**IPN**
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**
**UNIDAD CULHUACAN**

# "Diseño de la Secuencia del Algoritmo de Control en un Sistema de Lubricación API 614"

**TESINA**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

PRESENTAN:

CARMONA TRANI JORGE ISRAEL

EMIGDIO LEON EDWIN

GOMEZ MORALES NEFTALI

MONTES DE OCA MANCILLA JUAN CARLOS

SALGADO GALVÁN SUSANA (**ACTUALIZACIÓN**)

DIRECTORES DE TESIS:

ING. JESUS DE LOS ANGELES PEREZ ESPIRIDION
ING. FERNANDO MORALES GARCIA.

México D.F. Agosto 2010.

**IPN**
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**
**UNIDAD CULHUACAN**

**TESINA**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE: INGENIERO MECÁNICO

NOMBRE DEL SEMINARIO: INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE SISTEMAS HIDRÁULICOS.

Número de registro DES/ESIME-CUL-2009/56/09

DEBERA DESARROLLAR:

CARMONA TRANI JORGE ISRAEL
EMIGDIO LEON EDWIN
GOMEZ MORALES NEFTALI
MONTES DE OCA MANCILLA JUAN CARLOS
SALGADO GALVÁN SUSANA (**ACTUALIZACIÓN**)

# "DISEÑO DE LA SECUENCIA DEL ALGORITMO DE CONTROL EN UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN API 614"

## INTRODUCCION

El auge de la automatización en el ámbito del proceso industrial ha sido muy prominente, por lo cual surge la necesidad de planteamientos que desarrollen equipos capaces de procesar y memorizar variables físicas que integran sistemas de manejo de información. Las variables físicas suelen requerir interfaces para convertir los resultados arrojados a simbología que estos equipos puedan interpretar. Se propone un control lógico programable que permita realizar las actividades de la prueba de modo automatizado, disminuyendo así el requerimiento de varios paneles, con el fin de lograr pruebas de modo más preciso y con mayor rapidez en un sistema de lubricación API 614.

## CAPITULADO

I. ENTORNO DEL PROBLEMA
II. MARCO TEÓRICO
III. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA
IV. DISEÑO, PROGRAMACIÓN E IMPLANTACIÓN

Fecha: México D.F. Agosto de 2010

(FIRMA DE ASESORES)

ING. JESUS DE LOS ANGELES PEREZ ESPIRIDION
COORDINADOR DEL SEMINARIO

ING. FERNANDO MORALES GARCIA
ASESOR

ING. ARACELI LETICIA PERALTA MAGUEY
JEFA DE LA CARRERA DE I.M.

## OBJETIVO GENERAL.

Diseñar la secuencia del algoritmo de control en un sistema de lubricación API 614.

## OBJETIVO PARTICULAR.

Emplear un controlador lógico programable para la secuencia de control durante la prueba funcional del sistema de lubricación API 614, en la ejecución de las pruebas funcionales requeridas para control de calidad de manera automatizada.

## JUSTIFICACIÓN

Cualquier equipo o maquinaría de funcionamiento metal mecánico requiere de un sistema de lubricación con el fin de evitar desgaste prematuro y fallas debidas al rozamiento entre metal y metal.

Hablando de máquinas rotativas sometidas a grandes esfuerzos y altas revoluciones, podemos mencionar que los sistemas de lubricación son críticos y de vital importancia. Tal es que de ahí se desprende la importancia de una normatividad para dichos sistemas de lubricación que en este caso tratamos de un Sistema de Lubricación para el rodete de una turbina de generación eléctrica.

Las particularidades que presenta el sistema son:

- Altos torques.
- Altas frecuencias en vibración.
- Calentamiento en rodamientos.

La presente tesina propone el diseño de la secuencia de la lógica de control de un sistema de lubricación API 614, el cual es usado para la lubricación de maquinaria rotatoria para la generación de energía eléctrica; dentro de la construcción de estos equipos en la actualidad las pruebas se efectúan manualmente, lo que genera altos costos por los recursos materiales y humanos que este tipo de pruebas demanda, además de que estas no aseguran una precisión y exactitud que la misma prueba requiere por lo que el porcentaje de asegurar una calidad arriba del 90% no es viable; por lo que se propone la aplicación de varias pruebas bajo el control de un PLC Siemens simatic 300\cpu312 el cual controla las variables de presión, temperatura, arranque y paro de las bombas hidráulicas buscando mayor precisión, eficiencia y control del sistema. Los equipos son normalmente diseñados en base a la norma API 614, lo cual permite que en las pruebas siempre se controlen las mismas variables permitiendo que el mismo plc, pueda emplearse en diferentes sistemas de cualquier cliente siempre y cuando el sistema sea API 614, aunque podría agregarse para varios pero él requerimiento por el momento sería para este fin en particular.

Las pruebas ejecutadas en modo manual requieren contar con un equipo multidisciplinario de trabajo por lo que en ocasiones el tiempo y la precisión de las mismas no son tan exactas y generan un costo adicional en cada prueba, siendo que las pruebas se deberán repetir tantas veces como se requiera, ya que si por ejemplo algún proceso no ha sido controlado adecuadamente esto implicara la ejecución de la prueba nuevamente y con ello un nuevo costo cada vez que se debe repetir la prueba. Siempre se genera una prueba interna y cuando menos una al cliente con el fin de demostrar que el equipo se entrega funcionando y de manera correcta, la realidad es que por cada equipo se ejecutan al menos 3 pruebas funcionales por lo que el proponer un sistema de control permitirá ejecutar estas pruebas tantas veces se requiera con la precisión y tiempo bien delimitados.

# ÍNDICE

# Índice.

**Objetivo General**…… Iii

**Objetivo Particular**…… Iii

**Justificación**…… Iii

**Capítulo I**…… 1

**1. Entorno del Problema**…… 3

1.1. Introducción…… 3

1.2. Análisis del Entorno del Problema…… 5

**Capítulo II**…… 7

**2. Marco Teórico**…… 9

2.1. Turbinas…… 9

2.1.1. Turbinas de Vapor…… 10

2.1.2. Propiedades del Vapor…… 11

2.1.3. Tipos de Turbinas de Vapor…… 15

2.1.4. Principio de Funcionamiento…… 16

2.1.5. Instalación de una Turbina de Vapor…… 18

2.2. Turbinas Industriales…… 19

2.3. Teoría sobre Lubricación…… 20

2.3.1. Viscosidad del Lubricante…… 21

2.3.2. Lubricación Límite…… 28

2.3.3. Selección del Tipo de Aceite …… 34

2.4. Tipos de Lubricantes…… 37

2.4.1 Lubricantes Líquidos…… 37

2.4.2 Lubricantes Sólidos…… 40

2.4.3 Grasas Lubricantes…… 44

2.5. Selección del Tipo de Lubricante…… 50

2.6. Sistemas de Alimentación de Lubricante…….……...……... 57

**Capítulo III**.…….…….……..…… 59

**3. Definición y Análisis del Problema**….…….…..…… 61

3.1. Problemática Actual…….……...…..……. 61

3.2. Requerimientos generales y particulares del sistema de lubricación…... 62

3.2.1. Descripción de los componentes del Sistema de Lubricación API 614…….……. 64

3.2.2. Descripción de la operación funcional del Sistema de Lubricación API 614……..…… 72

**Capítulo IV**…….. 77

**4. Diseño, Programación e Implantación**……..... 79

4.1. Diseño General del Sistema……. 80

4.1.1. Diagrama de conexiones, entradas y salidas del sistema……..... 87

4.2. Procedimiento de Prueba Funcional……...…...……...……..... 89

4.2.1. Preparación para la prueba.…….……...……... 90

4.2.2. Tablas de datos para registro de pruebas en taller……. 91

4.3. Análisis Económico….……..…….…… 96

**Conclusiones**…….…….…….. 99

**Bibliografía**….…….. 103

**Glosario**…….…….…… 107

# CAPÍTULO I

# 1. Entorno del Problema.

## 1.1. Introducción.

En las últimas décadas el auge de la automatización en el ámbito del proceso industrial ha sido muy prominente, ya que es requisito de las empresas para poder avanzar, modernizarse y mejor aún reducir gastos por la evidente disminución de procesos que el sistema de producción demanda.

En los inicios de la era industrial, los procesos se llevaban a cabo por control manual por ser estos de cierta forma simples. Con el paso de los años los sistemas fueron creciendo y a su vez la complejidad de los mismos. Exigiendo así la automatización progresiva por medio de sistemas de control. Liberando así al personal de campo de su función de actuación física directa en la planta y al mismo tiempo, le permite la labor de supervisión y vigilancia del proceso desde centros de control situados en el propio proceso o bien separados, y que gracias al control e instrumentación es posible la fabricación de procesos complejos en condiciones estables y de calidad que al operador le serían imposibles o complicados de realizar por medio de un control manual. Los procesos a controlar pueden ser constantes o repetitivos o que pocas veces se desarrollan. Las variables a controlar suelen ser las mismas como presión, temperatura, caudal, nivel, y este control varía de acuerdo al valor optimo de funcionamiento o guardando una relación determinada con otra variable.

El planteamiento de desarrollar equipos capaces de procesar y memorizar variables físicas, que integran sistemas de manejo de información; permitiendo con el advenimiento de la electrónica y el dominio tecnológico que se desarrollaron sistemas que memorizan y procesan información mediante señales eléctricas con poca energía, y con la disminución en tamaño y por ende el costo. Las variables físicas, suelen requerir

interfaces para convertir los resultados arrojados a simbología que estos equipos puedan interpretar.

Los sistemas de suministro de aceite están integrados en un paquete como una sola unidad por medio de una base metálica continua o unida. Este tipo de arreglo requiere que el cliente solo realice conexiones externas a la consola. El sistema de lubricación API 614 está integrado por un tanque de aceite, un calentador de vapor, bombas, intercambiador de calor para enfriar el aceite, filtros, válvulas de control instrumentos para medición de temperatura, presión y flujo, acumuladores de aire tuberías de proceso para conducción de fluido. En la figura 1.1.1 se observa el sistema al que se hace referencia.

Una Consola de lubricación es usada para proveer aceite de lubricación a maquinaria rotatoria y es diseñada de acuerdo con la norma API-614.

**Figura 1.1.1 Sistema de lubricación API 614.**

## 1.2. Análisis del Entorno del Problema.

Actualmente las pruebas funcionales de un sistema API 614 se llevan a cabo de modo manual, ajuste de válvulas de control medición de variables físicas como presión, temperatura y flujo esto es arranque y paro de bombas principal y auxiliar.

El arranque de motores implica el contar con sistemas de arranque manuales y que deben ser operados por personal capacitado cada vez que el proceso lo requiera, adicionalmente se debe contar con personal que controle la presión, el flujo y la temperatura durante la operación, esto es un grupo de trabajo multidisciplinario (eléctrico, ingeniero de pruebas, control de instrumentos y personal de apoyo) exclusivo para esta prueba.

Es requisito contar con varios paneles de control para cada una de las variables que se manipulan en este proceso; proponiendo un control lógico programable que permita realizar las actividades de la prueba (hasta hoy manuales) de modo automatizado, disminuyendo así el requerimiento de varios paneles y el empleo de solo uno con el fin de lograr pruebas de modo más preciso y con mayor rapidez.

El fin de esto es ofrecer al cliente una prueba funcional, confiable y con la calidad ofrecida con la prueba manual pero con mayor precisión y mayor control de procesos.

# CAPÍTULO II

# 2. Marco Teórico.

## 2.1. Turbinas.

Una turbina hidráulica es conocida como una turbomáquina motora o una bomba rotodinámica que trabaja a la inversa.

La función primordial de la turbina es absorber energía del fluido y restituirla en energía mecánica. En teoría si se suministra energía hidráulica a la máquina, e invirtiendo el flujo, una bomba podría trabajar como turbina. El rendimiento sería bajo, y a veces nulo, excepto en las máquinas especialmente diseñadas para trabajar como bomba y como turbina.

Los elementos que integran a una turbina son los siguientes:

- **Canal de Llegada.** Correspondiente a la tubería de impulsión en una bomba. Al final de la tubería forzada se instala una válvula (compuerta, mariposa, etc.), y detrás de la válvula está la entrada en la tubería.
- **Caja espiral.** Transforma presión en velocidad.
- Distribuidor. Corresponde a la corona directriz en una bomba; pero en una turbina transforma presión en velocidad y actúa como tobera.
- **Rodete**. A las bombas centrífugas con flujo en el rodete hacia el exterior corresponde el tipo de turbinas centrípetas, con flujo en el rodete hacia el interior.
- **Tubo de Aspiración.** Es el órgano de desagüe, conocido como tubo de aspiración ya que crea una aspiración o depresión a la salida del rodete. Las turbinas de acción, carecen de tubo de aspiración: en ellas el agua sale del rodete directamente al canal de salida.

Las turbinas se clasifican según el grado de reacción (0 ó ≠0) en dos grupos:

- **Turbinas de acción.** (admisión parcial) El rodete trabaja a presión constante, por lo que las presiones son iguales.
- **Turbinas de reacción.** (admisión total) En ella las presiones son diferentes. La salida de la turbina se encuentra en el nivel de aguas abajo.

### 2.1.1. Turbinas de vapor.

La historia de las turbinas de vapor tal como se conocen en la actualidad se remonta a finales del siglo XIX, cuando apareció la turbina más similar a la que conocemos ahora. Fueron De Laval inventor sueco y de Parsons contemporáneo suyo, quienes crearon las primeras turbinas de vapor. La primera turbina de vapor de acción y de un solo escalonamiento fue la de De Laval, quien presentaba una o varias toberas donde se conseguía la energía cinética justo antes de entrar en las paletas. La velocidad en este caso se podía controlar con la presión en la tobera, pero el problema residía en las altas velocidades que se alcanzaban al expansionar completamente el vapor. Esto obligaba a usar reductores en la salida del eje.

Más adelante se introdujo el árbol flexible y así aumentaron los rendimientos. Los usos iniciales de estas turbinas fueron los grandes motores de barco, que precisaban de grandes potencias.

Antes de la primera guerra mundial aun se estaba muy lejos de los conocimientos actuales sobre el comportamiento de los metales a altas temperaturas. En ese momento se trabajaba con presiones moderadas que oscilaban entre los 1.2 y 1.6 mega pascales y temperaturas inferiores a 350 °C.

Entre 1915 y 1920 ya se consiguieron potencias de 20 mega watts y de 1920 a 1940 aumentaron las presiones hasta un rango de 12 a 17 megapascales. Aparecieron las turbinas de condensación y de contrapresión y la producción combinada y aprovechamiento de energía eléctrica y energía térmica. Se generalizo el uso de aceros aliados y aumento de nuevo notablemente el rendimiento económico de las turbinas de vapor al aumentar la temperatura de trabajo.

Con la aparición de los aceros austeniticos se mejoraron las prestaciones llegando a trabajar hasta unos 35 megapascales y temperaturas iniciales de entre 500 y 580°C.

La turbina de vapor es en la actualidad uno de los motores más versátiles en cuanto a sus aplicaciones. Existen básicamente dos tipos de aplicación para la turbina de vapor, las aplicaciones industriales y la generación de energía eléctrica.

### 2.1.2. Propiedades del Vapor.

El vapor de agua, es el fluido más utilizado en las turbinas de vapor, es por lo tanto necesario hacer una descripción de sus propiedades que hacen tan extenso su empleo.

El vapor de agua no puede considerarse un gas perfecto ya que sus propiedades difieren del gas ideal, y no se pueden utilizar las ecuaciones de gas ideal para el vapor sobrecalentado.

Por otro lado las ecuaciones de gas real que rigen el comportamiento del vapor no sobrecalentado son complicadas y es por eso que se utilizan tablas termodinámicas y diagramas, ya sean **PB**, **TS** o de Molier, **HS**.

El diagrama **PV (**presión-volumen**)** de la figura 2.1.2.1 nos indica con más claridad las propiedades del vapor de agua.

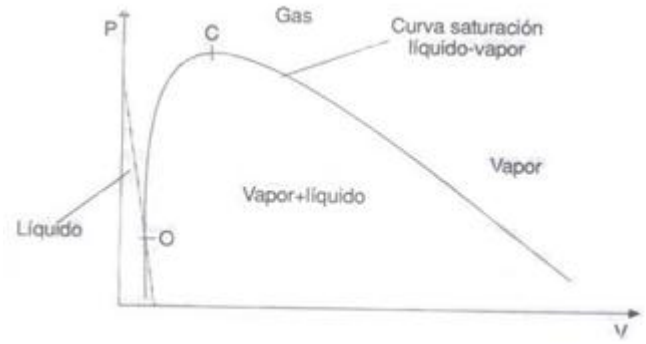



**Figura 2.1.2.1 Diagrama Presión-Volumen (PV).**

a) 0 este punto determina el punto triple del agua, es decir, el punto donde se encuentran al mismo tiempo en el estado sólido, líquido y vapor del agua y por lo tanto las tres fases se encuentran en equilibrio. A este punto corresponde una temperatura de 0.01°C, una presión de 0.0061173 bar y un volumen especifico de 0.00100022 m3/k. en este punto se ha establecido por convención que tanto la entalpia como la entropía especifica son igual a 0.

b) C este punto corresponde al punto crítico del vapor. En el estado crítico en un instante líquido puede transformarse en vapor saturado o viceversa. La temperatura crítica es el límite por encima del cual no podremos obtener agua líquida por simple compresión. Por encima de este punto tendremos gas.

**Ebullición en masa de líquidos.** La ebullición es el proceso por el cual el agua pasa de estado liquido a estado gaseoso. El proceso de ebullición tiene lugar en diferentes etapas, desde la primera aparición de burbujas de aire en las paredes de la caldera hasta la completa formación de vapor de agua. Al empezar a calentar la masa de agua se percibe la aparición de burbujas en la pared debido a los gradientes de

temperatura respecto la pared caliente y el líquido. No se trata de burbujas de vapor, puesto que todavía el líquido se encuentra a una temperatura inferior a la temperatura de saturación.

Si se sigue calentando el recipiente aumentara la temperatura del agua hasta llegar a la temperatura de saturación en las zonas cercanas a las paredes, donde empezara el cambio de fase. Se empiezan a formar las primeras burbujas que son indetectables a simple vista, pero al aumentar la temperatura del resto del fluido las burbujas crecen y se desintegran.

A este tipo de ebullición se le conoce como ebullición por nucleación subenfriada. Al seguir el calentamiento, las burbujas pasan de situarse cerca de las paredes a subir hasta la superficie debido a la fuerza de empuje vertical que las libera.

La transferencia de calor consiste entonces en el transporte de entalpia de cambio de fase por el vapor dentro de las burbujas; paralelamente las burbujas arrastran líquido caliente cercano a la pared, haciendo que el coeficiente de transferencia de calor aumente. Al prolongarse el calentamiento, aumenta el número de zonas donde existe la nucleación y al aumentar también el numero de burbujas, estas empiezan a fusionarse formando columnas de vapor. El vapor fluye hacia arriba a tal velocidad que el flujo del líquido que desciende provoca que no aumente la velocidad de ebullición.

A esta condición se le conoce por punto de quemado destructivo y da lugar a un flujo de calor por unidad de área máxima, ($\boldsymbol{qmax}$). La zona de quemado catastrófico se alcanza cuando se aumenta la potencia ($\boldsymbol{q}$) hasta llegar al valor de $\boldsymbol{qmax}$. Esta situación se vuelve inestable de modo que al efectuar un pequeño incremento de potencia provoque un aumento de la temperatura.

De hecho el fluido seguirá la curva de ebullición de tal modo que después de superar el valor de potencia máxima ***qmax***, un pequeño incremento de potencia significara pasar de la temperatura ***Ta*** a una temperatura ***Tb*** muy superior. Este gran aumento de temperatura puede tener consecuencias terribles para la caldera en el caso de que ***Tb*** se acerque o supere a la temperatura de fusión de las paredes de la caldera. En la figura 2.1.2.2 se muestra la curva de temperaturas de ebullición en masa de líquidos.

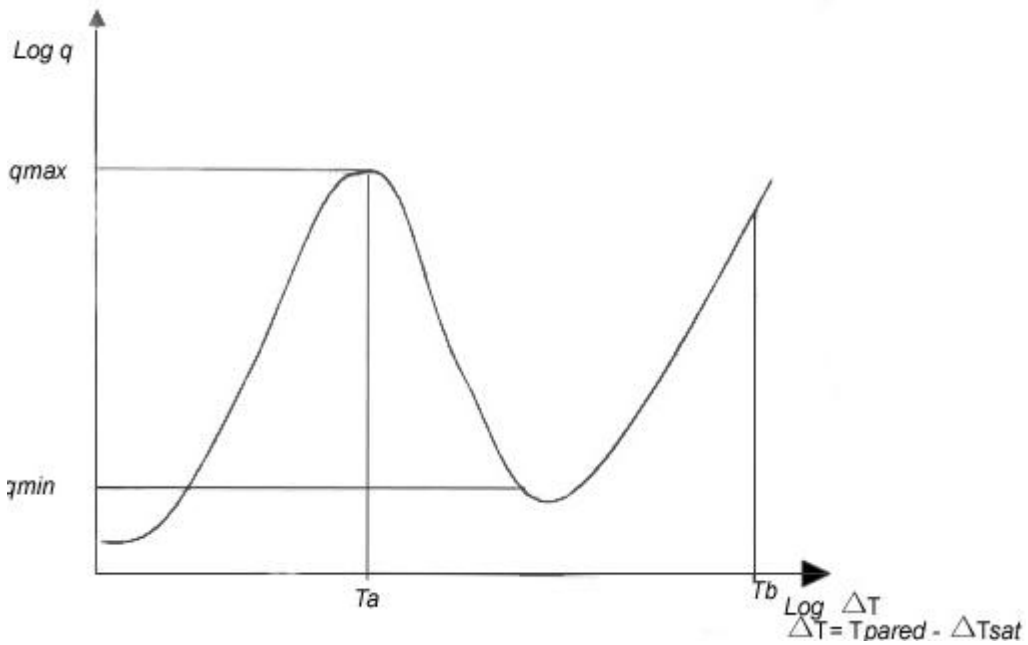



**Figura 2.1.2.2. Diagrama de ebullición en masa de líquidos.**

Para evitar problemas se deberá controlar los incrementos de temperatura y, por lo tanto, controlar los aumentos de potencia aportada al fluido a través de la caldera.

