de la segunda etapa	(N6)
33	Relé de nivel de líquidos condensa- dos en el scrubber de succión de la tercera etapa	(N7)
34	Relé de nivel de líquidos condensa- dos en el scrubber de gas combusti- ble del motor	(N8)
35	Relé de sobrevelocidad	(S)
36	Relé de pruebas	

## CALCULO DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA

Todos los conductores serán instalados de una tubería metálica conduit para proteger las instalaciones y para el cálculo del diámetro nos basamos en las tablas 4-VIII del CNE y catálogos del fabricante (ver apéndice IV).

## ESQUEMA DE DISTRIBUCION DE TUBERIA



### Ø TUBERIA CONDUIT

Tubería del magneto al adaptador # cables: 1, tipo # 14 AWG -----	1/2" Ø
Tubería del adaptador a la válvula de gas combustible # cables: 1, tipo # 14 AWG -----	1/2" Ø
Tubería de la válvula combustible al tablero general # cables: 2, tipo # 14 AWG -----	1/2" Ø
Tubería del tablero general al sub tablero del motor # cables: 3, tipo # 14 AWG -----	1/2" Ø

Tubería del tablero general al res  
to del circuito del motor  
# cables: 5, tipo # 14 AWG 2 x 1/2" Ø

Tubería del tablero general al sub  
tablero del compresor  
# cables: 2, tipo # 14 AWG 1/2" Ø

Tubería del tablero general al res  
to del circuito del compresor  
# cables: 9, tipo # 14 AWG (3) x 1/2" Ø

Líneas de presión en tubería de acero inoxidable de  
alta presión de 3/16" Ø.

#### **4.6. TABLERO GENERAL**

El tablero es el panel donde se instalarán los relés e instrumentos de control, interruptores de arranque y pruebas, está diseñado para ser instalado directamente al piso y es accesible por ambos frentes, es de cierre hermético a prueba de explosión.

Desde el tablero se ejerce el control del normal funcionamiento de la unidad.

##### **4.6.1. Subtablero del motor y compresor**

Estas pequeñas cajas de control se instalan, tanto en el motor como en compresor, debido a que en ellos se instalan los calorímetros de temperatura que tienen limitación para instalarlos a distancia por la restricción de su tubo capilar.

## CAPITULO V

### MONTAJE Y ENSAMBLE

Las presentes especificaciones, conjuntamente con los planos Nros. P1, P2, P3, P4 y P5 del proyecto que se adjuntan, tiene como finalidad servir como guía para el suministro de los materiales y el montaje de las instalaciones del sistema de protección y mando para una unidad motor-compresor de gas natural.

Estas especificaciones no son necesariamente absolutas, pueden ser modificadas por alguna incompatibilidad, previa evaluación y análisis.

#### **5.1. ESPECIFICACIONES TECNICAS DE MATERIALES**

##### **5.1.1. Conductores**

Todo el tablero para el sistema de protección deberá realizarse con conductor cableado concéntrico del tipo TW, de cobre electrolítico, temple suave, con aislamiento de cloruro de polivinilo (PVC) y normas ASTM B3, B8 para el conductor y VDE ó 250 para el aislamiento.

No se usará cable de calibre menor al # 14 AWG, salvo otra indicación contraria en los planos.



### 5.1.2. Empalmes

Los conductores serán continuos de caja a caja y los empalmes deberán ejecutarse dentro de éstos, no permitiéndose empalmes que queden en el interior de los tubos.

En las cajas se dejarán longitudes suficientes de cables para su conexión al instrumento o accesorio, siendo ésta de una longitud mínima de 15 cms.

Los empalmes deberán ser seguros eléctricamente y mecánicamente, protegidos por cinta aislante de jebe y plástico.

### 5.1.3. Tubería

Se usarán tuberías metálicas conduit, las que cumplirán con los valores, en lo que a diámetro, espesor y longitud se refiere, según las normas 4.5.15. del CNE.