### 2.1.3. Tipos de turbinas de vapor.

**Turbinas axiales de impulso:** El rotor de la turbina está provisto de álabes, a los que precede una serie de toberas de alimentación tipo convergente-divergente, que convierte en energía de presión en energía de velocidad, prácticamente sin perder energía, para así tener chorros de vapor de alto poder dinámico que atacan directamente los álabes del rotor y lo hacen girar. En el rotor la presión se mantiene constante y disminuye la velocidad del vapor.

Es muy difícil aprovechar toda la energía cinética de los gases en un solo escalonamiento en la rutina, debido a las altas velocidades de salida en la tobera, que obligarían al rotor a[1]girar a mas de 20000 RPM, y en consecuencia, dado el diámetro de la maquina, se producirían zonas donde la velocidad periférica seria supersónica, condición que debe evitarse.

**Turbinas axiales de reacción:** En los estatores el fluido de trabajo se acelera, ganando velocidad a expensas de la presión. Las velocidades de incidencia del fluido en los álabes son menores que en las turbinas de impulso. Cuando en un mismo eje encontramos turbinas de impulso y de reacción a la vez, el diámetro de los rotores ha de ser mayor en estas últimas, para mantener la misma velocidad angular.

**Escalonamiento de velocidad**: consiste en aprovechar la energía cinética de los gases en varios pasos, obteniendo así unas velocidades de giro más bajas. En el estator, tanto la presión como la velocidad del vapor permanecen constantes. En el rotor, el vapor cede parte de su energía cinética y la presión sigue manteniéndose constante. En todos los escalonamientos se obtiene la misma potencia, ya que todos

tienen las mismas velocidades angulares, al ir montado sobre el mismo eje y al ir aumentado las superficies activas a medida que el fluido va perdiendo energía.

El rotor en este caso adopta las mismas funciones que una tobera es decir, el vapor disminuye la presión a cambio de ver aumentada su velocidad. El rotor mantiene constante la presión del vapor, pero este cede parte de su energía cinética al disminuir la velocidad.

La capacidad de conversión de energía del fluido y energía del rotor es mayor en los escalonamientos de velocidad, necesitan menos etapas, aunque en los escalonamientos de presión se pueden lograr mejores rendimientos globales. Otros tipos de turbinas de vapor pueden ser radiales, y de flujo múltiple.

### 2.1.4. Principio de funcionamiento.

Los componentes básicos de la turbina son:

1. **Los álabes** que son la parte de la turbina encargada de transformar la energía de presión en momento de torsión sobre el eje. La longitud de los álabes y el diámetro del escalonamiento han de aumentar progresivamente a lo largo de la turbina, por que el volumen específico del vapor aumenta.

2. **Cuerpo del rotor,** es el portador de los álabes móviles de la turbina.

3. **Rotor,** es una de las partes con mas solicitación térmica y mecánica. Puede construirse mediante unión soldada o por forja de un único bloque.

4. **Carcasa,** que ha de estar diseñada para soportar las reacciones de las toberas y los álabes estacionarios.

5. **Accionador del rotor,** es el dispositivo de arranque de la turbina.

6. **Tobera** que está formada por los álabes fijos.

7. **Dispositivos auxiliares,** tales como los que desempeñan la lubricación, la refrigeración; son similares a los de las turbinas de gas.

**Materiales.** En los álabes los materiales más utilizados son los aceros inoxidables de diferentes tipos. Estos aceros, además de su contenido en carbono, tienen muchas veces una fuerte cantidad de níquel en su composición que, como el titanio, evita la corrosión, y aditivos diversos como el cobalto, el molibdeno, que aumentan la resistencia a altas temperaturas. Para evitar la erosión en zonas de vapor húmedo a los álabes de la parte posterior de la turbina se recubren con aleaciones especiales. Los discos y los rotores se fabrican de aceros, más sencillos o resistentes según la potencia y la temperatura a que trabaja la turbina.

Para temperaturas muy elevadas se recurre a aceros austeniticos. Para los ejes se usan aceros al carbono martenciticos, aunque se puede recurrir a aceros aleados si los esfuerzos mecánicos y térmicos llegan a ser accesibles.

Para el cuerpo de la turbina se emplea generalmente la fundición de hierro, y a veces se recurre a la construcción soldada con chapa de acero, aunque no debe de emplearse con temperaturas de trabajo superiores a los 250° C.

### 2.1.5. Instalación de una turbina de vapor.

En todas las instalaciones de una turbina de vapor el fluido sufre los procesos de un ciclo termodinámico. En función de esos procesos los ciclos resultantes difieren unos de otros dependiendo del tipo de instalación.

El funcionamiento de una turbina de vapor no se puede separar ni concebir al menos si se emplea este como un conjunto llamado instalación motriz de vapor, compuesta por la turbina, un condensador, una bomba y una caldera de vapor como se muestra en la figura 2.1.5.1.

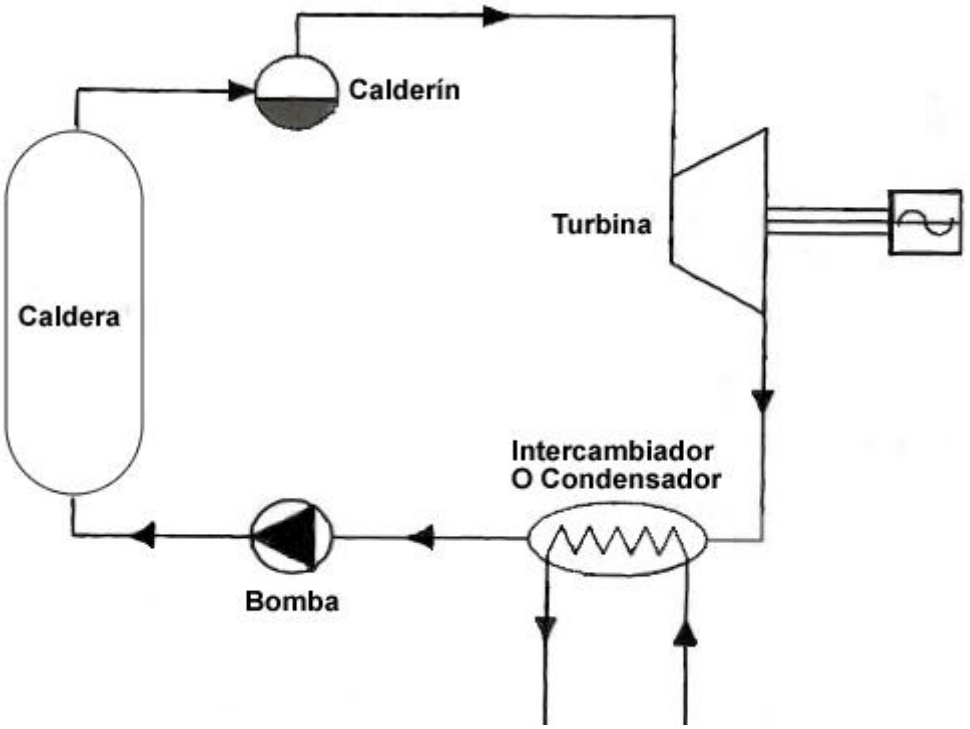



**Figura 2.1.5.1. Elementos de la Instalación de una turbina de vapor.**

La turbina de vapor es el motor térmico más grande que se fabrica. Es un motor de combustión externa, y por tanto, los gases de combustión no se mezclan con el fluido de trabajo. El intercambio de energía se suele hacer en una caldera o en otros dispositivos. La turbina es capaz de convertir la energía térmica del fluido en energía mecánica en el eje de la maquina, ya que el fluido se somete a un ciclo termodinámico.

Algunas propiedades características de la turbina de vapor son:

1. En una turbina de vapor la potencia unitaria realizable es prácticamente ilimitada, mientras que en otros tipos de motores la potencia que se puede obtener esta acotada tecnológicamente.

2. La potencia específica es unas 10 veces superior que los motores diesel.

3. El rendimiento global de las turbinas de vapor esta en torno al 35%.

4. La fiabilidad ha ido en aumento durante todo el tiempo de evolución, disminuyendo los plazos entre revisiones, al mismo tiempo que se han ido haciendo más compactas y ha aumentado constantemente su potencia específica.

## 2.2. Turbinas Industriales.

En su mayoría están formadas por un solo cuerpo, y de ellas se obtienen potencias superiores a los 0.1 megawatts e inferiores a los 150 megawatts**.** Las presiones de vapor son inferiores a los 150 bar y las temperaturas son también inferiores a los

550° **C** a la entrada de la turbina. Las velocidades de giro se encuentran entre las 3000 y las 16000 **RPM.** De entre todas ellas se pueden distinguir:

- Turbina de vapor de contrapresión, empleadas muy habitualmente para la cogeneración.
- Turbinas de vapor de pequeña y de mediana potencia para el acondicionamiento de bombas y compresores.
- Turbinas de vapor de condensación destinadas a la producción local de energía eléctrica.

La turbina de vapor es el motor número uno en importancia para la generación de energía eléctrica, tanto en centrales de combustible fósil como las de combustible nuclear. Una prueba de ello es que el 75% de la energía eléctrica del mundo proviene de centrales térmicas, en el cual las turbinas de vapor juegan un vapor preponderante.

## 2. 3. Teoría sobre lubricación.

Donde quiera que haya movimiento relativo entre dos superficies en contacto, habrá resistencia a ese movimiento. A esta resistencia se le llama fuerza de fricción. Cuando ésta existe con frecuencia es deseable reducir, controlar o modificarla.

Se llama lubricante a la sustancia capaz de disminuir el rozamiento entre dos superficies en movimiento. Hablando en sentido amplio, cualquier proceso por medio

del cual se reduce la fricción en un movimiento de contacto se puede describir como lubricación.

Se ha obtenido la reducción de fricción al introducir un material sólido ó líquido, llamado lubricante entre las superficies de contacto, de manera que las superficies en movimiento relativo quedan separadas por una película de lubricante.

Los lubricantes antes consistían en relativamente pocos tipos de material, como los aceites naturales ó minerales, grafito, disulfuro de molibdeno y talco; y la relación entre los lubricantes y el proceso de lubricación era clara y poca ambigua.

Los desarrollos tecnológicos recientes han hecho confusa esa imagen anteriormente clara. La reducción de la fricción puede ahora proporcionarse por medio de líquidos, sólidos ó gases, ó por modificación física ó química de las superficies mismas.

Por otro lado, los componentes deslizantes se pueden fabricar de un material diseñado para que el mismo reduzca la fricción ó dentro del cual se ha dispersado de manera uniforme ó no uniforme un lubricante. Algunas veces a este tipo de sistemas se les nombra sistemas sin lubricación, pero se trata claramente de una cuestión de terminología. El sistema puede estar lubricado de una manera no muy usual, pero no está ciertamente sin lubricación.

### 2.3.1. Viscosidad del lubricante.

La viscosidad de los lubricantes se define como la resistencia de un líquido a fluir es la característica más importante para la elección de los aceites se divide en dos formas diferentes en viscosidad dinámica ó absoluta y en viscosidad cinemática.

**Viscosidad dinámica ó absoluta:** es la relación entre el esfuerzo cortante y la razón de corte resultante cuando fluye un fluido. En unidades del sistema internacional se mide en pascal-segundos por metro cuadrado, pero la unidad centímetro-gramo-segundo, el centipoise es aceptado de manera más amplia, ya que es la unidad de viscosidad que se emplea en cálculos basados en la ecuación de Reynolds y en las diversas ecuaciones de lubricación elastohidrodinámica.

V**iscosidad cinemática**: Es igual a la viscosidad dinámica divida entre la densidad. La unidad en el sistema internacional es metro cuadrado por segundo, pero la unidad CGS, el centistoke, es aceptada de manera más amplia, ya que es la unidad que más se utiliza para los proveedores y usuarios para lubricantes.

En la práctica, la diferencia entre la viscosidad cinemática y la viscosidad dinámica no es de mayor importancia para aceites lubricantes, porque sus densidades a las temperaturas de operación quedan entre 0.8 y 1.2. Sin embargo, para algunos aceites sintéticos fluorados con altas densidades y para gases, la diferencia puede ser significativa.

Las viscosidades de la mayor parte de los aceites lubricantes están entre 10 y más o menos 600 **cSt** a la temperatura de operación, con una mediana de 90 **cSt.** Las viscosidades más bajas son aplicables más en cojinetes que en engranes, así como en donde las cargas sean ligeras, las velocidades altas, ó el sistema este completamente cerrado. Inversamente las viscosidades más altas se seleccionan para engranes y donde las velocidades son bajas, las cargas son altas, y el sistema este bien ventilado.

Algunos intervalos típicos de viscosidad a las temperaturas de operación se muestran en la tabla 2.3.1.1:

| Lubricante | Intervalo de viscosidad .cSt |
|---|---|
| Aceites de relojes e instrumentos | 5-20 |
| Aceites de motores | 10-50 |
| Aceites para cojinetes de rodillos | 10-300 |
| Aceites de cojinetes simples | 20-1500 |
| Aceites para engranes de velocidad media | 50-150 |
| Aceites para engranes hipoidales | 50-600 |
| Aceites para engranes de gusano | 200-1000 |

**Tabla 2.3.1.1. Viscosidad de algunos aceites a la temperatura de operación.**

La variación de la viscosidad del aceite con la temperatura será muy importante en algunos sistemas, en donde la temperatura de operación puede ser que varíe en algún intervalo muy amplio ó que sea muy diferente de la temperatura de referencia para la que se califica la viscosidad del aceite.

La viscosidad de cualquier líquido disminuye a medida de que la temperatura aumenta, pero la velocidad de disminución puede variar considerablemente de un líquido a otro.

La figura 2.3.1.2 nos muestra el cambio de viscosidad con la temperatura para algunos aceites lubricantes típicos.

Una representación gráfica es la manera más útil de mostrar este tipo de información, pero es más común calificar con el índice de viscosidad ($VI$).

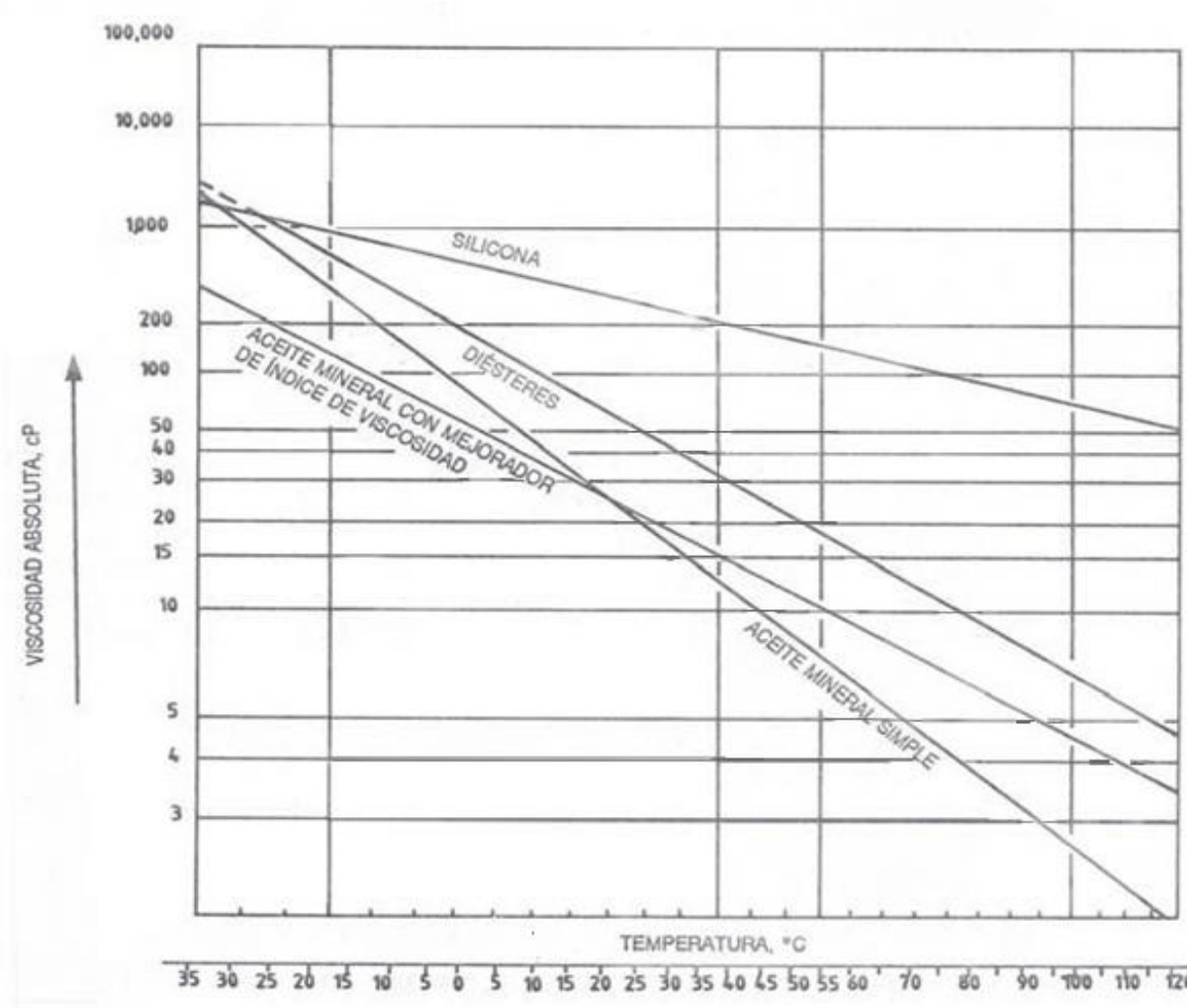



**Figura 2.3.1.2. Cambio de viscosidad con la temperatura para algunos aceites lubricantes típicos.**

El índice de viscosidad se define como la relación temperatura-viscosidad de un aceite en una escala arbitraria en comparación con dos aceites estándar. Uno de esos aceites estándar tiene una viscosidad de 0, lo que representa el cambio de viscosidad más rápido con la temperatura que se haya encontrado con un aceite mineral. El segundo aceite estándar tiene un índice de viscosidad de 100, lo que representa el cambio más bajo de viscosidad en relación con la temperatura que se haya encontrado en un aceite mineral que no contenga aditivos relevantes.

La ecuación para el cálculo del índice de viscosidad es:

$$VI = \frac{100(L-U)}{L-H}$$

Donde:

**U**= Viscosidad de la muestra en centistoke a 40 grados centígrados.

**L**= Viscosidad en centistoke a 40 grados centígrados del aceite de índice de viscosidad o que tenga la misma viscosidad a 100 grados centígrados que el aceite de prueba.

**H**= Viscosidad a 40 grados centígrados del aceite índice de viscosidad 100 que tenga la misma viscosidad a 100 grados centígrados que el aceite de prueba.

Algunos aceites sintéticos pueden tener un índice de viscosidad arriba de 150 de la definición anterior, pero la aplicabilidad de la definición de valores tan altos es dudosa.

El índice de viscosidad se puede incrementar hasta un 20%, disolviendo en él una cantidad de un polímero adecuado, llamado mejorador del índice de la viscosidad.

La escala SAE de clasificación de viscosidad se usa ampliamente y se puede ver en la tabla 2.3.1.3.

| SAE no. | Viscosidad máxima a —18°C, cP | Viscosidad a 100°C, cSt | |
|---|---|---|---|
| | | Mínima | Máxima |
| Aceites para máquinas | | | |
| 5W | 1 250 | 3.8 | |
| 10W | 2 500 | 4.1 | |
| 20W† | 10 000 | 5.6 | |
| 20 | ..... | 5.6 | <9.3 |
| 30 | ..... | 9.3 | <12.5 |
| 40 | ..... | 12.5 | <16.3 |
| 50 | ..... | 16.3 | <21.9 |
| Aceites para engranes | | | |
| 75 | 3 250 | | |
| 80 | 21 600 | | |
| 90 | ..... | 14 | <25 |
| 140 | ..... | 25 | <43 |
| 250 | ..... | 43 | |

**Tabla 2.3.1.3. Clasificación de Viscosidad de la escala SAE.**

Es posible que un aceite satisfaga más de una de las clasificaciones. Un aceite sintético con un alto índice de viscosidad podría satisfacer los criterios 20**W** y 30 y se denominaría entonces aceite multigrado 20**W**/30. Más común sería que un aceite de índice de viscosidad mejorado satisficiera los criterios 20**W** y 50 y se le llamaría entonces aceite multigrado 20**W**/50.

De manera teórica el índice de viscosidad es importante sólo cuando se tienen variaciones importantes de temperatura, pero de hecho existe una tendencia a usar solamente aceites de alto índice de viscosidad en la elaboración de lubricantes de alta calidad.

Como resultado, un índice alto de viscosidad se considera con frecuencia un criterio de la calidad del lubricante, aun en los casos en que el índice de viscosidad sea de poca importancia ó de ninguna.

**Untuosidad**. Es la capacidad que tienen aceites de adherirse a la superficie de los órganos lubricados. No se valora porque no existe una unidad de medida ni aparatos normalizados que permitan su medición.

**Punto de inflamación.** Es la temperatura a la cual, bajo ciertas condiciones, hay que calentar un lubricante para que los vapores emitidos se inflamen al aproximar una llama.

**Punto de combustión**. Es la temperatura que debe alcanzar un lubricante para que empiece a arder ininterrumpidamente. Se considerará llegado al punto de combustión cuando el lubricante arda durante cinco segundos por lo menos.

**Porcentaje de coquización.** Los aceites que son sometidos a temperaturas demasiado elevadas y que no disponen del aire suficiente para arder debidamente se carbonizan, produciendo una especie de coque que perjudica la superficie lubricada. Para determinar la tendencia a la coquización, se calcula el porcentaje de coque producido en una atmósfera limitada.

**Punto de congelación**. Es la temperatura a la cual los aceites dejan de fluir, solidificándose. Se determina enfriando progresivamente el lubricante en un tubo de ensayo hasta que éste se pueda poner horizontal sin que el aceite se derrame.

**Punto de descongelación.** Es la temperatura a la cual, en el calentamiento, deja de estar bloqueada una pieza que había quedado sujeta por el lubricante al congelarse éste.