También se puede utilizar tubería conduit flexible para unir la parte final con los accesorios de control, así como para unir las líneas de presión a los manómetros se usará líneas de 3/16" de acero inoxidable de alta presión.

#### 5.1.4. Accesorios para tuberías

Se usarán codos y curvas construidas con el mismo material y diseño de la tubería rígida, las tuercas y contratuercas que se usarán para unir los ductos en las cajas, serán de fierro galvanizado, estandar americano pesado.

Las conexiones deberán tener la parte interior redonda para impedir daños al conductor.

Las uniones de tubo a tubo serán coples o uniones universales de fierro galvanizado estandar pesado americano.

#### 5.1.5. Cajas

Se utilizarán cajas metálicas redondas a prueba de explosión, con materiales de fierro galvanizado, con varias salidas, según sea el caso, para tubería de 1/2"  $\emptyset$  y deberán llevar tapa roscada y cumplir con los requisitos 4.6.2.2. del CNE (ver apéndice N° V).

#### 5.1.6. Elementos de control

- Relés de parada: es un dispositivo indicador de falla y de parada, es el elemento que usando la energía del magneto da la señal de cierre automático del paso a la válvula de gas combustible,

logrando la parada inmediata del motor. Serán iguales o similares al modelo 307 PH-CD que fabrica FRANK W. MURPHY.

Estos relés solo consumen energía en el momento de localización de una falla, por eso pueden utilizarse el número que uno estime conveniente para controlar el sistema; son a prueba de explosiones.

- Características: tensión nominal 120 voltios c.c.

$$I_{\text{nominal}} - 0.150 \text{ amperios}$$

Pot. de consumo - 18 watios

(ver apéndice N° V).

- Válvula de cierre de gas combustible

Esta válvula nos proporciona una parada inmediata del motor al recibir la señal de cierre de un relé. Serán iguales o similares al modelo M50-78 - CD que fabrica Frank W. Murphy.

Características: tensión nominal 120 voltios, c.c

$$I_{\text{nominal}} - 0.100 \text{ amperios}$$

Pot. de consumo = 18 watios

Son fabricados a prueba de explosión (ver apéndice N° V).

- Calorímetros de temperatura de agua y aceite

Estos instrumentos nos proporcionan una supervisión constante de la temperatura de agua o aceite que se controla y ordenan una parada automática ,

en caso que alcance una temperatura máxima, previamente establecida.

Los calorímetros nos sirven como interruptores o elementos de cierre del circuito y dan la señal a los relés, en caso de falla. Serán iguales o similares al modelo A20 TK que fabrica Frank W. Murphy.

Las zonas de contacto de la aguja y el contacto ajustable son enchapadas (bañadas) en plata para ofrecer resistencia a la electrolisis, son construidas a prueba de explosión. Capacidad 1 amperio a 125 voltios. (Ver apéndice N° V).

- Calorímetros de temperatura de gas comprimido  
Este instrumento nos controla la temperatura de descarga del gas comprimido, a diferencia del calorímetro de temperatura de agua y aceite, éste puede trabajar en seco, el control se ejerce cuando el gas tiende a incrementar su temperatura por encima de una preestablecida; el contacto es ajustable exteriormente en forma manual; deberá ser igual o similar al modelo SDB-500 que fabrica Frank W. Murphy, capacidad 1 amperio a 125 voltios.
- Manómetro de presión de aceite de motor y compresor  
Este instrumento nos controla la presión de aceite, teniendo un tope de control para una mínima

presión permisible, en caso de descender la pre si ón, la aguja indicadora se conectará con el contacto ajustable y completará el cierre del circuito, para apagar el motor, antes de que se produzcan daños graves; deberá ser igual o similar al modelo 20-P-27 que fabrica Frank W. Murphy, capa ci dad 1 amperio a 125 voltios (ver apéndice N° V).