### 2.3.2. Lubricación límite.

Es importante en los casos en que existe un contacto de sólido-sólido entre las superficies en deslizamiento. Para entender la lubricación límite, es útil considerar primero lo que sucede cuando dos superficies metálicas se deslizan una contra otra sin que exista presencia de algún lubricante.
Unas cuantas orientaciones para metales comunes son las siguientes:

1) Los metales idénticos en contacto tienen una fuerte tendencia a adherirse.
2) Los metales suaves tienen una tendencia más fuerte a adherirse que los metales duros.
3) Los elementos de aleación no metálicos tienden a reducir la adhesión.
4) El hierro y sus aleaciones tienen baja tendencia a adherirse al plomo, plata, estaño, cadmio y cobre y una elevada tendencia a adherirse al aluminio, zinc, titanio y níquel.

Las superficies reales de los metales, generalmente están contaminadas, especialmente por películas de sus propios óxidos. Tales películas de contaminantes reducen comúnmente la adhesión y en consecuencia reducen la fricción y el desgaste.
Las películas de óxidos son en particular buenos lubricantes, excepto para el titanio. Por lo tanto, la fricción y el desgaste pueden reducirse, por lo común, generando de manera deliberada películas apropiadas de contaminante en superficies metálicas. En donde no hay lubricante líquido, tal proceso es un tipo de lubricación seca ó sólida. Cuando el proceso de formación de la película tiene un lugar en un lubricante líquido, a ese proceso se le llama lubricación límite.

Las películas de lubricación límite se producen de varias maneras, que difieren en la severidad del proceso de formación de película y en la efectividad de la película resultante.

El proceso más benigno de formación de película es adsorción, en el cual una capa de una o más moléculas de espesor se forma sobre una superficie solida por pura atracción física. Las películas adsorbidas son efectivas para reducir la fricción del desgaste, puesto que la película resultante es lo suficientemente gruesa.

En la figura 2.3.2.1 se muestra en forma de diagrama la forma en la cual la adsorción de un alcohol de cadena larga genera una película gruesa sobre una superficie metálica aun cuando la película sea de solo una molécula de espesor.

Los aceites minerales mantienen con frecuencia cantidades pequeñas de compuesto naturales que producen películas adsorbidas de utilidad. Estos compuestos incluyen los hidrocarburos no saturados (olefinas) los no hidrocarburos que contengan oxigeno, nitrógeno o átomos de azufre. Los aceites de origen vegetal y las grasas animales también producen películas adsorbidas fuertes y por esa razón se pueden añadir en pequeñas concentraciones a los aceites minerales. Otros aditivos dulces limite incluyen los alcoholes de cadena larga como el alcohol de laurilo y esteres como el estearato de tilo o el oleato de tilo.

Las películas limite adsorbidas se quitan muy fácilmente, ya sea en forma mecánica o aumentando la temperatura. Por medio de quimiadsorción se genera una película más resistente, en la cual tiene lugar una reacción suave entre la superficie metálica de un compuesto apropiado.

Los compuestos quimiadsorbidos típicos incluyen los ácidos grasos, los ácidos oleicos y esteáricos. En la figura 2.3.2.1 se muestra una película quimiadsorbida en forma de diagrama.

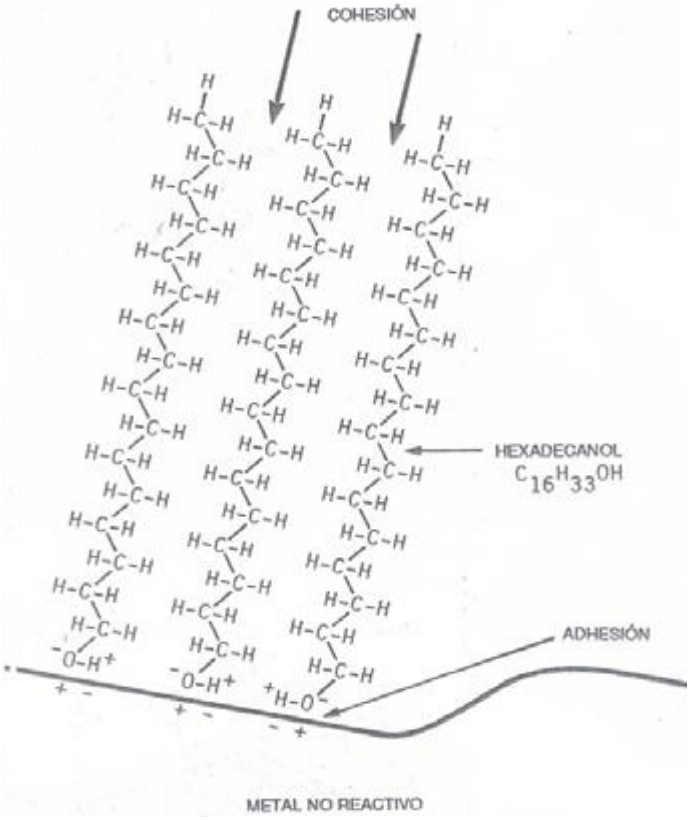



**Figura 2.3.2.1. Diagrama de una película quimiadsorbida de un alcohol.**

Los procesos por los cuales los modernos aditivos de lubricantes limite generan películas superficiales pueden ser muy complejos.

Un solo aditivo como el fosfato de trixililo puede ser adsorbido inicialmente sobre la superficie metálica, después reaccionar para formar una película quimiadsorbida de fosfato organométalico y, finalmente, bajo severo deslizamiento o calentamiento, reaccionar para formar fosfato o fosfuro metálico.

Por regla general los compuestos de los lubricantes límite solamente deben de usarse cuando las condiciones de uso lo requieran.

La lubricación límite es un proceso muy complejo. A parte de las técnicas de formación de película, descritas con anterioridad, existen otros efectos que probablemente constituyen una importante contribución para la lubricación límite:

1. **Efecto Rehbinder.** La presencia de moléculas activas en la superficie adyacente para una superficie metálica disminuye la resistencia de fluencia. Puesto que muchos lubricantes límite son más o menos activos en la superficie, se puede esperar que reduzcan los esfuerzos desarrollados cuando interactúan las asperezas.

2. **El aumento de viscosidad adyacente a la superficie metálica**. Este efecto es motivo de controversia pero parece probable que la interacción entre las moléculas adsorbidas y el aceite en ambiente libre pueda producir un espesamiento grasoso o atrapar moléculas de aceite, adyacentes a la superficie.

3. **Efectos microelastohidrodinámicos.** La interacción entre dos moléculas que se deslizan una con otra en un liquido es semejante a la que tiene lugar entre los dientes de engranes, y en la misma forma se puede esperar que genere lubricación elastohidrodinámica a una escala microscópica. El aumento de viscosidad de lubricante de las asperezas tienden ambas a reducir la fricción y el desgaste. El termino lubricación microelastohidrodinámica se usa para describir este complicado proceso.

4. **Calentamiento.** Aun en el caso de deslizamiento bien lubricado existirán efectos transitorios de calentamiento en las interacciones de asperezas, y

estas reducirán el modula y la resistencia de fluencia en las interacciones de aspereza.

**Problemas del deterioro**. En teoría, si se han seleccionado las propiedades correctas de viscosidad y de límite, entonces se satisfacen las necesidades de lubricación. En la práctica, existe una complicación adicional: el aceite se deteriora y gran parte de la tecnología de los lubricantes y los aditivos se refiere a la reducción o compensación del deterioro.

Los tres tipos de deterioro importantes son la oxidación, la descomposición térmica y la contaminación. Un cuarto efecto a largo plazo es la reacción con otros materiales en el sistema, lo que debe considerarse de compatibilidad.

La oxidación es el proceso de deterioro más importante debido a que en un periodo largo aun a la temperatura atmosférica, casi todos los lubricantes muestran algún grado de oxidación. Los aceites con base en petróleo producidos por técnicas de refinación se oxidan fácilmente arriba de los 120° centígrados para producir compuestos ácidos, lodos y lacas. Tales aceites refinados no se mejoran mucho al agregarles antioxidantes. Una refinación más severa o la hidrogenación produce un aceite mas elevadamente parafínico, el cual absorbe oxigeno más fácilmente pero sin producir tales productos de oxidación perjudicial. Es más importante que la resistencia a la oxidación de tales aceites muy refinados se mejore con la adición de inhibidores adecuados de oxidación.

Los aceites más modernos, con base de petróleo, se refinan mucho para dar productos consistentes con un intervalo grande de temperatura de operación. En ese caso, los antioxidantes son una parte importante de la formulación de casi todos los lubricantes modernos. Los antioxidantes que se usan con mayor frecuencia son las aminas, fenoles inhibidos, fosfitos orgánicos y compuestos organométalicos. Un

aditivo particularmente importante es el ditiofosfato dietílico de zinc, que es un antioxidante muy efectivo y también tiene propiedades útiles de lubricación frontera y de inhibición de la corrosión.

Si no hay oxigeno presente, los lubricantes pueden usarse a temperaturas mucho más elevadas sin que se descomponga. En otras palabras, su estabilidad térmica es mayor que su estabilidad ante la oxidación este efecto se puede ver en la tabla 2.3.2.2.

| Condición del Aceite | Vida, h | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 10 | $10^2$ | $10^3$ | $10^4$ |
| Límite de estabilidad térmica; oxígeno presente insignificante. | 415 a 435 | 385 a 405 | 320 a 375 | 320 a 340 | 290 a 310 |
| Límite dependiente de la cantidad de oxigeno presente y de la presencia o ausencia de catalizadores. | 190 a 415 | 170 a 385 | 140 a 355 | 155 a 320 | 90 a 290 |
| Límite impuesto por la oxidación cuando el suministro de oxigeno es ilimitado; para aceites con antioxidantes | 175 a 190 | 155 a 170 | 125 a 140 | 100 a 115 | 80 a 90 |
| Límite impuesto por la oxidación cuando el suministro de oxigeno es ilimitado; para aceites sin antioxidantes | 155 a 165 | 130 a 140 | 95 a 110 | 65 a 80 | 35 a 50 |
| Límite inferior de temperatura impuesto por el punto de vaciado; varia con la fuente del aceite, la viscosidad, el tratamiento y los aditivos. | -65 a 0 | -65 a 0 | -65 a 0 | -65 a 0 | -65 a 0 |

**Tabla 2.3.2.2. Efectos de la estabilidad térmica y de oxidación de los aceites.**

En sistemas de alto vacio como naves espaciales o microscopios electrónicos no hay contacto con el oxigeno. Pero en el alto vacio un aumento de temperatura tiende a vaporizar el aceite, de suerte que una alta estabilidad térmica es de poco o de ningún valor. Se deduce que es más importante la estabilidad ante la oxidación que la estabilidad térmica.

### 2.3.3. Selección del tipo de aceite.

Durante casi 150 años, la disponibilidad, el rendimiento adecuado, la variedad y lo barato de los aceites minerales los han convertido en la primera opción para la mayoría de las aplicaciones. Todavía representan el 90% del uso total de lubricantes, pero muchos otros líquidos se han empleado con éxito como lubricantes y pueden obtener características especiales que los convertirán en la mejor opción en situaciones particulares.

En la tabla 2.3.3.1 se observan la mayoría de los tipos importantes de aceites lubricantes y sus ventajas y desventajas en comparación con los aceites minerales.

| Problema | Solución |
|---|---|
| 1. Ataque de aceites minerales sobre caucho natural | Cambio a caucho de nitrilo o a neopreno |
| 2. Ataque de aceites sintéticos sobre caucho natural, nitrilo u otros cauchos | Cambio al caucho apropiado para el aceite específico, por ejemplo, Viton, butilo de resina curada, o EPR |
| 3. Ataque de aceites sintéticos sobre plásticos o pinturas | Cambio a plásticos resistentes como el PTFE, polimido, polisulfon, o sulfuro de polifeníleno |
| 4. Corrosión por agua disuelta | Uso de aditivos inhibidores del óxido, como los sulfonatos |
| 5. Corrosión por productos con degradación ácida | Uso de inhibidores de corrosión como el ZDDP, o agregar antioxidantes para reducir la degradación |
| 6. Corrosión por aditivos de aleaciones de cobre o acero dulce | Úsense aditivos EP menos poderosos, o cámbiese a metales resistentes a la corrosión |
| 7. Corrosión por aceites sintéticos | Cambio a metales o revestimiento más resistente |

**Tabla 2.3.3.1. Ventajas y desventajas de los Aceites lubricantes.**

Los aceites naturales comprenden una amplia variedad de compuestos de origen vegetal ó animal que, consisten principalmente en esteres orgánicos. Todos ellos tienen mejor propiedades para baja fricción y lubricación límite que los aceites minerales, pero tienen una menor estabilidad térmica y ante la oxidación. Antes de que hubiera una gran disponibilidad de aceites minerales, los aceites y grasas naturales fueron los lubricantes más comunes y varios de ellos todavía se utilizan, gracias a sus propiedades, como se pueden ver en la tabla 2.3.3.2:

| Tipo de aceite | Usos |
|---|---|
| 1. Aceite de semilla de ricino | a. Para reducir la fricción en cojinetes simples cuando el espesor de la película de aceite sea inadecuado agregando de 5% a 10% de aceite mineral.<br>b. En el formado de metales para darles baja fricción y propiedades EP sin oxidar o carburar.<br>c. Se ha usado como lubricante en colado continúo. |
| 2. Aceite de ricino | a. Como fluido hidráulico de baja viscosidad por compatibilidad con el hule natural.<br>b. Para proporcionar bajo arrastre viscoso y buena lubricación límite en motores de carros de carreras y en los primeros motores de aviones. |
| 3. Sebo | a. Para baja fricción en el formado de metales. |
| 4. Aceite de esperma | a. Para lubricación límite sobresaliente en el corte de metales, en especial en forma sulfurada; ahora virtualmente obsoleto debido a las leyes de protección para las ballenas. |

**Tabla 2.3.3.2. Empleo de aceites según sus propiedades.**

Los diesteres fueron los primeros lubricantes sintéticos que se utilizaron en grandes cantidades. Su mayor estabilidad térmica y de oxidación los hicieron más adecuados que los aceites minerales para lubricación de turbinas de gas y por los años 60 se usaron casi universalmente para motores de aviones, y para las condiciones aun

más exigentes se desarrollaron los esteres más complejos como los fenoles inhibidos y los triesteres.

Otros fluidos sintéticos, como las siliconas, las siliconas clorinadas, las siliconas fluoradas, los hidrocarburos fluorados, los ésteres polifenílicos y otros, se usan en cantidades relativamente pequeñas por su estabilidad a temperaturas altas, pero como lubricantes todos son muy inferiores y muy costosos.

Los aceites minerales pueden considerarse como los aceites normales y de uso común, y los tipos alternos se usan solo cuando pueden ofrecer alguna ventaja particular sobre los aceites minerales. La siguiente tabla nos resume la selección del tipo de aceite en relación de propiedades especiales que se requieran.

Pueden ocurrir problemas serios de incompatibilidad con los aceites lubricantes, en especial con materiales no metálicos, como los sellos y mangueras de hule. La tabla 2.3.3.3 despliega algunos de esos problemas.

| Propiedad requerida | Selección de tipo de aceite |
|---|---|
| 1. Amplio intervalo de viscosidades | Aceite mineral; silicona, poliglicol |
| 2. Buena lubricación límite | Aceite o grasa natural; aceite mineral con aditivos apropiados; éster de fosfato |
| 3. Vida larga | Aceite mineral; silicona, fluorocarburo; éster; éter polifenílico |
| 4. Alta estabilidad ante la temperatura | Éter polifenílico; fluorocarburo; silicona; éster |
| 5. Resistencia al fuego | Emulsiones; fluorocarburo; fluorosilicona; bifenilo clorinado; éster de fosfato |
| 6. Bajo costo | Emulsiones, aceite mineral |

**Tabla 2.3.3.3. Selección de aceite de acuerdo a la propiedad requerida.**

## 2.4. Tipos de Lubricantes.

Según su consistencia, los lubricantes se pueden clasificar en sólidos, líquidos, pastosos. Dentro de cada clase, pueden ser de origen mineral, vegetal y animal.

### 2.4.1. Lubricantes Líquidos.

Llamados en general aceites lubricantes, se dividen en cuatro subgrupos:

1. **Aceites minerales**. Obtenidos de la destilación fraccionada del petróleo y también de ciertos carbones y pizarras.
2. **Aceites de origen vegetal y animal.** Son denominados también aceites grasos y entre ellos se encuentran: aceite de lino, de algodón, de colza, de oliva, de tocino, de pezuña de buey, glicerina, etc.
3. **Aceites compuestos.** Formados por mezclas de los dos primeros, con la adición de ciertas sustancias para mejorar sus propiedades.
4. **Aceites sintéticos**. Constituidos por sustancias líquidas lubricantes obtenidas por procedimientos químicos.

Tienen la ventaja sobre los demás de que su formación de carbonillas es prácticamente nula. Su inconveniente consiste en ser más caros. Entre los subgrupos mencionados, merecen especial atención los aceites minerales, por ser los lubricantes líquidos más empleados. Se obtienen por la destilación del petróleo bruto, del cual se originan también otros productos (éter, gasolina, petróleo, gasoil, fuel-oil, etcétera). Una vez destilados, son convenientemente tratados para purificarlos y mejorar sus propiedades básicas con aditivos.

La propiedad más importante por sí sola de un lubricante líquido es su viscosidad. La figura 2.4.1.1 muestra cómo la viscosidad del lubricante afecta la naturaleza y la calidad de la lubricación. A esta curva normalmente se le conoce como la curva de stribeck.

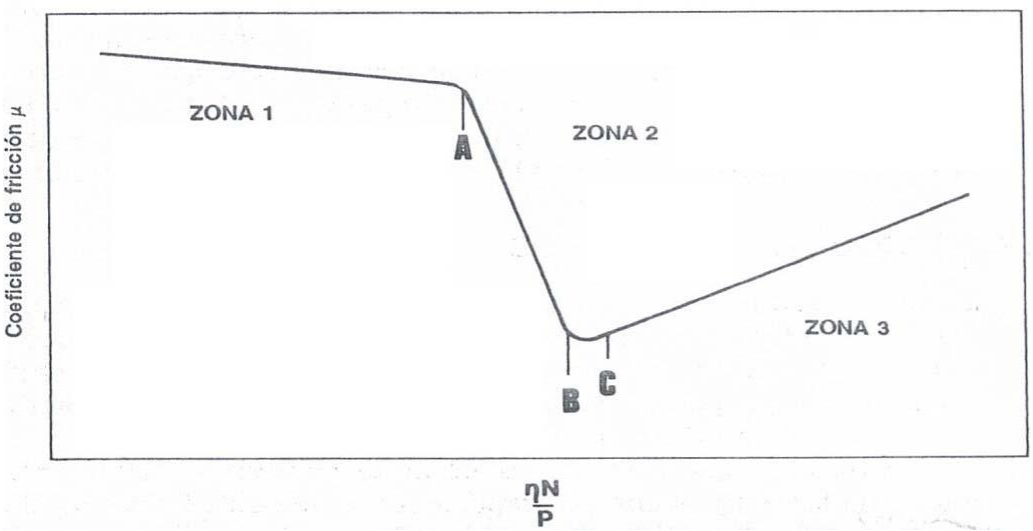



**Figura 2.4.1.1. Zonas de la curva de stribeck.**

La expresión *N/p* se conoce como el número de Sommerfeld, en el que η es la viscosidad del lubricante, N representa la velocidad relativa del movimiento de las caras opuestas del cojinete, y P es la presión media ó carga específica soportada por el cojinete.

La gráfica se divide en tres zonas. En la zona 3 las superficies del cojinete están completamente separadas por una película espesa de lubricante líquido. Ésta es, en consecuencia, la zona de lubricación de película espesa ó lubricación hidrodinámica, y la fricción es enteramente viscosa por el hecho de compartir mecánicamente la película del líquido. No existe contacto entre las superficies que interactúan y por ello virtualmente no hay desgaste.

A medida que decrece la viscosidad en la zona 3, el espesor de la película del líquido también disminuye hasta que en el punto C es apenas el suficiente para asegurar una separación completa de las superficies. Una reducción adicional de la viscosidad, y en consecuencia del espesor de la película, produce un contacto ocasional entre las asperezas de las superficies. La fricción relativamente alta en contactos entre las asperezas desplaza la reducción continua de la fricción viscosa, de manera que en el punto B la fricción es aproximadamente igual a la que existe en C. El punto C es el punto ideal para proporcionar un desgaste cero con una fricción casi mínima, pero en la práctica el objetivo de diseño estará ligeramente a la derecha de C, para proporcionar un margen de seguridad.

La zona 1, a la izquierda del punto A, es la zona de lubricación límite ó frontera. En esta zona, las propiedades químicas y físicas del lubricante que no sean su viscosidad en bruto son las que controlan la calidad de lubricación.

La zona 2, entre los puntos A y B, es la zona de lubricación mixta en la cual la carga es soportada parcialmente por la película del lubricante líquido y parcialmente por interacción de asperezas.

Una ecuación importante es la de relación entre la viscosidad y espesor de la película de aceite, que está dada por la ecuación de Reynolds, que se muestra a continuación:

$$\frac{\delta}{\delta x}\left(h^3\frac{\delta\rho}{\delta x}\right)+\frac{\delta}{\delta z}\left(h^3\frac{\delta\rho}{\delta z}\right)=\eta\left(6U\frac{\delta h}{\delta x}+6h\frac{\delta U}{\delta x}+12V\right)$$

Donde:

**h**= Espesor de la película lubricante.

**ρ**= Presión.

**X, z**= Coordenadas.

**U, V**= velocidades en las direcciones **x** y **z**.

### 2.4.2. Lubricantes sólidos.

Los lubricantes sólidos se emplean cuando las piezas han de funcionar a temperaturas muy extremas y cuando intervienen elevadas presiones unitarias. Los más empleados son el grafito y el bisulfuro de molibdeno, que sirven para fabricar cojinetes autolubricados y como aditivos de aceites y grasas. También se emplean para el mismo fin, materiales tan variados como talco, mica, azufre, parafinas, etc.

Cualquier material solido puede actuar como lubricante solido siempre y cuando reciba el esfuerzo cortante fácil y suavemente cuando este entre superficies deslizantes. La tabla 2.4.2.1 muestra algunos de los sólidos del rango tan amplio o variedad que se pueden usar.

| Compuestos de red cristalina en capas | |
|---|---|
| Disulfuro de molibdeno | Grafito |
| Disulfuro de tungsteno | Disulfuro de tungsteno |
| Diselenuro de niobio | Fluoruro de calcio |
| Fluoruro de grafito | |
| **Polímeros** | |
| PTFE | PTFCE |
| $PVF_2$ | FEP |
| Acetal | Poliamida |
| Sulfuro de polifenileno | Polisulfuros |
| **Metales** | |
| Plata | Oro |
| Estaño | Plomo |
| Bario | Galio |
| **Otros inorgánicos** | |
| Nitruro de boro | Trióxido de molibdeno |

**Tabla 2.4.2.1. Variedad de Lubricantes sólidos.**

Existen otras propiedades deseables, incluyendo las siguientes:

1. Capacidad para adherirse a una o ambas de las superficies del cojinete para asegurar la retención en el área de contacto.
2. Estabilidad química en el intervalo de temperatura requerido en el medio ambiente.
3. Suficiente resistencia al desgaste.
4. No toxica.
5. De fácil aplicación.
6. Economía.

La mayoría de los materiales de que se dispone se eliminan por medio de estos requisitos, y en la práctica, casi toda la lubricación solida es proporcionada por tres materiales: grafito, disulfuro de molibdeno y politetrafluoroetileno (**PTFE**).

Los lubricantes sólidos pueden usarse en diferentes formas, como polvo suelto, polvo adherente, película pegada o bloque sólido. En la forma de bloque sólido, el material es llamado con frecuencia material de rodamiento seco.

**Grafito.** El grafito es probablemente el más viejo y conocido de los tres lubricantes sólidos y ha dejado de ser el dominante a partir de 1950. Es una forma cristalina de color negro grisáceo de carbón en la que los átomos se acomodan hexagonalmente en capas monoatómicas. Los fuertes enlaces químicos entre los átomos de carbón le dan resistencia a las capas, de manera que resistan la flexión o la fractura y pueden soportar cargas útiles.

Cuando se usa el grafito como lubricante, los cristales se orientan a sí mismos de manera que las capas son paralelas a la superficie de los cojinetes. Las capas se

adhieren entonces bastante bien a las superficies de rodamiento, pero se deslizan fácilmente una sobre la otra para proporcionar una baja fricción.

Las reducidas fuerzas cortantes, y en consecuencia la baja fricción, no son una propiedad inherente al grafito, si no que son fuertemente influidas por la presencia de humedad y de otros absorbentes. Si se usa el grafito en una atmósfera muy seca, las capas de cristales tienen fuerzas de enlace entre las capas, bastante altas, y la fricción y el desgaste son elevados.

La mayor ventaja del grafito sobre el disulfuro de molibdeno y sobre el **PTFE** es su conductividad eléctrica, y se usa en forma casi universal como parte de las escobillas eléctricas. Su coeficiente de fricción varía de 0.05 con cargas altas, a 0.15 con cargas bajas, y estos bajos se mantienen hasta los 500°**C** en aire.

En forma de bloque, tiene una integridad estructural bastante elevada. Se usa comúnmente de forma impura como carbono grafitado, en el que el grado de cristalización puede variar de 20 hasta el 80% de grafito cristalino. El grafito se puede usar en manera de bloque, como polvo libre o como una capa depositada por medio de la dispersión de un líquido. Se adhiere fácilmente a las superficies sólidas, pero probablemente su resistencia de adhesión es generalmente más baja que la del disulfuro de molibdeno.

**Disulfuro de molibdeno.** Este se conoce también como lubricante sólido desde hace siglos, pero debido a su apariencia similar a menudo se le ha confundido con el grafito. Su utilización ha aumentado enormemente desde 1950, y para aplicaciones de alta tecnología se le prefiere en general sobre el grafito. En forma cruda el disulfuro de molibdeno se halla de forma natural, algunas veces en cantidades muy grandes, como molibdenita, el mineral más común del molibdeno.

El molibdeno es un material cristalino gris oscuro con una estructura hexagonal en capas en forma de celosía. La resistencia de los enlaces dentro de las capas es muy alta, mientras que lo que está entre capa y capa es muy baja. Por tanto, la capacidad normal de soportar una carga en los planos de los cristales es muy alta; pero la resistencia al corte en forma paralela a las capas de cristales es muy baja.

A diferencia del grafito, el disulfuro de molibdeno no necesita de humedad o de otros vapores para proporcionar baja resistencia interplanar. Su baja fricción es, en consecuencia una propiedad inherente que se mantiene en el alto vacío y en atmósferas secas.

El disulfuro de molibdeno comienza a oxidarse de manera significativa por arriba de los 350°C en atmósfera de oxígeno ya 450°C en el aire, pero el producto principal de la oxidación es el oxido molibdenico, que es por sí mismo un buen lubricante a elevada temperatura. Se dice que al alto vacio el disulfuro es estable a 1000° C, y se gasifica muy lentamente, de manera que se ha usado de forma amplia en el espacio.

La adhesión a los metales y muchas otras superficies solidas es excelente, y se pueden producir recubrimientos durables en superficies metálicas quemándolas. El polvo se puede aplicar en forma libre o por dispersión en un líquido volátil.

Las capas o recubrimientos pegados se usan en forma amplia y en ellas el polvo de disulfuro de molibdeno se incorpora a casi cualquier adhesivo efectivo, incluyendo muchos polímeros, resinas naturales o sólidos fundidos. El coeficiente de fricción de estas capas varia de 0.02 alrededor de 0.2, pero para películas pegadas, la fricción depende de la naturaleza del aglutinante y la composición porcentual, y este puede variar de 0.02 a alrededor de 0.3.

**Politetrafluoroetileno** (**PTFE**). El **PTFE** s un polímero producido a partir del etileno en el que los átomos de hidrogeno se han reemplazado por átomos de flúor. Esta floración produce un material de muy alta estabilidad química y baja resistencia de enlace intermolecular, en tanto que la polimerización de una molécula tipo etileno proporciona cadenas moleculares largas y rectas.

El resultado es un sólido blanco que consta de masas moleculares paralelas, que se deslizan fácilmente una sobre otra. Esto nos lleva a una misma clase de resistencia de corte baja en paralelo a las cadenas como las que tiene el disulfuro de molibdeno y a una elevada capacidad para soportar cargas.

El **PTFE** se usa con frecuencia en forma de componentes sólidos, ocasionalmente en forma de capas aglutinadas y muy rara vez en forma de polvo libre.

El coeficiente de fricción de **PTFE** puro varía de 0.02 con carga alta, a alrededor de 0.1 con carga baja. Es un sólido más bien suave, de manera que su capacidad para soportar carga es limitada y su velocidad de desgaste es alta.

Por lo mismo necesita un refuerzo para poderse usar en sistemas que soportan cargas elevadas. Una forma útil de refuerzo es incorporar al **PTFE** en los poros de un material sinterizado, en especial el bronce.

### 2.4.3. Grasas Lubricantes.

Las grasas son dispersiones de aceite en jabón. Se emplean para lubricar zonas imposibles de engrasar con aceite, bien por falta de condiciones para su retención, bien porque la atmósfera de polvo y suciedad en que se encuentra la máquina

aconseja la utilización de un lubricante pastos. Según el jabón que las forma, las grasas pueden ser cálcicas, sódicas, al aluminio, al litio, al bario, etc. Y sus características y aplicaciones son las siguientes:

Grasas cálcicas. Tienen un aspecto mantecoso, son insolubles en agua, resisten 80 °C y son muy económicas. Se emplean para lubricar rodamientos situados en los chasis de los automóviles y rodamientos de máquinas que trabajen a poca velocidad y a menos de 70 °C.

Crasas sódicas. Tienen un aspecto fibroso, fácil emulsión en agua, resisten 120 °C y son poco fusibles. Se emplean para rodamientos en que no haya peligro de contacto con el agua.

Crasas al aluminio. Son de aspectos fibrosos y transparentes, insolubles en el agua, muy adhesivos y muy estables. Resisten hasta 100 °C. Se emplean en juntas de cardán, cadenas, engranajes y cables, y en sistemas de engrase centralizado.

Crasas al litio. Son fibrosas, resisten bastante bien el agua y pueden utilizarse desde -20 °C hasta 120 °C. Se emplean para aplicaciones generales (rodamientos y pivotes de mangueta en automóviles), conteniendo, si es necesario, bisulfuro de molibdeno.

Grasas al bario. Son fibrosas y más resistentes al agua que las de litio, y su máxima temperatura de empleo es de 1 80 °C. Se emplean para usos generales.

Las grasas lubricantes no son simplemente aceites muy viscosos. Son aceites lubricantes a menudo de viscosidad bastante baja, los cuales han sido espesados por medio de sólidos finamente dispersados llamados espesadores. El efecto de éstos es producir una estructura semirrígida en la que la dispersión de las partículas espesadoras se estabilice por medio de cargas eléctricas. La fase líquida se mantiene firmemente por medio de una combinación de cargas eléctricas opuestas,

adsorción y atrapado mecánico. Como resultado, la grasa en total se comporta como un sólido más o menos suave y existe ligeramente una tendencia del aceite a abandonar la grasa.

Las grasas pueden elaborarse con cualquier tipo de aceite lubricante, pero en la práctica, la mayoría se basa en aceites minerales y solamente unas cuantas en otros aceites base son de alguna importancia real. Se han usado diésteres para producir grasas para mayores o menores temperaturas que los aceites minerales. Las siliconas se usan para temperaturas más elevadas y los hidrocarburos a fluorados para temperaturas mayores; estos dos tipos también se usan debido a su inercia química, pero las cantidades totales son relativamente pequeñas. Se han usado esteres de fosfato para resistencia al fuego y aceites vegetales por su compatibilidad con sustancias alimenticias; pero, una vez más las cantidades son muy pequeñas.

Los espesadores usados con mayor frecuencia son los jabones, que son sales de ácidos orgánicos con calcio, sodio, litio o aluminio. Los jabones toman la forma de partículas fibrosas que se entrelazan para dar un alto nivel de rigidez en bajas concentraciones de jabón. Se han usado muchas otras sustancias como espesadores de grasas pero tienden a ser más esféricas y tienen que usarse en concentraciones mayores que los jabones para lograr el mismo grado de espesor.

La mayoría de los aditivos usados en aceites de lubricación también son efectivos en las grasas. Y algunos, como el grafito o el disulfuro de molibdeno, que son lubricantes sólidos, son mucho más efectivos en grasas que en aceites. Las combinaciones posibles de estos componentes, y sus diferentes proporciones, nos llevan a una amplia variedad de formulaciones de grasas. En la práctica, una grasa típica consiste en un aceite mineral en el cual están dispersos alrededor de un 1% de antioxidante y pequeñas cantidades de otros aditivos como inhibidores de corrosión, agentes antidesgastantes o para presión extrema, y modificadores de estructura.

La característica más importante de una grasa es su dureza suavidad relativa, llamada consistencia. La consistencia se determina midiendo la distancia en decimas de milímetro a la que un cono metálico estándar penetra en la grasa bajo una carga estándar; el resultado se conoce como penetración. Una clasificación de grasas usada en forma muy general es la del **American National Lubricating Grease Institute (NLGI)**, la tabla 2.4.3.1 muestra la relación entre el numero **NLGI** y la penetración. La consistencia de una grasa varía con la temperatura y generalmente existe un aumento irregular en la penetración (ablandamiento) conforme aumenta la temperatura. A la larga se alcanza una temperatura a la que la grasa es lo suficientemente suave para que se desprenda o fluya una gota del cuerpo de la grasa, a esta situación se le llama punto de goteo. Es muy importante, ya que permite conocer la temperatura máxima de empleo Por lo general, se supone que el punto de goteo es la temperatura máxima a la cual se puede usar la grasa para servicio, pero hay varios factores que confunden esta situación:

1. El punto de goteo se mide en un aparato estándar que no tiene ningún parecido con algún equipo de servicio, de manera que la correlación para usarlo en servicio puede ser muy pobre.

2. Algunas grasas nunca darán un punto de goteo debido a que la descomposición química comienza antes de que se abra la estructura del espesador.

3. Una grasa puede ser un lubricante satisfactorio por encima de su punto de goteo, aunque entonces se comportara como un aceite más que como una grasa.

4. Algunas grasas pueden calentarse por arriba de sus puntos de goteo y al enfriarse de nuevo formaran una grasa, aunque normalmente la grasa que se vuelve a formar sea de propiedades marcadamente inferiores.

A altas temperaturas las grasas se descompondrán térmicamente por oxidación en la misma forma que los aceites lubricantes. Además, la estructura de las grasas se puede romper, o el espesador mismo se puede descomponer. La siguiente tabla omite los efectos generales de la temperatura sobre las grasas lubricantes.

| Grasa; tipo de límite | Vida, h | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 10 | $10^2$ | $10^3$ | $10^4$ |
| Grasas sintéticas; límite de oxidación en presencia ilimitada de oxigeno. | 275 a 225 a | 255 a 265 | 225 a 240 | 200 a 225 | 175 a 200 |
| Grasas sintéticas; límite de punto de goteo con engruesadores inorgánicos. | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Grasa de aceíte mineral; el límite superior impuesto por el punto de goteo depende del espesador; la oxidación depende de la cantidad de oxigeno presente | 80 a 200 | 80 a 200 | 80 a 200 | 80 a 200 | 80 a 200 |
| Grasas minerales; límite de oxidación con oxigeno ilimitado | 185 a 200 | 160 a 175 | 135 a 150 | 110 a 125 | 85 a 100 |
| .Grasa minerales; límite inferior impuesto por alto par motor. | -50 a -10 | 50 a -10 | 50 a -10 | 50 a -10 | 50 a -10 |
| Grasas sintéticas; límite más bajo impuesto por alto par motor. | -70 a -80 | -70 a -80 | -70 a -80 | -70 a -80 | -70 a -80 |

**Tabla 2.4.3.1. Relación numero NLGI y la penetración de la carga estándar.**

Una grasa se comporta como una forma extrema de fluido no-newtoniano, y sus propiedades de viscosidad cambian cuando se divide en una línea de alimentación. Ocasionalmente, la viscosidad aumenta cuando recibe un esfuerzo cortante, pero es más común que la viscosidad disminuya a medida que aumenta la razón de corte

hasta que al fin la viscosidad alcanza la del aceite base. Las ventajas y desventajas de la lubricación con grasa se observan en la Tabla 2.4.3.2.

| Ventajas |
|---|
| 1. Mantienen una efectiva película de lubricante sobre las superficies en caso de una detención o paro.<br>2. Proporcionan una útil lubricación con películas que se cortan o dividen.<br>3. Proporcionan un sellado efectivo a los cojinetes de rodillos.<br>4. Mantienen una reserva de suministro de lubricante en la vecindad del cojinete.<br>5. Reducen los problemas de contaminación en comparación con el aceite.<br>6. Proporcionan un portador efectivo para los lubricantes sólidos para evitar el agarre o en situaciones de muy alta carga. |
| **Desventajas.** |
| 1. Enfriamiento ineficaz<br>2. Limitaciones en la velocidad del cojinete.<br>3. Posible incompatibilidad con otras grasas similares.<br>4. Resistencia a la oxidación más baja.<br>5. Pobre estabilidad en almacenamiento. |

**Tabla 2.4.3.2. Ventajas y desventajas de la lubricación con grasa.**

La selección de una grasa para una aplicación específica depende de cinco factores: la velocidad, la carga, el tamaño, el intervalo de temperatura y el sistema de alimentación de la grasa.

1. **Velocidad.** Para altas velocidades, se debe usar una grasa más espesa o rígida, excepto en cojinetes simples en los que se usa una grasa lo suficientemente espesa. Para velocidades más bajas se debe usar una grasa más suave.

2. **Carga.** Para cargas altas puede ser ventajoso usar aditivos de presión extrema o disulfuro de molibdeno. Puesto que las cargas más altas conllevarán al mayor consumo de potencia y por consiguiente a temperaturas

más elevadas, una grasa más espesa o un aceite de base sintética pueden resultar de ayuda.

3. **Tamaño.** Para tamaños grandes, use una grasa más espesa, para sistemas muy pequeños usar una grasa más suave.

4. **Intervalo de temperatura.** El punto de goteo debe ser más elevado que la máxima temperatura de operación predicha. Para una operación sostenida a temperaturas mayores puede ser necesario un aceite de base sintética. Para temperaturas muy altas, de alrededor de 230° centígrados, se puede requerir alguna de las grasas de fluorocarburo.

5. **Sistemas de alimentación.** Si se va a alimentar la grasa por medio de un sistema centralizado, generalmente es deseable utilizar un grado más suave del que se escogería en otro caso. Ocasionalmente encontrara que una grasa en particular es inadecuada para una alimentación centralizada debido a la separación que ocurre y las líneas se taponan con el espesador, pero este problema se está volviendo menos común.

## 2.5. Selección del tipo de lubricante.

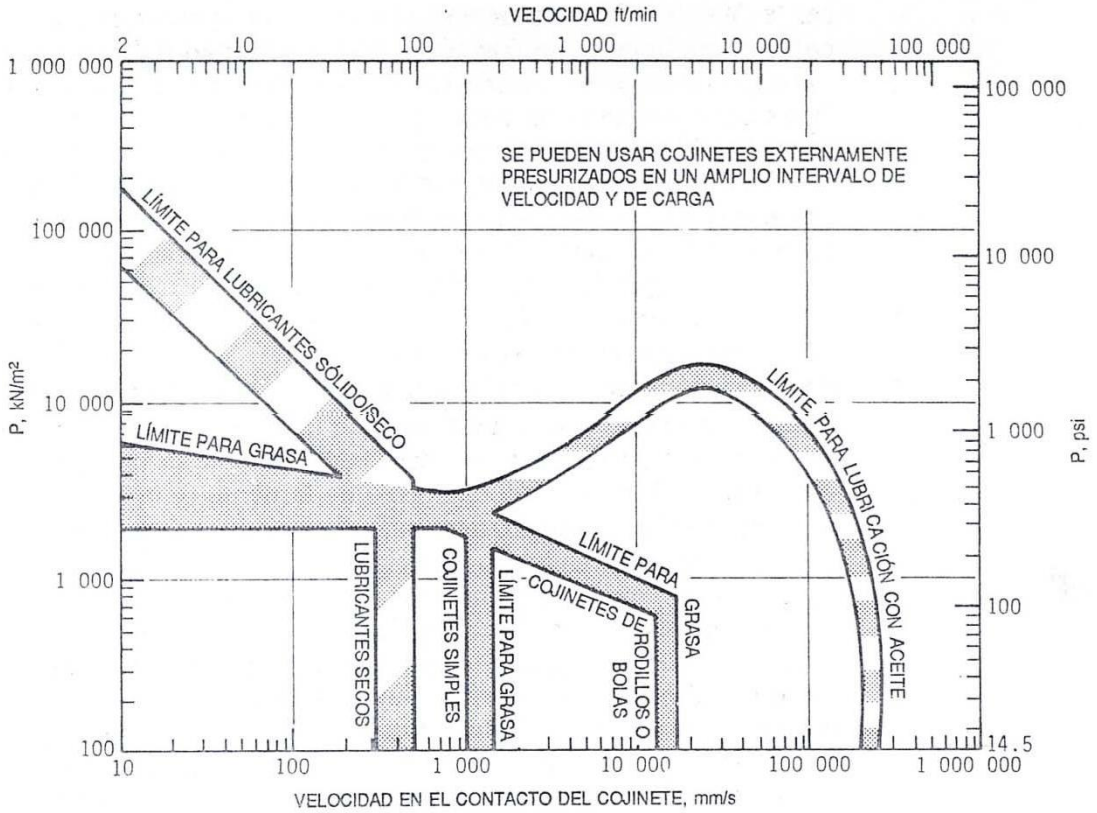
Un primer principio que resulta útil para seleccionar un tipo de lubricante es escoger la manera más simple que trabaje satisfactoriamente. En muchísimos casos, esto consistirá en una pequeña cantidad de aceite ó grasa que se inserta en el elemento o parte componente durante el armado inicial y que casi nunca se reemplaza ó se rellena. Hay varios ejemplos típicos, como lo son las chapas de las puertas, las bisagras, los elevadores de las ventanas de los coches, los interruptores eléctricos y los relojes.

Este sistema simple probablemente sea insatisfactorio si las cargas ó velocidades son altas ó si la vida de servicio es larga y continua. Entonces se hace necesario escoger el lubricante con cuidado y con frecuencia usar algún tipo de rellenado.

Los dos factores importantes en la selección del tipo de lubricante son la velocidad y la carga. Si la velocidad es alta, entonces la cantidad de calentamiento debido a la fricción tiende a ser alta, y los lubricantes de baja viscosidad proporcionarán una fricción viscosa más baja y una mejor transmisión de calor. Si las cargas son altas, entonces los lubricantes de baja viscosidad tenderán a ser expulsados de la zona de contacto. Esta situación se puede ver en la figura 2.5.1.

**Figura 2.5.1. Factores importantes para la selección del tipo de lubricante.**

Es difícil dar una guía precisa acerca de los límites de carga y de velocidad para los diversos tipos de lubricante, debido a los efectos de la configuración, el medio ambiente, y las variaciones dentro de cada tipo; pero en la figura 2.5.2 podemos ver algunos límites aproximados:




**2.5.2. Límites de carga y de velocidad para los diversos tipos de lubricante.**

Otra propiedad del sistema restringirá en ocasiones las posibilidades de elección del tipo de lubricante, en los relojes ó mecanismos de instrumentación cualquier lubricante puede satisfacer los requerimientos de carga y de velocidad, debido a la necesidad de una baja fricción, el lubricante sería un aceite de viscosidad muy baja. Sin embargo, para cables, cadenas, el problema es evitar que el lubricante sea expedido de las partes en movimiento y es necesario usar un aceite bituminoso o grasas pegajosas que tengan propiedades adhesivas especiales. Se han cometido grandes errores muy costosos, en donde los sistemas ya están hechos y no se pueden lubricar, es por eso que es necesario primero hacer la selección del lubricante.

Actualmente están desapareciendo en la industria los llamados lubricantes para uso general que han sido desplazados por los adecuados a cada aplicación específica. Según sea ésta, se pueden citar los siguientes:

- Para cojinetes a fricción.
- Para rodamientos a bolas y rodillos.
- Para engranajes.
- Para automóviles.
- Para compresores frigoríficos.
- Para compresores de aire.
- Para la industria textil.
- Para turbinas hidráulicas.
- Para máquinas de vapor.
- Para mandos hidráulicos.
- Para mecanizado de metales.
- Para transformadores eléctricos.