- Manómetro de presión de agua motor y compresor  
Estos chequean la presión de la bomba de agua refrigerante, tanto del motor como del compresor, - en caso de registrarse una presión inferior a la permisible, la aguja indicadora se conectará con el contacto ajustable y completará el cierre del circuito para apagar el motor; deberá ser igual o similar al modelo 20 PW-27 que fabrica Frank W. Murphy, capacidad 1 amperio a 125 voltios. (Ver apéndice N° V).
- Manómetro de presión de gas comprimido multieta - pas  
Estos instrumentos nos sirven para controlar la presión del gas comprimido, teniendo topes ajusta bles a las presiones permisibles, según sea la etapa, en caso de sobrepresión, la ajuga indica do ra se conectará con el contacto ajustable y comple ta r á el cierre del circuito para apagar el motor; deberá ser igual o similar al modelo OPL-F-30/160

/600/2,000, según sea la etapa, fabricados por Frank W. Murphy, capacidad 1 amperio a 125 voltios (ver apéndice N° V).

- Interruptor de vibraciones para motor y compresor  
Este interruptor es ajustable al grado de sensibilidad deseada y nos sirve para detectar impactos o vibraciones; en el momento que actúa, cierra el circuito con el relé y automáticamente para el motor; deberá ser igual o similar al modelo VS-2, fabricado a prueba de explosión, capacidad 5 amperios a 125 voltios (ver apéndice N° V).
- Interruptor de nivel de agua  
Son monitores de nivel de refrigerante que nos permiten chequear que las máquinas trabajen con un nivel mínimo de líquido refrigerante (agua) preestablecido, en caso que baje el nivel, éste actuará como interruptor, cerrando el circuito y parando la máquina automáticamente; deberá ser igual o similar al modelo EL-150-K1, fabricado por Frank W. Murphy, su capacidad es de 5 amperios a 120 voltios (ver apéndice N° V).
- Reguladores de nivel de aceite  
Estos instrumentos nos añaden de forma automática la cantidad apropiada de aceite al carter, sin necesidad de parar el motor, en caso de que el nivel descienda lo permisible, éste cerrara el circuito

de protección, parando automáticamente la máquina, deberá ser igual o similar al modelo LR-900, fabricado por Frank W. Murphy, su capacidad es de 5 amperios a 120 voltios (ver apéndice N° V).

- Controles de nivel de líquido depurador

Son interruptores de flotador de construcción compacta y a prueba de explosión, están diseñados para trabajar con fluidos corrosivos o hidrocarburos, en caso de obstruirse y sobreelevarse el nivel, éste cerrara el circuito y parará la máquina automáticamente; deberá ser igual o similar al modelo L-1200, fabricado por Frank W. Murphy, capacidad del interruptor 1.5 amperios a 110 voltios. (Ver apéndice N° V).

### **5.1.7. Tablero general**

El control general del sistema se efectuará desde el tablero, éste alojará a todos los relés y parte de instrumentos de control. El panel estará montado sobre postes angulares, las medidas se indican en los planos, contruidos con planchas de fierro galvanizado a prueba de explosión. (Ver plano: P4).

#### 5.1.7.1. Subtableros

Son paneles secundarios que alojarán a los calorímetros de temperatura de motor y compresor y tienen limitación por la longitud del tubo capilar, serán de plancha de fierro galvanizado e instalado en partes visibles, cerca del motor y compresor respectivamente.

#### 5.1.8. Puesta a tierra

Como el sistema trabaja con c.c. y un polo a tierra, además de cumplir con los requisitos 3.6.3.1. del CNE, no se usará puesta a tierra.

### 5.2. ESPECIFICACIONES TECNICAS DE MONTAJE

Estas especificaciones se refieren al montaje del sistema electromecánico y cubren solamente las partes más importantes de la obra y que no fueron descritos detalladamente en los planos respectivos.

#### 5.2.1. Conductores

a) Antes de proceder al cableado se limpiarán y secarán los tubos, para facilitar el paso de los conductores, se usará talco en polvo, no debiendo usarse grasas o aceites.



- b) Por ningún motivo los cables deberán ir expuestos a la intemperie.