**Lubricantes para cojinetes a fricción.** *Para* esta aplicación interesa fundamentalmente la viscosidad del aceite, la cual debe elegirse de acuerdo con las condiciones de trabajo, carga que actúe sobre el eje, velocidad de giro y temperatura de funcionamiento, con el objeto de poder mantener un espesor mínimo en la película. Todos los lubricantes tienen su nivel de viscosidad, medido siempre en grados Engler 50 °C de temperatura, que indican su aplicación.

**Lubricantes para rodamientos**. En general, los rodamientos se lubrican con grasa que los protege de la oxidación y la corrosión, así como contra la penetración del polvo. Debido a que las grasas son menos fluidas que los aceites, permanecen durante mucho tiempo sin tener que reponerse. Las más empleadas son las sódicas.

**Lubricantes para engranajes.** Al seleccionar lubricantes para engranajes deben considerarse los siguientes factores:

- Tipo de engranaje (cilíndrico, cónico)
- Velocidad de funcionamiento.
- Potencia transmitida.
- Temperatura de trabajo.
- Régimen de funcionamiento (con o sin choques).
- Procedimiento de engrase (inmersión o chorro).

La viscosidad de estos aceites debe estar en proporción directa con la potencia, temperatura y régimen de funcionamiento, y en proporción inversa con la velocidad.

**Fluidos para mandos hidráulicos.** Las características que deben reunir los fluidos para mandos hidráulicos son las siguientes:

- Propiedades antiespumantes, des emulsionantes, antioxidantes y anticorrosivas.
- Punto de inflamación elevado.
- Estabilidad al batido al cual se les somete.
- No atacar al caucho o a los materiales de las juntas.
- Viscosidad apropiada.

Para los circuitos hidráulicos, suelen adaptarse y emplearse dos tipos de fluidos: aceites de petróleo y fluidos sintéticos, siempre con los aditivos necesarios para que cumplan las especificaciones. En los circuitos hidráulicos es muy importante que una de las especificaciones, como es la antiespumosidad, se verifique, ya que si formase espuma ésta contendría aire y habría que purgar continuamente los circuitos, con las consiguientes repercusiones en el trabajo.

**Lubricantes para automóviles.** Debido al gran consumo de lubricantes originados por el automóvil, se ha desarrollado una gama completa de ellos que cubre todas las necesidades determinadas por las condiciones especiales a que son sometidos.

**Aceites para motores.** Son aceites con aditivos contra la corrosión y oxidación, por las altas temperaturas a que deben funcionar. Respecto de sus propiedades, estos aceites se dividen, según la **SAE**, en tres categorías principales:

1. Aceite Regular (normal o **ML**). Mineral, sin aditivos y para trabajos ligeros y moderados corrientes.
2. Aceite Premium (de primera o **MM**). Con aditivos antioxidantes y anticorrosivos y con un ligero poder detergente.
3. Aceite Heavy Duty (detergente, **HD** o servicio pesado **MS**). El cual, además de antioxidante y anticorrosivo, es detergente. Se emplea para motores destinados a trabajos fuertes.

A esta categoría pertenecen también los aceites especiales para motores Diesel, de gran poder detergente. Suplemento 1 (Servicio **DG**), para esfuerzos y temperaturas normales. Suplemento 2 (Servicio **DS**), para esfuerzos muy duros y temperaturas muy elevadas. La viscosidad de los aceites para motores se indica mediante los números SAE, siendo más alta cuanto más lo es el número:

- SAE-5VV, SAE-10W y SAE-20W (para frío riguroso).
- SAE-20W, SAE-30, SAE-40 y SAE-50.
-

**Aceites para las cajas de cambio y el diferencial.** Contienen aditivos (cloro, azufre y fósforo) para mantener la película de aceite mínima a las elevadas presiones de trabajo de los engranajes de cambio y del diferencial. La clasificación SAE de las

viscosidades es la siguiente: SAE-75, SAE-80, SAE-40, SAE-140 y SAE-240 no deben emplearse para motores, ya que los aditivos que contienen son adecuados única y exclusivamente para las aplicaciones específicas del aceite, y podrían originar graves averías.

**Grasas para lubricación de elementos del chasis.** El engrase de los rodamientos del chasis, rótulas de dirección, pivotes de mangueta, etc., se realiza con grasas en general sólidas o de litio, con bisulfuro de molibdeno y otros aditivos que protegen a dichos elementos del polvo y el agua.

**Fluidos de corte.** Los aceites empleados para el mecanizado de los metales ofrecen las siguientes ventajas:

- Lubrican el corte, aumentando la duración de la herramienta.
- Refrigeran la herramienta, prolongando la duración del filo.
- Protegen las piezas contra la corrosión y la oxidación.
- Limpian las piezas de partículas y virutas, arrastrándolas.

Actualmente se emplean tres clases de fluidos de corte:

1. Aceites puros. Son aceites minerales o grasos, o la mezcla de los dos. Poseen un elevado poder lubricante, pero no refrigeran tanto como los líquidos acuosos.
2. Aceites solubles o taladrinas. Emulsiones de aceites minerales basándose en agua, que adquieren un color blanco lechoso. Según sea la proporción aceite-agua (1:5 a 1:150), predomina el poder lubricante o el refrigerante.
3. Fluidos de corte sintético. Líquidos basándose en agua que no incluyen derivados del petróleo. Contienen jabones para la lubricación convencional, aditivos sintéticos lubricantes, nitratos, fosfatos, etc.

## 2.6. Sistemas de Alimentación de Lubricantes.

En muchas componentes lubricadas no se necesita sistema de alimentación por que el llenado inicial de lubricante es suficiente para durar la vida requerida. Un sistema de alimentación se hace necesario cuando el lubricante debe reemplazarse o rellenarse por una de las siguientes razones:

1. La temperatura es demasiado alta, de manera que el lubricante debe reemplazarse por una carga fresca de lubricante más frio.
2. El lubricante se va acabando por fuga o escurrimiento y debe rellenarse.
3. El lubricante se descompone y debe reemplazarse por una carga fresca.
4. El lubricante llega a contaminarse y se debe reemplazar por material limpio.

Cuando la velocidad de pérdida u deterioro es relativamente baja, será suficiente proveer la facilidad de un relleno ocasional por medio de una aceitera o grasera. En los casos que no sea adecuado el rellenado manual, se necesitara un sistema de rellenado lubricante.

# CAPÍTULO III

# 3. Definición y Análisis del Problema.

Actualmente las pruebas funcionales del sistema API 614 se llevan a cabo de modo manual, por lo que se requieren recursos humanos y por ende económicos elevados, así como tiempo, por lo que se propone implementar un programa controlado por un controlador lógico programable, que permita realizar las actividades de la prueba (hasta hoy manuales), de modo automático con el fin de lograr pruebas más precisas y con mayor rapidez.

## 3.1. Problemática actual.

Actualmente el costo de fabricación del equipo no contempla el gasto que efectúa, al requerir de varios paneles y un grupo de trabajo multidisciplinario para el desarrollo y evolución de la prueba, adicionalmente la elaboración del reporte es manual, lo cual no aporta una confiabilidad en el proceso.

Se pretende ofrecer al cliente una solución confiable y dentro de ello precisa de la eficiencia de estos sistemas ya que toda la información requerida estaría registrada en un equipo que por su fácil manipulación sería entregada en segundos cuando esta sea requerida.

Contando así con una flexibilidad, para poder realizar pruebas en diferentes rangos y con tantas variables requeridas sin necesidad de hacer instalaciones manuales de los paneles de control, cada vez que la prueba es requerida.

## 3.2. Requerimientos generales y particulares del sistema de lubricación.

Para tener un panorama de los requerimientos generales con los cuales contara el sistema, nos basaremos Ingeniería de Requerimientos.

La Ingeniería de Requerimientos (IR) cumple un papel primordial, ya que se enfoca en un área fundamental: la definición de lo que se desea producir. Los requerimientos pueden dividirse en dos tipos:

1. Funcionales. Define las funciones que el sistema será capaz de realizar, es decir describen las transformaciones que el sistema realiza sobre las entradas para producir las salidas.
2. No Funcionales. Tienen que ver con características que de una u otra forma puedan limitar el sistema, como por ejemplo, el rendimiento (en tiempo y espacio), interfaces de usuario, fiabilidad (robustez del sistema, disponibilidad de equipo), mantenimiento, seguridad, portabilidad, estándares, etc.

Los principales beneficios obtenidos al llevar a cabo estos requerimientos son:

- Permitir gestionar las necesidades del proyecto en forma estructurada. Cada una de las actividades consiste en una serie de pasos organizados y bien definidos.

- Mejora la capacidad de predecir cronogramas de proyectos, así como sus resultados, es decir proporciona un punto de partida para controles subsecuentes y actividades de mantenimiento, tales como estimación de costos, tiempo y recursos necesarios.

- Disminuye los costos y retrasos del proyecto, muchos estudios han demostrado que reparar errores por un mal desarrollo no descubierto a tiempo, es sumamente caro.

- Mejora la comunicación entre equipos, es decir representa una forma de consenso entre clientes y desarrolladores. Si este consenso no ocurre, el proyecto no será exitoso.

- Evita rechazos de usuarios finales, debido a que en cierta forma se obliga al cliente a considerar sus requerimientos cuidadosamente y revisarlos dentro del marco del problema, por lo que se le involucra durante todo el desarrollo del proyecto.

**Requerimientos Generales y particulares.**

Diseñar un programa para PLC, (Siemens simatic 300\cpu312) que controlará las variables de presión, temperatura, arranque y paro de bombas hidráulicas en las pruebas de funcionamiento del equipo de lubricación API 614, que permitan realizar las pruebas funcionales con una mayor precisión, rapidez y controlado por un solo panel de control. Por ello, nos limitamos en el número de bobinas comandadas, así como en el número de entradas activas al PLC.

Por la naturaleza de dichas variables se requiere de una programación analógica, pero con las limitantes de este controlador es imposible dicha programación, por lo que se procederá a simular las entradas analógicas con entradas digitales, empleando contadores y comparadores, suponiendo que existe una tarjeta que convierte las entradas analógicas a pulsos digitales, que dependiendo del incremento en la variable, llámese presión o temperatura, es capaz de entregar un pulso, que a su vez es contado y comparado y activa una salida, o la desactiva.

Para este proceso se utilizar el software STEP 7, el cual es un software estándar para la programación y configuración de sistemas de automatización SIMATIC, este sistema está compuesto por varias herramientas que permite implementar soluciones parciales, y trabajar en sistemas orientados a objetos esto es que permite que el programa pueda ser ejecutado en pequeños procesos y que una aplicación o pasos ejecutados pueda ser editada y modificada para otros sistemas.

### 3.2.1. Descripción de los componentes del Sistema de Lubricación API 614.

El sistema de lubricación está integrado de varios componentes que en principio deben cumplir con la norma API 614 y como requisito de construcción deberán ser integrados al equipo y que se deberá proveer a la turbina un flujo constante de aceite lubricante con características de presión y temperatura de acuerdo a los requerimientos del sistema, que como se indica es parte de las pruebas funcionales para asegurar el buen funcionamiento del equipo y como parte de garantía de calidad que la empresa dedicada a la construcción de los mismos debe entregar a sus clientes.

**Datos generales del sistema de lubricacion:**

Tipo de aceite: ISO VG 32 Aceite de suministro.
Flujo promedio, normal: 772 lpm (204 GPM).
Presión de Operación /Barg 100 psig (6.9 Barg) (bomba de aceite aguas arriba/aguas abajo).
Condiciones de temperatura.ISO 32 OIL, ISO 46 OIL Mínima (F) 70 85, Normal (F) 120 135.
Alarma (F) 130 145.
Capacidad de la bomba: 255 GPM (965 LPM).
Potencia normal HP (KW): 20.4 HP (15 KW).

Potencia Máxima HP (KW): 32.85 HP (24 KW).
Potencia del motor 30 HP; Velocidad 1800 rpm.
Voltaje: 460 Vac, 3 fases, 60 Hz.
Clasificación de área eléctrica: CSA Approved, Class 1, Group B, C, D, División 2.

**Componentes.**

1. Tanque de aceite del sistema. El tanque de aceite es usado para permitir la liberación de aire o gas retenido en el aceite desde los rodamientos de la turbina. El tanque es un recipiente metálico atmosférico horizontal con las siguientes características:

   Dimensiones del tanque: (2743 mm x2743 mm x1676 mm)
   Volumen total del tanque: 10.58 $m^3$.
   Capacidad de retención: 1568 Galones (5934 Litros)
   Capacidad de trabajo: 1081 Galones (4091 Litros)
   Capacidad inicial de carga: 2243 Galones (8489 Litros)
   Max. a Min. Nivel de capacidad de operación: 101 Galones (382 Litros)
   Material del Tanque: Acero Inoxidable 304L.

2. Bombas principal y auxiliar. Las bombas de aceite son usadas para suministrar aceite de lubricación a la Maquinaria rotatoria a un flujo y presión especificados. Hay dos bombas de aceite de desplazamiento positive de 3 tornillos (una en stand by) alimentadas por un motor de CA a 22 KW, 1800 RPM y una turbina de vapor (bomba principal) a 22KW, 1750 RPM. Diseño de las bombas para manejar aceite lubricante, ISO VG 32 a 49°C con una capacidad de 255 GPM y 100 $lb/plg^2$. El sistema está protegido de descargas de sobrepresión de la bomba con una válvula de alivio ajustada a 10.2 $kg/cm^2$.

3. Calentador de vapor. Alimentado por vapor, montado horizontalmente el calentador está diseñado para permitir calendar aceite desde la temperatura ambiente mínima (4°C) hasta 32 °C. Material: Acero inoxidable 304L

MAWP(Maxima presión permitida de trabajo): 11.25 Kg/cm²g. Conexión de entrada: 1.5 plg 300 # RF Bridado. Conexión de salida: 1 plg 300 # 300RF Bridado.

4. Enfriadores de aceite. Los enfriadores de aceite son usados para retirar el calor absorbido por el aceite cuando pasa a través de los rodamientos de la maquinaria. El enfriador es un dúplex (uno en stand by) de tipo coraza y tubo, 12 plg. del tamaño de la coraza diseñado para reducir la temperatura del aceite desde 66 °C hasta 49 °C cuando se maneja la capacidad de la bomba de aceite. El medio de enfriamiento es agua a 32°C de entrada y 36 °C de salida.

5. Motor eléctrico. El motor eléctrico es usado para proveer movimiento a la bomba secundaria (stand by). El motor es de 3 fases, 460 VCA, 60 HZ, inducción jaula de ardilla, NEMA tipo B, armazón tamaño 286T, Factor de servicio 1.15, Aislamiento clase F, Potencia 30 HP(22KW), Velocidad 1800 RPM, TEFC, Clasificación de Área Eléctrica: Aprobación CSA, Clase 1, Grupos B, C, D, División 2.

6. Turbina de vapor. La turbina de vapor es el principal componente motriz de la unidad que impulsa a la bomba, la turbina es alimentada por vapor que proviene de la turbina principal. Características del equipo: Material de la coraza de vapor Acero, Coraza del vapor exhausto: Acero, Velocidad del diseño: 1750 RPM, Velocidad de salida 2818 RPM, Potencia 30HP (22 KW), Presión de entrada de diseño: 20.04 Kg/cm² g, Temperatura de entrada de diseño 310 °C, Presión de vapor exhausto de diseño: 4.01 Kg/cm²g, Agua de Enfriamiento para rodamientos, Conexión de entrada : 2 plg 600 # RF FLG, Conexión de vapor exhausto: 4 plg 150 # FF FLG.

7. Filtro de aceite dúplex. Los Filtros son requeridos para quitar partículas en el aceite que pueden ser perjudiciales en rodamientos de máquinas rotatorias. El filtro de aceite es dúplex con elementos de filtración reemplazables, BETA RADIO > 10 para partículas de 10 micrones. El filtro es verificado con un transmisor de presión diferencial para señalar cuando es hora de cambiar los cartuchos. La caída de presión de diseño cuando está limpio es 0.35 kg/cm2, Material de la carcasa: Acero Inoxidable 316, Material de los elementos Poliéster sintético, Conexión: 3 plg 150 # RF FLG, Código de Construcción ASME con estampado.

8. Acumulador. Los acumuladores se requieren para que mantengan la presión de aceite de lubricante mientras la bomba de reserva acelera de una condición estable a la velocidad de operaciones. El sistema tiene un acumulador en la línea de entrega de aceite lubricante para mantener la presión de entrega, durante la aceleración de la bomba secundaria (stand by). Capacidad 151 lt., tipo vejiga, diseñado para 70.31 kg/cm$^2$ y -10 / 70 °C ambiente. Material de la vejiga: Buna N, Material del cuerpo: Acero inoxidable 304, Presión de diseño: 70.31 Kg/cm$^2$ g, Código de Construcción ASME con estampado, Control: 5 Kg/cm$^2$ g precargado.

9. Válvula de control de temperatura. La válvula de control de temperatura es requerida para que mantenga la temperatura del aceite suministrado a 49 °C cuando mezcla aceite caliente del tanque con aceite frio desde los enfriadores. El control variable es medido por el elemento primario y envía fuera de la consola al controlador el cual regresa la señal de control a la válvula de control y la posiciona para mantener la temperatura del aceite a 49 °C. La válvula de control es una válvula de 3 vías actuada neumáticamente, esta válvula tiene un resorte dual y un actuador tipo pistón, cierre a falla del resorte. La válvula es suministrada con un posicionador digital con aplicación FOUNDATION FIELDBUS e interruptores de posición. El cuerpo de la válvula es: Acero

inoxidable CF8M, Material del interno: 316 Acero inoxidable, Cv: 84.605, Tamaño del interno: 3.438, Tipo de interno: Lineal, Tamaño del actuador: 45, Conexión: 3 plg 300 # RF, Flg.

10. Válvula reguladora de presión del aceite de suministro. Esta válvula es usada para mantener una presión diferencial constante entre la presión del aceite de suministro y la presión de retorno al tanque. La válvula falla al cierre en perdida de suministro de presión aceite. Esta válvula es de tipo contra presión, Material del cuerpo: Acero inoxidable CF8M, Material del interno: Acero inoxidable 316, Cv: 161, Tamaño del interno: 3.437, Tipo del interno: Apertura rápida, Tamaño del actuador: 4A, Conexión: 3 plg 300 # RF FLG, Control: Presión de ajuste.= 8.4 Kg/cm²g.

11. Válvula de control de temperatura para el calentador del tanque. Esta válvula es usada para mantener una temperatura constante en el calentador del tanque, esta válvula falla a cierre, Material del cuerpo: Acero al Carbon A216WCC, Material del interno: Acero inoxidable 316, Asiento, CB7Cu-1SS, Caja, acero inoxidable 416, CV: 20.6, Tamaño del interno: 1.313, Tipo del interno: Linear, Tamaño del actuador: 34, Solenoide: ASCO EV8327G42-110VAC, 60 Hz, Cuerpo 316SS, NEMA 4X,Clase F aislamiento Conexion: 1 plg 300 # RF FLG.

12. Transmisores de nivel, temperatura y presión. Los siguientes instrumentos son requeridos para supervisar en pantalla las variables del proceso del aceite en el sistema: **LT-1351**: Transmisor usada para alarma de bajo nivel en el tanque, también establece una señal permisible que impide arrancar el calentador por bajo nivel en el tanque.

Características:

Fabricante: ROSEMOUNT.
Modelo: 3051CD2A22A1AB4C6M5.
Material del Diafagma: Acero inoxidable. 316L.
Cuerpo: Acero 316.
Inteligente: Si.
Medidor Electrónico: Si.
Voltaje de alimentación: 12 - 45 Vcd..
Intrínsecamente seguro con barrera aprobada.
Clasificación de área Eléctrica: Aprobado CSA, Clase 1, Grupos B, C, D, División 1,2.
Span: Entrada:0 a 793 mm = 4 to 20 mADC. Reference Lower Tap.
Alarma: AL.=(469 mm wc).

**TT-1352**: Transmisor usado para indicar la temperatura de aceite en el tanque.

Características:

Modelo: 3144PD1A2KBB4M5Q4.
Inteligente: Si.
Medidor electrónico.
Suministro de voltaje: 12 - 42.4 Vcd.
Clasificación de área Eléctrica: Aprobado CSA, Clase 1, Grupos B, C, D, División 1,2.
Span: -18 a 204 °C = 4 to 20 mADC.

**TT-1383**: Transmisor usado para enviar el valor de la temperatura del aceite en la línea de suministro.

Características:

Modelo: 3144PD1A2KBB4M5Q4.
Inteligente: Si.
Medidor electrónico.
Suministro de voltaje: 12 - 42.4 Vcd.
Clasificación de área Eléctrica: Aprobado CSA, Clase 1, Grupos B, C, D, División 1,2.

Span: -18 a 204 °C.
Control: EH=21° C (Unidad permisible de arranque).
Alarma: AL.=21° C (Baja temperatura de suministro de aceite).
AH.=54° C (Alta temperatura de suministro de aceite).

**TIC 1350**: Transmisor controlador usado para enviar el valor de la temperatura de aceite (variable controlada) a la salida del enfriador de aceite. Puntos de ajuste se deja a las necesidades por el cliente final.

**PDT-1351**: Transmisor usado para indicar y alarmar la alta presión diferencial en los filtros de aceite. Punto de ajuste para alta presión diferencial a 1.4062 kg/cm$^2$.

Características:

Modelo: 3051CD4A22A1AB4C6M5.
Material del Diafragma: Acero inoxidable. 316L.
Material del cuerpo: Acero Inoxidable. 316.
Inteligente:Si.
Medidor electrónico: Si.
Voltaje de suministro: 12 - 45 Vcd.
Clasificación de área Eléctrica: Aprobado CSA, Clase 1, Grupos B, C, D, División 1,2.
Span: 0 a 3.5155 kg/cm$^2$ D = 4 to 20 mACD.
Alarma: AH.= 1.4062 kg/cm$^2$ D.

**PT-1355**: Transmisor usado para alarma por baja presión en la línea de suministro de aceite. El punto de ajuste para alarma de baja presión es 6.3 kg/cm$^2$.

Características:

Fabricante: ROSEMOUNT.
Modelo: 3051CG4A22A1AB4C6M5.
Inteligente: Si.
Medidor Electrónico: Si.
Voltaje de suministro: 10 - 42 Vcd.

Clasificación de área Eléctrica: Aprobado CSA, Clase 1, Grupos B, C, D, Division 1,2.
Span: 0 a 11 Kg/cm²g = 4 a 20 mACD.
Control: EL.= 6.3 Kg/cm²g (Estabilización del arranque de la bomba).
Alarma: AL.= 6.3 Kg/cm²g (Baja presión del cabezal)

13. Manómetros. Los siguientes manómetros están integrados en el sistema:

- 2 X 0-16 KG/CM2 Descarga de las bombas de aceite (**PG-1359** & **PG-1360**).
- 1 x 0-4 KG/CM2 Aguas abajo de los filtros de aceite (PG-1361).
- 2 X 760 mmHG-0-1 KG/CM2 G Succión de las bombas de aceite (**PG-1362** & **PG-1363**).

14. Termómetros. Los siguientes termómetros están presentes en el sistema:

- 1 x -20 - 120 deg C Suministro de agua de enfriamiento (TG-1357).
- 1 x -20 – 120 deg C Salida de agua de enfriamiento (TG-1358).
- 1 x -20 – 120 deg C Aguas debajo de los filtros (TG-1356).
- 1 x -20 – 120 deg C Tanque de aceite (TG-1354).

15. Válvulas de alivio. Las siguientes válvulas de alivio están localizadas en el sistema para impedir la sobrepresión:

- **PSV-1352 y PSV-1354** Bombas principal y standby.
- **PSV-1355** Vapor exhausto de la turbina.
- **PSV-1357 y PSV-1358** Protección térmica de los enfriadores de aceite.
- **PSV-1359 y PSV-1360** Protección de los filtros de aceite.
- **PSV-1361 y PSV-1362** Protección de las líneas de entrada y salida de los enfriadores de aceite.

16. Material de tubería. Todo el material de la tubería es acero inoxidable. 304L. La tubería de instrumentación es acero inoxidable. 316L. Accesorios de tubería de instrumentación son de acero inoxidable.

### 3.2.2. Descripción de la operación funcional del Sistema de Lubricación API 614.

En el proceso de prueba se requiere realizar una serie de procesos que se enlistan a continuación estás se deben realizar tal cual más sin embargo se ilustra que los procesos 14,15, y 18 son los procesos a automatizar; los demás son procesos forzosamente manuales 3, 5, 6, 8,9,10,11, 12, 16 y 17.

A menos que se especifique algo diferente la temperatura mínima para arrancar la prueba es 35ºC, la unidad no debe correr menos de 4 horas. Durante la prueba funcional los valores deben ser grabados cada 30 minutos de acuerdo a la tabla de datos del reporte de prueba en taller.

1. Previo al arranque del equipo se deben efectuar operaciones de preparación y verificación del estado actual del equipo, los cuales son descritos posteriormente.

2. La operación se inicia con el arranque de la bomba principal, considerando las siguientes etapas:

3. La válvula de control reductora de presión debe ser revisada en su funcionalidad para actuar sobre la válvula de estrangulamiento de entrega final.

4. La(s) válvula(s) de control y de estrangulamiento deben actuar para alcanzar el flujo requerido y la presión en los límites de entrega (y niveles intermedios si aplican).

5. Una vez que se alcanza la presión de entrega de la bomba se debe verificar la caída de presión a través de los filtros.

6. Se debe ajustar la válvula de aguja en la presión de respaldo de la línea de impulso para asegurar el apropiado y estable comportamiento incluido en condiciones transitorias (cambio de bombas, 2 bombas en operación).

7. Desde este punto, más ajustes no deben ser ejecutados en las válvulas de control.

8. Cambiar los filtros y verificar que la presión no llega a los límites para que se active la alarma.

9. Checar la presión de equilibrio de la válvula de seguridad en la entrega de la bomba, cerrando gradualmente la válvula de estrangulamiento aguas debajo de la bomba. La PSV no debe abrir arriba de la presión de equilibrio +10%.

10. Cerrar la válvula de estrangulamiento y checar si la válvula de seguridad no se está forzando.

11. Checar la estrechez de la válvula de seguridad a través de su mirilla de descarga.

12. Checar la vibración del motor en los tres ejes principales y la temperatura de los rodamientos de acuerdo a los valores de referencia de vibración del motor.

13. Medir la corriente absorbida por el motor.

14. Parar la bomba principal manualmente; la bomba auxiliar debe arrancar automáticamente a la alarma de baja presión, 30 lb/plg2. Verifique la condición transitoria de acuerdo a la referencia del manual API 614 (capitulo 2, par. 4.3.3.5.5).

15. Con la bomba auxiliar funcionando arrancar la bomba principal y verificar que el sistema es capaz de mantener y regular adecuadamente la presión y el flujo con ambas bombas corriendo. (Referencia API614 capitulo. 2, par. 4.3.3.5.6.).

16. La funcionalidad del acumulador de aceite será verificada deteniendo la bomba principal y midiendo cuanto tiempo esta la presión en los límites de entrega (lube oil y control oil) presente.

17. La adecuada regulación de la válvula de control de presión (PCV) debe ser checada por la posición del control manual de la válvula de control de temperatura (TCV) (totalmente cerrado/ totalmente abierto).

18. La operación debe ser detenida si la temperatura del aceite alcanza 80 ºC.

19. En caso de motores de corriente alterna diseñados para una frecuencia que es diferente a la del lugar (p.e. 50/60 hz), un convertidor de frecuencia debe estar disponible para la operación. Correr motores/bombas a velocidades que son diferentes a las de diseño no es aceptado.

20. Un motor auxiliar será utilizado para sustituir la turbina de vapor (referirse a API 614 capitulo. 2 par. 4.3.3.4).

En la figura 3.2.2 se presentan las etapas de las válvulas y bombas a automatizar, como puede observarse el sistema es extenso pero en general los elementos que se encierran en óvalos rojos representan los procesos que permitirán obtener los mejores resultados en la prueba y que como ya se menciono se requiere una precisión y exactitud de la misma para que los resultados entregados al cliente sean eficientes.

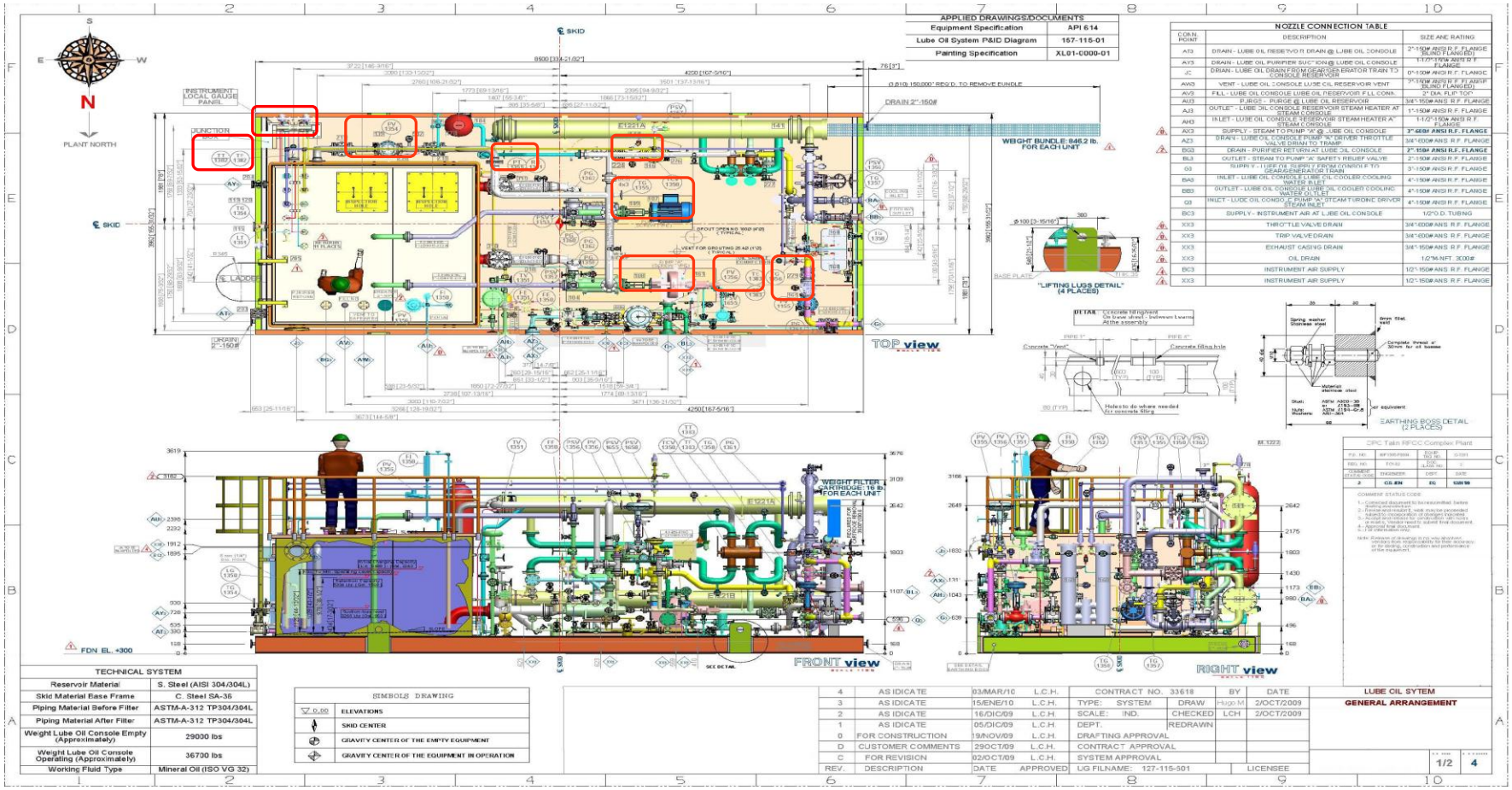



**Figura 3.2.2.1 Diagrama General del Sistema de Lubricación API 614 y vista de válvulas a controlar en el PLC.**

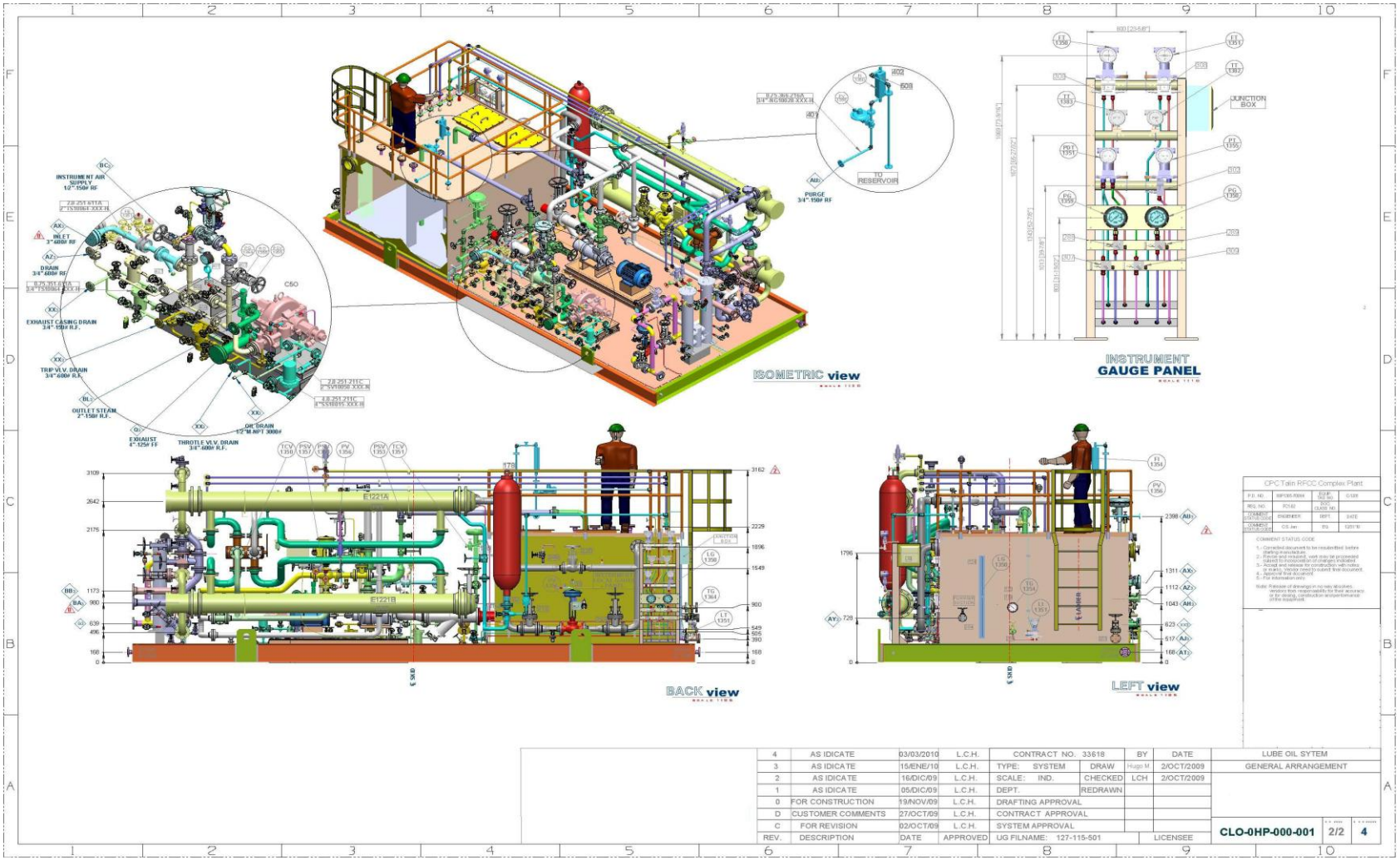



**Figura 3.2.2.2 Vista detallada del Sistema de Lubricación API 614.**

# CAPÍTULO IV

## 4. Diseño, Programación e Implantación.

Al establecer una secuencia de pasos para realizar una tarea determinada, y de acuerdo a las variables físicas que en este caso se procederá a manipular, es deseable que el proceso deba ser controlado por medio de un panel o sistema.

Estás aplicaciones deben ser precisos, rápidos y seguros, pero sobre todo deberán contar con una estabilidad inmejorable esto es, la respuesta debe ser inmediata a la manipulación de las variables de entrada al sistema, está aplicación es un medio auxiliar en las tareas asignadas al ser humano pero estos procesos deben ser precisos, rápidos y seguros.

Teóricamente hay varios tipos de automatización, por lo que de acuerdo a sus características particulares se decidió elegir la automatización flexible la cual está conformada por un sistema de control lógico programable, el cual recibirá y procesará las señales binarías introducidas y basadas en un programa establecido por el operador; conteniendo este puertos de entrada, salida, la transmisión de datos y la debida interacción para su operación.

Este sistema se emplea en la función de “control de procesos”, encargándose de que cada paso o fase se desarrolle en el orden cronológico correcto y sincronizado que previamente fue establecido; incluso puede hacer un seguimiento de las actividades de control que realiza durante su operación lo que permitirá poder hacer entrega de bitácoras con resultados.

.

## 4.1. Diseño general del Sistema.

Como ya se explico el proceso de la prueba requiere de veinte pasos y que deben realizarse según lo establecido por la norma API 614. Los pasos 14, 15 y 18 son los que se programarán y que nuevamente se describen a continuación:

- Parar la bomba principal manualmente; la bomba auxiliar debe arrancar automáticamente a la alarma de baja presión, 30 lb/plg2. Verifique la condición transitoria de acuerdo a la referencia del manual API 614 (capitulo 2, par. 4.3.3.5.5).

- Con la bomba auxiliar funcionando arrancar la bomba principal y verificar que el sistema es capaz de mantener y regular adecuadamente la presión y el flujo con ambas bombas corriendo. (Referencia API614 capitulo. 2, par. 4.3.3.5.6.).

- La operación debe ser detenida si la temperatura del aceite alcanza 80 ºC.

La figura 4.1.1 muestra el diagrama de tuberías e instrumentación (**DTI**) del sistema de lubricación API 614, este diagrama es una representación estandarizada cuando se emplean instrumentos en diferentes procesos, además de contar con una simbología normalizada permitiendo esta, una interpretación exacta para cualquier persona interesada en conocerlo y hacer alguna modificación o adición pertinente.

Esta nomenclatura está normalizada por la **ISA** (Instruments Society of America) en el apartado ISA-S5.1-84, establece la representación gráfica de instrumentos, así como la nomenclatura usada para describir su tipo de medición y función.

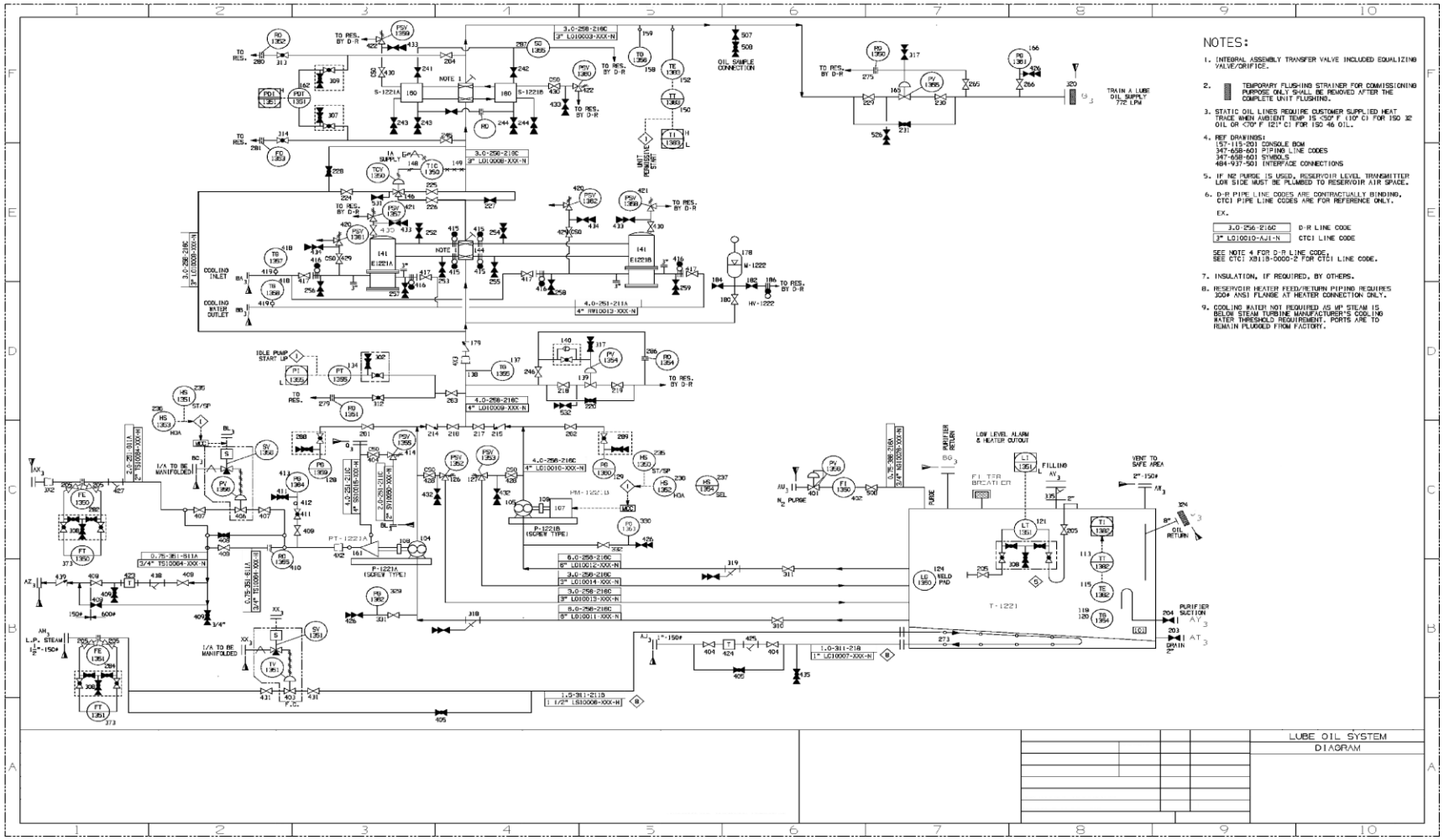



**Figura 4.1.1 DTI del sistema de lubricación API 614.**

La finalidad de la programación del autómata programable, consiste en establecer una secuencia ordenada de instrucciones que resolverán la tarea del control ya explicado. Esta secuencia establece la relación entre las distintas variables lógicas que constituyen al programa.

A continuación se describe la lógica con la cual se desarrollo el programa en el software STEP 7 que utiliza un sistema de programación normalizado por parte de Comisión Electrotécnica Internacional (**IEC**) y que tiene mayor implantación industrial. El sistema está formado por dos tipos de lenguajes de programación:

- Lenguajes literales. Instrucciones formados por letras, números y símbolos especiales.
- Lenguajes gráficos Instrucciones representadas por figuras geométricas.

Este tipo de programación proporcionan facilidad de interactuar en la labor de programación del usuario y la elección depende del mismo.

Como se menciono con anterioridad realizará parte del control de prueba de calidad del sistema de lubricación API 614. Aquí se describe el programa realizado en lenguaje escalera:

Se incluye el control para el precalentamiento del aceite, el arranque de las bombas y el paro de las mismas, así como la activación y paro de la etapa de enfriamiento empleando el equipo chiller, comandado por una electroválvula, este programa comanda también la activación de una bomba de compensación de caída de flujo.

1. Etapa de encendido a dos manos del sistema de pre-calentador del tanque de aceite (fluido lubricante)**,** donde **m0.0** activa la bobina **a0.0**.

2. Etapa de simulación del incremento de la temperatura usando una entrada digital, el valor de **aw12** simula el incremento de temperatura.

3. Al alcanzar la temperatura **aw12** al igualar el valor almacenado en **in2,** se interrumpe la energía en las resistencias apagando la bobina **a0.0**.

4. El bit **m0.1** ordena que se active el bit **m0.2** el cual es enclavado, permitiendo la activación del contacto del arranque del motor de la bomba de lubricante, incluyendo en este segmento el botón de inicio (start) y paro (stop).