### 5.2.2. Tuberías

- a) Deberán formar un sistema mecánicamente unido.
- b) No debe aproximarse menos de 15 cms. de otras tuberías.
- c) Cuando no se puede unir la tubería directamente al instrumento o accesorio de control, se usará un tramo prudencial de tubería metálica flexible.
- d) Se colocarán siguiendo el principio del esquema que aparece en los planos, sin embargo no es necesario llevar estrictamente ese camino, toda vez que deberá compatibilizar la colocación de la tubería con las instalaciones y estructuras mecánicas de toda la unidad.
- e) Las líneas de presión de los diferentes accesorios de control, deberán ir protegidos con plancha angular para evitar su deterioro. (Ver planos P2 y P3).

### 5.2.3. Elementos de control

- a) Los relés, se instalarán en el interior del panel y se fijarán con una contratuerca exterior.

- b) Los calorímetros y manómetros se instalarán en el interior del panel respectivo, se fijarán con tornillos exteriores de sujeción.
- c) Los interruptores de vibración se instalarán lo más cerca de la zona sometida a control en forma directa, de acuerdo a indicaciones del fabricante.
- d) Los controladores o reguladores de nivel de líquido se instalarán directamente, en unión directa con el objetivo a controlar, siguiendo las recomendaciones del fabricante.

#### **5.2.4. Tablero de control**

En el panel se instalarán todos los elementos de control que se indican en los planos correspondientes.

El montaje y diseño del interior, deberá permitir el reemplazo o reparación de alguno de los componentes del sistema. (Ver plano: P4).

#### **5.2.5. Colocación de accesorios**

Después de haberse cableado y conectado todos los circuitos, de acuerdo al plano, se procede a la colocación de todos los accesorios y/o elementos de control. Todos deberán ser conectados correctamente.

te, según las instrucciones de los catálogos de los fabricantes.

#### 5.2.6. Pruebas

Antes de poner en funcionamiento a la máquina se hará una prueba a toda la instalación.

Se hará prueba de aislamiento entre conductores, debiendo tener una resistencia no menor de 1'000,000 ohmios.

Adicionalmente, una vez puesto en marcha la unidad, se realizará pruebas de funcionamiento en vacío con simulación de fallas, para ello se cuenta con los relojes de arranque y prueba.

## CAPITULO VI

### ESTIMACION DE COSTOS Y PRESUPUESTO

Este capítulo se ocupa de estimar los costos y presupuestos para la instalación del sistema de protección de este proyecto, incluye el suministro e instalación de los materiales y equipos.

El metrado se ha agrupado, siguiendo el orden del proyecto, de manera que se visualice, el análisis del costo total de la ejecución del trabajo.

ITEMS	ESPECIFICACIONES	MODELO	UNID.	CANT.	PRECIO UNITARIO \$	TOTAL \$
1	TABLERO DE INSTRUMENTO					
	- Manómetro presión princ. y auxiliar de agua.	20PN-27	UN	2	21	42
	- Manómetro presión, aceite, motor y compresor.	20P-27	UN	3	20	60
	- Manómetro presión, gas combustible y succión.	OPL-F-30	UN	2	57	114
	Manómetro presión de gas, 1ra.etapa y su lubricación.	OPL-F-100	UN	3	57	171
	- Manómetro presión de gas, 2da.etapa y su lubricación	OPL-F-600	UN	2	57	114

ITEMS	ESPECIFICACIONES	MODELO	UNID.	CANT.	PRECIO UNITARIO \$	TOTAL \$
	Manómetro presión de gas, 3ra. eta- pa y su lubricac.	OPL-F-2000	UN	2	79	158
-	Interruptor de <u>a</u> rranque	5T	UN	1	35	35
-	Interruptor de prueba	(15T)	UN	1	35	35
-	Interruptor de <u>pa</u> rada de emergen - cia	OT	UN	1	10	10
-	Relé magnético	307PH-CD	UN	36	16	576