5. El bit **m0.2** activa las salidas **a0.1** y **a0.2**, las cuales se emplean para el arranque de los motores de las bombas.

6. La salida **a0.0** enciende las resistencias para elevar la temperatura del fluido lubricante hasta el valor deseado.

7. En esta etapa se comanda una electroválvula que desvía el flujo de aceite hacia el chiller, para permitir reducir la temperatura en el punto optimo de operación.

8. El bit **m0.3** activa la salida de la electroválvula del chiller y esta a la vez, la bobina de arranque de la bomba dos, la cual es empleada para compensar la caída de caudal de la línea principal.

9. El bit **m0.4** actuará tanto como botón de paro de la operación del sensor y paro auxiliar.

| | |
|---|---|
| **E0.0:** | Botón pulsador start 1 (dos manos). |
| **E0.1:** | Botón pulsador start 2 (dos manos). |
| **E0.2:** | Botón pulsador activa el arranque de la bomba del lubricante # 1. |
| **E0.3:** | Botón pulsador de “stop”. |
| **E0.4:** | Botón para simulador de incremento de temperatura. |
| **E0.5:** | Registro de memoria de Contador número inicial |
| **E0.6:** | Registro de memoria de Contador número a sumar. |
| **E0.7:** | Switch de flotador de tanque de nivel mínimo. |
| **M0.0:** | Bit de memoria enclavado. |
| **M0.1:** | Bit de memoria que resetea a M0.0. |
| **M0.2:** | Bit enclavado que activa el arranque de bomba de lubricación. |
| **M0.3:** | Bit que activa la electroválvula de flujo al chiller. |
| **A0.0:** | Salida a bobina de resistencias. |
| **A0.1:** | Bobina que activa el contactor de motor de bomba 1. |
| **A0.2:** | Bobina que activa el contactor de motor de bomba 2. |
| **A0.3:** | Bobina que actua la electroválvula de chiller. |
| **MW4** | Bit de memoria que ocupa el comparador. |
| **AW12** | Bit de memoria que ocupa el contador de incremento de temperatura. |

**TABLA 4.1.1. Entradas, Registros y Salidas del Programa.**

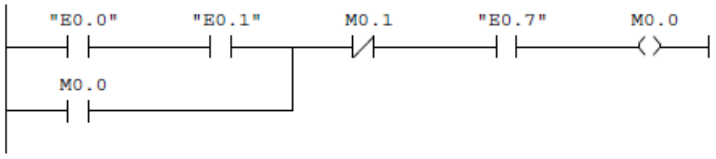
SIMATIC susana_mecanica\ 26/11/2010 20:53:35
SIMATIC 300(1)\CPU 312\...\OB1 - <offline>

OB1 - <offline>
""
Nombre: Familia:
Autor: Versión: 0.1
Versión del bloque: 2
Hora y fecha Código: 11/10/2010 18:25:47
Interface: 15/02/1996 16:51:12
Longitud (bloque / código / datos): 00118 00006 00020

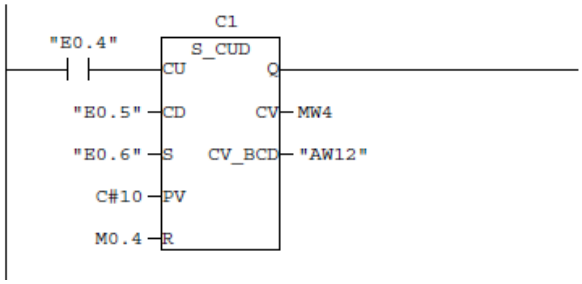
| Nombre | Tipo de datos | Dirección | Comentario |
|---|---|---|---|
| TEMP | | 0.0 | |
| OB1_EV_CLASS | Byte | 0.0 | Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1) |
| OB1_SCAN_1 | Byte | 1.0 | 1 (Cold restart scan 1 of OB 1), 3 (Scan 2-n of OB 1) |
| OB1_PRIORITY | Byte | 2.0 | Priority of OB Execution |
| OB1_OB_NUMBR | Byte | 3.0 | 1 (Organization block 1, OB1) |
| OB1_RESERVED_1 | Byte | 4.0 | Reserved for system |
| OB1_RESERVED_2 | Byte | 5.0 | Reserved for system |
| OB1_PREV_CYCLE | Int | 6.0 | Cycle time of previous OB1 scan (milliseconds) |
| OB1_MIN_CYCLE | Int | 8.0 | Minimum cycle time of OB1 (milliseconds) |
| OB1_MAX_CYCLE | Int | 10.0 | Maximum cycle time of OB1 (milliseconds) |
| OB1_DATE_TIME | Date_And_Time | 12.0 | Date and time OB1 started |

**Bloque: OB1 "Main Program Sweep (Cycle)"**

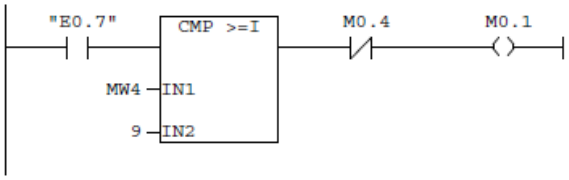
Segm.: 1 ARRANQUE A DOS MANOS ENCLAVADO



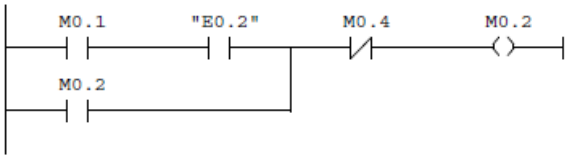

Segm.: 2 CONTADOR QUE SIMULA EL INCREMENTO DE TEMPERATURA.




Segm.: 3 ACTIVACION DE COMPARADOR PARA PARO DE CALENTAMIENTO DE LUBRICANT




Segm.: 4 SECUANCIA DE ARRANQUE DE MOTORES DE BOMBEO.



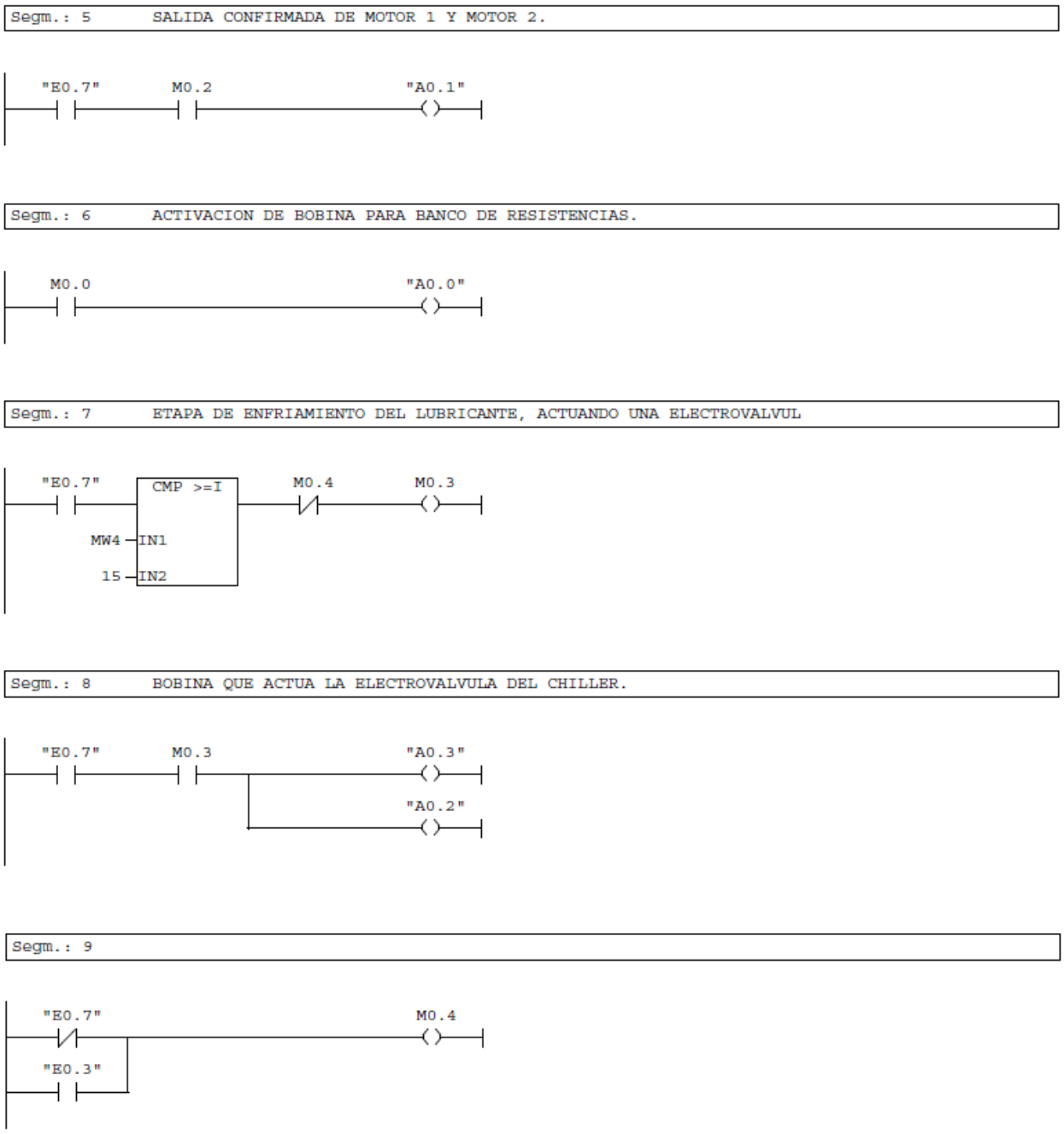



**Figura 4.1.2. Diagrama Escalera de la lógica programada del sistema a automatizar.**

### 4.1.1. Diagrama de conexiones, entradas y salidas del sistema

Normalmente y de acuerdo a la configuración los PLC's pueden recibir solo señales digitales o una combinación de digitales y analógicas a la vez. Para señales digitales estas podrán llegar a diferente polaridad. En estos casos el módulo de entrada, se limita a transformar el nivel de la señal de entrada al nivel que maneja el procesador en el bus de comunicación (por lo general a 5 VCD). Para señales de tipo analógico, los módulos de entrada son convertidores analógico/ digital (**A**/**D**), que convierten el valor tomado de la señal analógica a un valor numérico, cuya resolución depende del convertidor usado. Las señales de entrada analógica aceptados por la tarjeta, podrán ser en voltaje o corriente con valores estandarizados. Las conexiones de entrada, llegan al procesador mediante un opto acoplamiento, es decir mediante la transmisión de la información por medio de luz, para evitar que e caso de un corto circuito o una descarga producida en el módulo de entradas, pueda dañar el CPU.

El objeto del PLC, es ejecutar el programa diseñado por el usuario y contenido en la memoria, además de hacer la comparación y actualizarlo con información proveniente del módulo de entradas. Una vez procesada la información anterior, el PLC se encargará de hacer las conexiones a los elementos de mando a la corriente eléctrica, mediante el cierre del circuito. Los sensores se encargan de cerrar circuitos separados entre una fuente interna del PLC, para registrar la presencia de una señal en las entradas. Para las salidas, cuando el procesador envía la orden de activar la dirección de salida, el dispositivo instalado en ella cerrará el circuito entre una fuente externa al PLC y el elemento conectado a la salida. Las señales que llegan al PLC, se registran y almacenan en memoria de forma temporal, estas localidades de memoria están identificadas por coordenadas, que cuando son solicitadas estas realizan la instrucción almacenada y realizan un conteo de cada uno de los pasos realizados hasta llegar al final del proceso, como puede observarse en la figura 4.1.1.1.

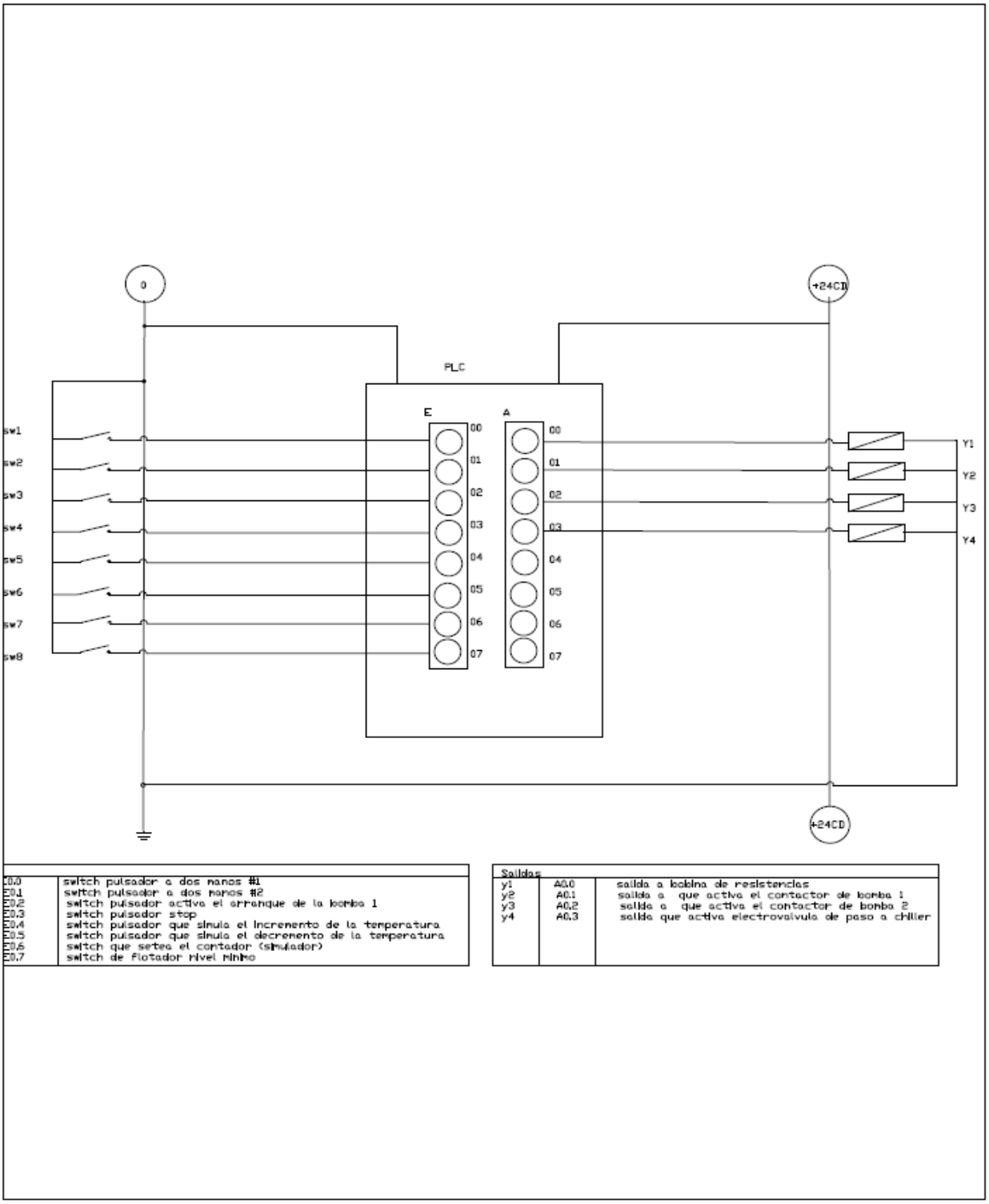



**Figura 4.1.1.1 Diagrama de Conexiones, entradas y salidas del sistema.**

## 4.2. Procedimiento de la prueba funcional.

Este procedimiento describe el método para la realización del flushing y pruebas funcionales que se deben llevar a cabo después de realizado el ensamble del sistema de lubricación y control, antes de ser embarcado, para el servicio en turbinas de vapor manejadas por compresores o turbinas de vapor manejadas por generadores. Y es en cumplimiento con API 614 (4ª edición cap. 2) Este procedimiento debe seguirse tal como se indica en el mismo. El objetivo de la prueba es por checar:

- Equipo libre de esfuerzos.
- Limpieza del sistema.
- Ausencia de fugas en condiciones normales de operación.
- Operación adecuada del equipo.
- Nivel de ruido.
- Prueba funcional de las válvulas de seguridad.
- Operación de una y dos bombas durante la prueba.

Los procedimientos y pasos especificados en los siguientes párrafos se deben seguir a detalle, y los resultados de las pruebas reportados contra valores de desempeño de referencia.

La evidencia en el éxito de la terminación de todos los pasos aplicables debe ser provista por una prueba funcional que sea considerada positiva.

### 4.2.1 Preparación para la prueba.

1. Verificar libertad de esfuerzos: Verifique que no existan esfuerzos inducidos entre tuberías y los equipos principales del equipo. Cuando al dejar de apretar en los espárragos de las bridas, las bridas y la unión de las bridas no deben moverse con respecto una de otra.

2. Verificar que el tanque y la tubería esta adecuadamente limpia.

3. Llene el tanque con aceite hasta el nivel normal.

4. Verifique que todos los filtros han sido instalados.

5. Instale el fluxómetro y la adecuada válvula reguladora en cada límite de entrega para ajustar y medir el flujo.

6. Instale los manómetros que miden la presión en cada límite de entrega**.**

7. Checar la disponibilidad de los certificados de calibración de todos los instrumentos de prueba (flujometros, manómetros, etc.) y dejarlos disponibles para la revisión del inspector.

8. Limpiar las superficies de la consola de aceite derramado con el objeto de identificar cualquier fuga durante el flushing.

9. Verificar que todos los componentes e instrumentos están establecidos de acuerdo con el P&ID.

### 4.2.2. Tablas de datos para registro de pruebas en taller.

Estas tablas presentadas permitirán mantener un reporte detallado del desempeño del equipo durante las pruebas así como también indican los valores reales arrojados por en programa y el proceso de este, de las variables identificadas como parte de control de presión y temperatura en un tiempo definido en este caso al menos 4 horas de acuerdo al contrato generado con el cliente.

| | ITEM NO. | CANT. L/MIN - AJUSTE | CANT. L/MIN - ACTUAL | CANT. KG/CM2 AJUSTE | CANT. KG/CM2 - ACTUAL |
|---|---|---|---|---|---|
| DESCARGA DE LA BOMBA PRINCIPAL | P-1221A | 965 | | 7.03 | |
| DESCARGA DE LA BOMBA EN STAND BY | P-1221A | 965 | | 7.03 | |

**TABLA 4.2.3.1. Registro de flujo real y presión a la descarga de las bombas.**

| | ITEM NO. | LIFT KG/CM2 – SET | LIFT KG/CM2 – ACTUAL | FULL LIFT KG/CM2 – SET | FULL LIFT KG/CM2 – ACTUAL |
|---|---|---|---|---|---|
| PSV 1352 | 126 | 10.2 | | / | |
| PSV 1353 | 127 | 10.2 | | / | |

**TABLA 4.2.3.2. Registro de presiones con válvulas de seguridad.**

| BOMBA PRINCIPAL TRABAJANDO | ITEM NO. | QUANTITY L/MIN – SET | QUANTITY L/MIN - ACTUAL | QUANTITY KG/CM2 – SET | QUANTITY PSIG – ACTUAL |
|---|---|---|---|---|---|
| PCV 1356 | 401 | 193 | | 1.5 | |
| PV 1355– LO | 165 | 772 | | 1.5 | |
| PRESSURE TRANSMITER | PT 1355 | / | / | 1.5 | |
| PRESSURE GAUGE | PG-1361 | / | / | 1.5 | |
| PRESSURE GAUGE | PG 1359 | / | / | 1.5 | |

**TABLA 4.2.3.3. Control de presión y flujo del sistema utilizando bomba principal.**

| BOMBA STAND BY TRABAJANDO | ITEM NO. | QUANTITY L/MIN – SET | QUANTITY L/MIN - ACTUAL | QUANTITY KG/CM2 – SET | QUANTITY PSIG – ACTUAL |
|---|---|---|---|---|---|
| PCV 1356 | 401 | 193 | | 1.5 | |
| PV 1355– LO | 165 | 772 | | 1.5 | |
| PRESSURE TRANSMITER | PT 1355 | / | / | 1.5 | |
| PRESSURE GAUGE | PG-1361 | / | / | 1.5 | |
| PRESSURE GAUGE | PG 1359 | / | / | 1.5 | |

**TABLA 4.2.3.4. Control de presión y flujo del sistema utilizando bomba auxiliar.**

| BOMBA PRINCIPAL Y STAND BY TRABAJANDO | ITEM NO. | QUANTITY L/MIN – SET | QUANTITY L/MIN - ACTUAL | QUANTITY KG/CM2 – SET | QUANTITY PSIG – ACTUAL |
|---|---|---|---|---|---|
| PCV 1356 | 401 | 386 | | 1.5 | |
| PV 1355– LO | 165 | 772 | | 1.5 | |
| PRESSURE TRANSMITER | PT 1355 | / | / | 1.5 | |
| PRESSURE GAUGE | PG-1361 | / | / | 1.5 | |
| PRESSURE GAUGE | PG 1359 | / | / | 1.5 | |

**TABLA 4.2.3.5. Control de presión y flujo del sistema utilizando bomba principal y auxiliar.**

| (PRESSURE DROP) | ITEM NO. | CANT KG/CM2 – SET | CANT KG/CM2 - ACTUAL |
|---|---|---|---|
| FILTRO DE ACEITE | S-1221A | 0 A 3.51 | |
| OIL FILTER | 207KV-330B | 0 A 3.51 | |

**TABLA 4.2.3.6. Registro de caídas de presión en filtros.**

El sistema completo debe operarse al menos 4 horas, de acuerdo a los estándares de la norma API 614, los datos deben ser registrados cada 30 minutos y deben almacenarse al menos un juego de valores con ambas bombas en operación.

| | H | H | H | H | H | H | H | H | H |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |
| PRESIÓN DE DESCARGA DE LA BOMBA PRINCIPAL (KG/CM2) | | | | | | | | | |
| PRESIÓN DE DESCARGA DE LA BOMBA STAND BY (KG/CM2) | | | | | | | | | |
| CAÍDA DE PRESIÓN A TRAVES DE LOS FILTROS (KG/CM2) | | | | | | | | | |
| PRESIÓN DE SUMINISTRO DE ACEITE (KG/CM2) | | | | | | | | | |
| FLUJO DE SUMINISTRO DE ACEITE (L/MIN) | | | | | | | | | |
| PRESIÓN DEL CONTROL DE ACEITE (KG/CM2) | | | | | | | | | |
| FLUJO DE CONTROL DE ACEITE (L/MIN) | | | | | | | | | |
| TEMPERATURA DE ACEITE °C | | | | | | | | | |

**TABLA 4.2.3.7. Registro de variables del sistema por períodos en tiempo de operación.**

| MEDIDO CUANDO MENOS UN VEZ. | H | H | H | H | H | H | NOTAS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| VIBRACION BOMBA/MOTOR PRINCIPAL | | | | | | | |
| CORRIENTE ABSORBIDA POR EL MOTOR PRINCIPAL | | | | | | | |
| TEMPERATURA DE LOS RODAMIENTOS DEL MOTOR STAND BY | | | | | | | |
| VIBRACION BOMBA/MOTOR STAND BY | | | | | | | |
| CORRIENTE ABSORBIDA POR EL MOTOR STAND BY | | | | | | | |
| TEMPERATURA DE LOS RODAMIENTOS DEL MOTOR STAND BY | | | | | | | |
| EMISION DE RUIDO DBA | | | | | | | |
| PSV 1353 PRESION DE APERTURA DE VALVULA | | | | | | | |
| PSV 1352 PRESION DE APERTURA DE VALVULA | | | | | | | |
| PRESION PRESENTE AL PARO DE LA BOMBA EN EN EL LIMITE DEL SUMINISTRO DE ACEITE (CHECAR ACEITE DEL ACUMULADOR) | | | | | | | MEDIR TIEMPO EN SEGUNDOS. |
| PRESION PRESENTE AL PARO DE LA BOMBA EN EN EL LIMITE DEL CONTROL DE ACEITE (CHECAR ACEITE DEL ACUMULADOR) | | | | | | | MEDIR TIEMPO EN SEGUNDOS |

**TABLA 4.2.3.8. Registros de variables físicas no relacionadas con el control de presión y temperatura del sistema solicitadas por el cliente.**

## 4.3. Análisis Económico.

El desarrollo de la prueba a través de un sistema de control lógico programable permitirá como ya se menciono un ahorro económico en recursos materiales y humanos, uso de equipos, paneles de control y la eficiencia de todos estos recursos. Se evalúa el costo beneficio para la prueba funcional de un sistema de lubricación API-614 para la cual se considera el estado actual el cual es manual contra la automatización de la prueba a través del uso de un control lógico programable (PLC).

Esta herramienta, es un objetivo primario y requiere la unión de la gestión de plazos y costes. El análisis económico tiene influencia tanto en la viabilidad y la factibilidad que se tiene para el desarrollo de este proyecto, este análisis permite observar que los factores que intervienen, son alcanzables y que el beneficio abarca todos los ámbitos que una empresa debe cuidar al hacer cálculos financieros para costear proyectos que en este caso se hace necesario para poder progresar y cumplir con las normas de calidad que se demanda en este tipo de empresas.

El proyecto es rentable ya que el desembolso previsto se recupera de inmediato con el ahorro que se obtendrá al evitar los gastos generados en pruebas de operación tanto en recursos humanos y económicos que este proceso requiere y es necesario y que por ningún motivo se debe dejar pasar ya que es un requisito que debe entregarse al cliente final.

ANALISIS ECONOMICO PARA PRUEBA FUNCIONAL SISTEMA DE LUBRICACION
MANUAL VS AUTOMATIZADO (PLC)

| **MATERIALES PARA LA PRUEBA NO INLCUIDOS EN EL EQUIPO** | UNIDAD | |
|---|---|---|
| PLC | PZ | 1 |
| MANOMETROS | PZ | 2 |
| FLUJOMETRO | PZ | 1 |
| ARRANCADOR PARA MOTORES | PZ | 1 |

| **PERSONAL REQUERIDO PRUEBA** | | NORMAL | | AUTOMATIZADA | COSTO H-H |
|---|---|---|---|---|---|
| INGENIERO DE PRUEBAS | PERSONA | 1 | | 1 | $ 20.00 |
| TECNICO ELECTRICO | PERSONA | 1 | | | $ 12.00 |
| PERSONAL DE APOYO | PERSONA | 2 | | | $ 10.00 |

| **TIEMPO REQUERIDO PARA CONTROL DE PRUEBA** | | NORMAL | | AUTOMATIZADA | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *CAMBIO DE BOMBA (PRINCIPAL A SECUNDARIA)* | HRS | 1.5 | | 0.333333333 | | |
| | | | MONTO USD | | | |
| INGENIERO DE PRUEBAS | PERSONA | 1 | $ 30.00 | $ 6.67 | | |
| TECNICO ELECTRICO | PERSONA | 1 | $ 18.00 | | | |
| PERSONAL DE APOYO | PERSONA | 2 | $ 30.00 | | | |
| | | TOTAL | $ 78.00 | $ 6.67 | AHORRO USD | $ 71.33 |
| *CAMBIO A 2 BOMBAS* | HRS | 2 | | 0.333333333 | | |
| | | | MONTO USD | | | |
| INGENIERO DE PRUEBAS | PERSONA | 1 | $ 40.00 | $ 6.67 | | |
| TECNICO ELECTRICO | PERSONA | 1 | $ 24.00 | | | |
| PERSONAL DE APOYO | PERSONA | 2 | $ 40.00 | | | |
| | | TOTAL | $ 104.00 | $ 6.67 | AHORRO USD | $ 97.33 |

| | | NORMAL | | AUTOMATIZADA | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **TIEMPO DE PREPARACION MECANICO** | HRS | 5 | | 5 | | |
| **TIEMPO DE PREPARACION ELECTRICO Y DE CONTROL** | HRS | 2 | | 1 | | |
| | | | MONTO USD | | | |
| INGENIERO DE PRUEBAS | PERSONA | 1 | $ 40.00 | $ 20.00 | | |
| TECNICO ELECTRICO | PERSONA | 1 | $ 24.00 | | | |
| PERSONAL DE APOYO | PERSONA | 2 | $ 40.00 | | | |
| | | TOTAL | $ 104.00 | $ 20.00 | AHORRO USD | $ 84.00 |
| **TIEMPO TOTAL DE EJECUCION DE LA PRUEBA** | HRS | 7.5 | | 4.66 | | |
| | | | MONTO USD | | | |
| INGENIERO DE PRUEBAS | PERSONA | 1 | $ 150.00 | $ 93.20 | | |
| TECNICO ELECTRICO | PERSONA | 1 | $ 90.00 | | | |
| PERSONAL DE APOYO | PERSONA | 2 | $ 150.00 | | | |
| | | TOTAL | $ 390.00 | $ 93.20 | AHORRO USD | $ 296.80 |

| | | NORMAL | | AUTOMATIZADA | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ELABORACION DE REPORTES Y ANALISIS DE DATOS** | HRS | 8 | | 2 | | |
| | | | MONTO USD | | | |
| INGENIERO DE PRUEBAS | PERSONA | 1 | $ 160.00 | $ 40.00 | | |
| | | TOTAL | $ 160.00 | $ 40.00 | AHORRO USD | $ 120.00 |

AHORRO TOTAL X PRUEBA USD $ 669.47

CONSIDERAMOS 1 PRUEBA INTERNA Y 1 PRUEBA AL CLIENTE $ 1,338.93

NUMERO DE PRUEBAS ANUALES POR LOS EQUIPOS VENDIDOS
11 PZ DURANTE 2009
**AHORRO ANNUAL USD $ 14,728.27**

Se tiene como resultado en el análisis anexo que el uso de un PLC y su correspondiente programación del sistema a controlar; es recomendable ya que el ahorro económico y en tiempo que se tendría anualmente es considerable. Es necesario mencionar que a veces el software requerido para su programación es un tanto costoso pero que al final del balance anual el resultado de las utilidades se reflejara en números positivos, ya que para estos procesos de control no existe un software gratuito o libre que se pudiera emplear.

Debido a la estandarización de procesos durante las pruebas, permitirá el desarrollo de estás con mayor precisión lo cual implicará un menor número de repeticiones en cada proceso, estableciendo que solo serían las mínimas requeridas por el cliente; adicionando un valor agregado al equipo por contar con un sistema automatizado.

# CONCLUSIONES

Al termino de este proyecto se obtiene un resultado favorable encontrando que el uso de un sistema de control lógico programable en las pruebas funcionales para una consola de lubricación bajo la norma API 614 permite diversas ventajas de tipo económico y técnico haciendo pruebas con mayor precisión y a un menor costo en el mediano y largo plazo, así como establecer pruebas estandarizadas precisas que agregan valor al producto, al generar confiabilidad al cliente en la entrega de un equipo que se ha probado con un sistema programado y controlado de acuerdo a las necesidades establecidas durante el diseño del sistema.

Actualmente se tiene el uso de equipos de arranque y paro manuales para las bombas separados del control de válvulas reguladoras y del registro de variables de presión temperatura y flujo, que se requieren durante la ejecución de las pruebas haciendo con ello que se necesiten paneles individuales en cada parte del proceso así como un equipo multidisciplinario que ejecute estas pruebas. El utilizar ahora un PLC permitirá que estas acciones queden centralizadas así como reducirá el grupo de trabajo en ejecución ya que el grupo multidisciplinario no tendrá que controlar cada proceso, así mismo el reporte de pruebas podrá efectuarse con precisión al contar con el apoyo de un sistema automatizado que se puede controlar a través de una computadora.

Es necesario reducir al mínimo la repetición de pruebas debido a fallas de operación y control que se realizan manualmente y que generan costos extras en cada fabricación de equipo, por ello se sustenta que económicamente es viable utilizar el control y la automatización en la ejecución de pruebas funcionales en sistemas API 614.

El desarrollo tecnológico y el impacto que ocasiona este ante la sociedad y las áreas empresariales han sido muy relevantes. Las opciones de automatización en distintas áreas son requisito indispensable para estar en la vanguardia empresarial. La reingeniería es una opción viable y factible, tal es el caso que el programa es propenso

a modificaciones para poder automatizar completamente el sistema y este puede ser tan sencillo o complejo como el usuario lo requiera y la facilidad al proporcionarse el programa para su edición y la explicación detallada de cada uno de los puntos, que se proporcionan en este trabajo.

La búsqueda de minimizar costos entre las empresas ha llevado al desarrollo de alternativas como son la implementación de sistemas que permiten minimizan el tiempo de ejecución y por tanto esto se refleja en un mayor rendimiento adquisitivo. Adoptar los cambios permite la innovación de la empresa y por tanto tener la ventaja de que este pueda ser adaptado a las necesidades que cada organización requiera.

# BIBLIOGRAFÍA

## BIBLIOGRAFÍA.


- Mataix Claudio., ***Turbomáquinas Hidráulicas*** Editorial ICAI, 1974.

- Mataix Claudio, ***Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas,*** pp. 460-501 segunda edición, Oxford Alfaomega 2007.

- DE PARRES, J. L., ***Máquinas Hidráulicas***, México, 1966.

- VIEJO ZUBICARAY, M., ALONSO, P., ***Energía Hidroeléctrica,*** Editorial. Limusa, 1977.

- Licensor's equipment data sheet and job project specification Project: RFCCU Talin refinery stone & Webster international, INC

- API STANDARD 614., ***Lubrication, Shaft-Sealing, and Control-Oil Systems and Auxiliaries for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services*** Fourth Edition, APRIL 1999.

- Antonio Creus Sole ***Instrumentación Industrial*** séptima edición Alfaomega Marcombo 2008.

- Mª Ángeles Martín Hernández et ál, ***Manual de Mecánica Industrial,*** Editorial Cultural S.A. edición 2008.

- Enrique Mandado Pérez et ál, ***Autómatas programables y sistemas de automatización***, Alfaomega Marcombo, segunda edición 2009.

**CIBEROGRAFÍA.**

http://www.rivi.es/sistemas/circulacion.php

http://es.wikipedia.org/wiki/

# GLOSARIO

**Aceros aleados.** Son aquellos aceros que además de los componentes básicos del acero: carbono, manganeso, fósforo, silicio y azufre, forman aleaciones con otros elementos como el cromo, níquel, molibdeno, etc. que tienen como objetivo mejorar algunas de sus características fundamentales especialmente la resistencia mecánica y la dureza.

También pueden considerarse aceros aleados los que contienen alguno de los cuatro elementos básicos del acero, en mayor cantidad que los porcentajes que normalmente suelen contener los aceros al carbono, y cuyos límites superiores suelen ser generalmente los siguientes: Si=0.50%; Mn=0.90%; P=0.100% y S=0.100%.

**Aceros austeniticos.** Son denominados austeniticos los aceros inoxidables que contienen más de un 7% de níquel, ya que tienen una estructura metalográfica en estado recocido, formada básicamente por austenita y de aquí adquieren el nombre. El contenido de Cromo varía de 16 a 28%, el de Níquel de 3,5 a 22% y el de Molibdeno 1,5 a 6%. No son magnéticos en estado recocido y, por tanto, no son atraídos por un imán. Los aceros inoxidables austeníticos se pueden endurecer por deformación, pasando su estructura metalográfica a contener martensita. Se convierten en parcialmente magnéticos, lo que en algunos casos dificulta el trabajo en los artefactos eléctricos.

**Bar.** Se denomina a la unidad de presión equivalente a un millón de barias, aproximadamente igual a una atmósfera (1 Atm). Su símbolo es "bar". La palabra bar tiene su origen en *báros*, que en griego significa peso.

**Barg.** Es la presión manométrica medida por un instrumento arriba de la presión atmosférica

**ºC.** El grado Celsius es la unidad creada por Anders Celsius en 1742 para su escala de temperatura. Su símbolo es °C.El grado Celsius pertenece al Sistema Internacional de Unidades, con carácter de unidad accesoria, a diferencia del kelvin que es la unidad básica de temperatura en dicho sistema.

**CA.** Se denomina corriente alterna (abreviada CA en español y AC en inglés, de *alternating current*) a la corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente. La forma de onda de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la de una onda senoidal, puesto que se consigue una transmisión más eficiente de la energía.

**Carbonillas.** Partícula de carbón que queda como resto cuando este ha sido movido o quemado.

**Carbono martensíticos.** En los aceros inoxidables martensíticos, el carbono está en una concentración tal, que permite la formación de austenita a altas temperaturas, que a su vez se transforma en martensita durante el enfriamiento.

La martensita es una fase rica en carbono, frágil y extraordinariamente dura. Los aceros inoxidables martensíticos tienen la característica común de ser magnéticos y endurecibles por tratamiento térmico, presentando cuando templados una microestructura acicular (en forma de agujas).

**Centipoise.** Es la cantidad de fuerza necesaria para mover una capa de líquido en relación con otro líquido. Centipoise se considera la unidad estándar de medición para líquidos de todo tipo. Es aplomo la centésima parte de un archivo. El símbolo para centipoise es cP o cps, dependiendo de la fuente.

**Centistoke.** Unidad de viscosidad cinemática. Unidad de medición de la viscosidad de los líquidos. Se considera al agua con una viscosidad de un centistokes y los demás líquidos se comparan con este valor. Se utiliza principalmente para medir las viscosidades de los aceites. 1 centistoke (cSt) = 0.01 Stoke.

**Elastohidrodinámica.** La lubricación elastohidrodinámica es el tipo de lubricación que ocurre en elementos altamente cargados donde la presión es tal que la deformación elástica de las superficies metálicas influye considerablemente en la formación del espesor de película. En las prácticas actuales del diseño de máquinas es importante estimar las presiones y los espesores de película a los que se someterán los elementos de máquina que se diseñan porque este conocimiento permite al ingeniero predecir si bajo las condiciones particulares de trabajo, el elemento de máquina funcionará adecuadamente o no.

**Entalpia.** Es una función de estado de la termodinámica donde la variación permite expresar la cantidad de calor puesto en juego durante una transformación isobárica (es decir, a presión constante) en un sistema termodinámico (teniendo en cuenta que todo objeto conocido puede ser entendido como un sistema termodinámico), transformación en el curso de la cual se puede recibir o aportar energía (por ejemplo la utilizada para un trabajo mecánico). En este sentido la entalpía es numéricamente igual al calor intercambiado con el ambiente exterior al sistema en cuestión

**Entropía.** Es la magnitud física que mide la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo. Es una función de estado de carácter extensivo y su valor, en un sistema aislado, crece en el transcurso de un proceso que se dé de forma natural. La entropía describe lo irreversible de los sistemas termodinámicos. La palabra *entropía* procede del griego (ἐντροπία) y significa evolución o transformación. Fue Rudolf Clausius quien le dio nombre y la desarrolló durante la década de 1850. Y Ludwig

Boltzmann quien encontró la manera de expresar matemáticamente este concepto, desde el punto de vista de la probabilidad.

**Esteres.** Son compuestos orgánicos en los cuales un grupo orgánico (simbolizado por R' en este artículo) reemplaza a un átomo de hidrógeno (o más de uno) en un ácido oxigenado. Un oxoácido es un ácido inorgánico cuyas moléculas poseen un grupo hidroxilo (–OH) desde el cual el hidrógeno (H) puede disociarse como un ión hidrógeno, hidrón o comúnmente protón, ($H^+$). Etimológicamente, la palabra "éster" proviene del alemán Essig-Äther (*éter de vinagre*), como se llamaba antiguamente al acetato de etilo.

**°F.**El grado Fahrenheit (representado como °F) es una escala de temperatura propuesta por Daniel Gabriel Fahrenheit en 1724. La escala se establece entre las temperaturas de congelación y evaporación del agua, que son 32 °F y 212 °F, respectivamente. El método de definición es similar al utilizado para el grado Celsius.

**FLG.** Acrónimo de Flange (Brida)

**GPM.** Galones por minuto unidad volumétrica de flujo

**HS.** Diagrama H-S (entalpía-entropía o Diagrama de Mollier): También es diagrama común, pues permite representar con facilidad evoluciones reales y estudiar las variaciones de entalpía. Esto último es clave al momento de estudiar intercambios de calor y trabajo basándose en el primer principio

**HP (Horse Power).** El caballo de potencia, también conocido como caballo de fuerza, es una unidad de potencia utilizada en el Sistema Anglosajón de Unidades. Se denota hp o HP o Hp, del término inglés «Horse Power», expresión que fue acuñada por James Watt en 1782.

**LPM.** Litros por mintuo. Medida de Flujo volumetrico

**Megapascales.** El **pascal** (símbolo **Pa**) es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades. Se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado normal a la misma.

$10^6$ Pa MPa megapascal

**Megawatts.** Medida de potencia que es igual a un millón de watts.

**Nucleación subenfriada.** Es el comienzo de un cambio de estado en una región pequeña pero estable. El cambio de estado puede ser la formación de gas o cristal a partir de un líquido.

**PB.** Siglas para referirse a la unindad de almacenamiento de datos.

**Plg.** La pulgada (Plg) es una unidad de longitud antropométrica que equivale a la longitud de un pulgar, y más específicamente a su primera falange. Una pulgada equivale a 25,4 milímetros.

**Psig.** Siglas de "pounds per square inch gauge" - libras por pulgada cuadrada manométrica. La presión manométrica siempre ignora la primera atmósfera absoluta (14,696 psia).

**Quimiadsorción.** Ocurre cuando un enlace químico, definido en este caso como un intercambio de electrones, se forma. El grado de intercambio y lo simétrico que sea dependen de los materiales involucrados.

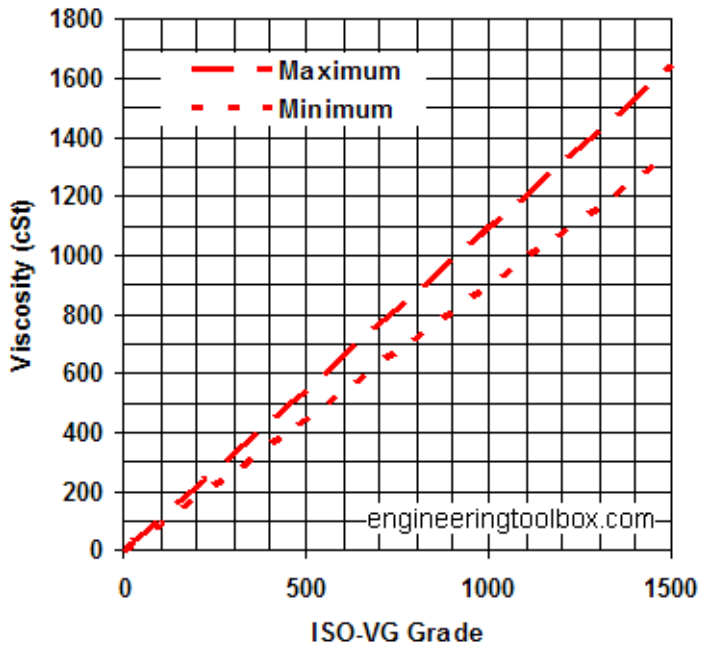
**RPM.** Revoluciones por minuto (rpm, RPM o r/min) es una unidad de frecuencia, usada frecuentemente para medir la velocidad angular. En este contexto, una revolución es una vuelta de una rueda, un eje, un disco o cualquier cosa que gire sobre su propio eje. La unidad de frecuencia del SI (Sistema Internacional de Unidades) es el hercio (Hz).

**SAE. Society of Automotive Engineers** "*Sociedad de Ingenieros Automotrices*", es una asociación americana con representación en México; organización no lucrativa, manejada por los propios socios y conformada por casi 90,000 profesionistas de diversas disciplinas de la ingeniería, en más de 80 países alrededor de todo el mundo; se dedica a promover los avances tecnológicos de la industria de la movilidad y emite diferentes normas y estándares regulatorias en la construcción de automóviles, aviones, barcos, etc.

**TS o de Molier.** Diagrama T-S (temperatura-entropía o Diagráma Entrópico

**Volumen especifico.** El volumen específico (*v*) es el volumen ocupado por unidad de masa de un material. Es la inversa de la densidad. No dependen de la cantidad de materia. Ejemplos: dos pedazos de hierro de distinto tamaño tienen diferente peso y volumen pero el peso específico de ambos será igual. Este es independiente de la cantidad de materia considerada para calcularlo. A las propiedades que no dependen de la cantidad de materia se las llama "Propiedades Intensivas". Dentro de estas están también por ejemplo el punto de ebullición, el brillo, el color, la dureza y el punto de fusión.

**VG.** Grado de viscosidad para lubricantes industriales.




**W.** Símbolo de watt.