## 2 SUBTABLERO EN MOTOR Y COMPRESOR

-	Calorímetro tempe ratura de agua <u>y</u> aceite, motor <u>y</u> compresor	A20-TK	UN	5	23.5	117.5
---	---	--------	----	---	------	-------

## 3 ACCESORIOS QUE VAN DIRECTAMENTE SOBRE EL MOTOR Y COMPRESOR

-	Calorímetro tempe ratura, gas com - primido	SUB-500	UN	4	50	200
-	Vibra switch mo- tor y compresor	VS-2	UN	3	51.50	154.50
-	Boya interruptor, nivel de agua <u>y</u> motor	EL-150-KL	UN	1	34	34.00
-	Boya regulador, nivel aceite, mo- tor y compresor	LR-900	UN	3	60	180
-	Control de nivel, líquido succión 1ra. etapa, gas y combustible	L-1,100	UN		80	160

ITEMS	ESPECIFICACIONES	MODELO	UNID.	CANT.	PRECIO UNITARIO \$	TOTAL \$
	- Control de nivel, líquido succión 2da. y 3ra. etapa	L-1,200	UN	2	98	196
	- Interrupción de sobrevelocidad	T-6301	UN	1	55	55
	- Válvula de cierre de gas combusti- ble	M50-78CD	UN	1	180	180

#### 4 ESPECIFICACION/DISTRIBUCION

	- Cable 14 AWG	TW	M	200	0.35	70
	- Caja metálica re- donda de 3 1/2" Ø	GUAC	UN	8	5	40
	- Caja metálica re- donda de 3 1/2" Ø	GUAT	UN	3	5.5	16.5
	- Caja metálica re- donda de 3 1/2" Ø	GUAX	UN	4	6	24
	- Unión universal conduit de 1/2" Ø		UN	28	2	56
	- Tubería metálica conduit de 1/2" Ø		M	80	6	480
	- Cañería de acero inoxidable de 3/16" Ø		M	94	6	564
	- Tablero metálico de 0.866 x 1.653 m		UN	1	200	200
	- Subtablero metáli- co de 0.10 x 0.30		UN	2	10	20
	- Terminales para cañería de alta presión de 3/16" Ø		UN	56	2.0	112
	- Adaptadores de al- ta presión de 3/16" Ø		UN	14	2.5	35

TOTAL: \$ 4,209.5

## CONCLUSIONES

1. Se ha estudiado cuidadosamente los rangos permisibles de operación, con el fin de dar la máxima seguridad, para operar estas unidades y lograr el mínimo costo - de mantenimiento, debido a fallas.
2. En el proceso de cálculo, para determinar la sección de los conductores, ha primado los criterios establecidos por el Código Nacional de Electricidad.
3. El sistema de protección electromecánico, si bien es cierto, no es totalmente automático, si es más funcional, confiable y de mucho menor costo que los sistemas electrónicos automáticos.
4. El estudio realizado en la presente tesis puede ser aplicado a otros equipos, tales como generadores y equipos de bombeo utilizados por la empresa.
5. Implementando el sistema de protección y mando estudiado, se logra mayor estabilidad en el sistema de producción y ventas de petróleo y gas, así como también mayor seguridad de los operadores y máquinas.

## BIBLIOGRAFIA

- L1      Redes eléctricas de alta y baja tensión  
Gaudencio Zoppetti. Ed. Gustavo Gili S.A.Barcelona
  
- L2      Copias de Instalaciones Eléctricas  
José Aguirre Rodriguez - UNI 1979.
  
- L3      Motores a gas WAUKESHA  
Dresser Industries INC. USA - Catálogo.
  
- L4      Compresor de gas  
Ingersoll Rand - Industries - USA - Catálogo.
  
- L5      Catálogos MURPHY - USA
  
- L6 -    Catálogos INDECO
  
- L7      Catálogos CEPER
  
- L8 -    Código Nacional de Electricidad  
Ministerio de Energía y Minas