

46
21



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**SISTEMAS DE CONTROL AUTOMATICO
PARA MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA
EN LA INDUSTRIA PETROLERA.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
LUIS ALEJANDRO CRUZ RENDON
ASESOR: ING. ESTEBAN CORONA ESCAMILLA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe de: Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Systemas de control automatico para motores de corriente alterna
en la industria petrolera.

que presenta el pasante: Luis Alejandro Cruz Rendón.

con número de Cuenta: 8413901-4 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista.

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlan Izcalli, Edo. de Mex. a 15 de Octubre de 1997

PRESIDENTE	<u>Ing. Javier Hernández Vega.</u>	<u>[Firma]</u>
VOCAL	<u>Ing. Esteban Corona Escamilla.</u>	<u>[Firma]</u>
SECRETARIO	<u>Ing. María de la Luz González Quijano</u>	<u>[Firma]</u>
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Margarita López López</u>	<u>[Firma]</u>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Juan González Vega.</u>	<u>[Firma]</u>

A Maricruz: Mi prometida, ya que con ella he compartido mis logros y mis triunfos durante este largo recorrido, me a motivado a luchar, para ser siempre mejor, por todo el apoyo que me ha brindado, quiero darte todo mi agradecimiento y cariño.

A Miguel Rendón Valle: Gracias por estar siempre conmigo cuando he necesitado ya que me has brindado el apoyo que tanto necesite, gracias por darme aliento para seguir adelante, no importando los obstaculos que haya tenido que pasar, quiero que sepas que siempre has tenido y tendras mi respeto y apoyo, y que siempre te considerare como un padre.

A mi madre: Como un pequeño homenaje por contar siempre contigo brindandome siempre tu apoyo moral, en los momentos difíciles de mi vida .Y de mi carrera profesional. Tambien quiero darte gracias a dios por permitirme disfrutar de tu presencia de tu amor y comprensión.

A Luis Rendón Valle: Gracias a tu ejemplo de tenacidad debo mi formación profesional y por todo el apoyo moral y economico que me has brindado hasta este momento, por tus consejos que me han ayudado a ver las cosas de otro punto de vista.

A mi tío Gregorio Rendón Valle que en paz descance: Ya que su recuerdo inborrable ha sido para mi un aliciente para seguir adelante y no conformarme nunca con lo que soy, sino que siempre superarme día con día.

A mis hermanos: Lola, Cesar, Esteban, Liliana. Les agradezco su apoyo y comprensión y espero que en un futuro ustedes puedan tener una formación profesional, ya que es la mayor satisfacción que le pudieran dar a nuestra madre. Y sobre todo es una experiencia muy bonita

A mis abuelitos: Como una muestra de agradecimiento, respeto y sincero reconocimiento a sus sacrificios, este presente simboliza mi gratitud, por toda la responsable e invaluable ayuda que siempre me han brindado.

A mis tios y familiares: Por haberme apoyado de una o de otra forma, para poder llegar a concluir este objetivo en mi vida, y quiero que sepan que siempre contarán con mi apoyo.

A mis amigos y amigas: Y en general a todos aquellos que de alguna manera me ayudaron a concluir este trabajo.

A el Ing. Gerardo Trujillo Jacob: A quien agradezco infinitamente sus atenciones que tuvo para conmigo y en el desarrollo de mi tesis, ya que su apoyo fue sumamente importante para poder concluir este trabajo.

A mis maestros : Como símbolo de agradecimiento por aportarme sus valiosos conocimientos, Transmítidos generosamente y por el apoyo que me dieron para poder aclarar mis dudas.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan: Por haberme brindado la oportunidad de recibir una preparación profesional.

A mi Jurado: Con agradecimiento por haberme dedicado unos momentos de su tiempo y por la orientación tan valiosa que me dieron para poder concluir este trabajo de tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México: Que me permitió estar en sus resintos y poder aprender los conocimientos necesarios para poder formar parte de esta máxima Casa de Estudios.

A el Instituto Mexicano del Petroleo:
Por haberme dado una oportunidad de desarrollar y aplicar mis conocimientos en este lugar y por permitirme seguir perfeccionando cada día.

A los Ingenieros: que me apoyaron y asesoraron con sus conocimientos para poder concluir esta tesis:
Ing. Roberto Garnica.
Ing. Roberto Cruz .
Ing. Gerardo Fonseca.
Ing. Joel Rubio.
Ing. Miguel Angel Castañeda.
Ing. Hector Salinas.

INDICE GENERAL

	Pag.
INDICE GENERAL	1
INTRODUCCION	3
1.0- FUNCIONES DE CONTROL	6
1.1- CONTROL ESTATICO	8
1.2- EQUIPOS DE PROTECCION	9
1.2.1- PROTECCION CONTRA SOBRECARGA	9
1.2.2- PROTECCION CONTRA CORTO CIRCUITO	13
1.2.3- FUSIBLES	15
2.0- ELEMENTOS QUE FORMAN UN CONTROLADOR	17
2.1- METODO PARA LA SELECCIÓN DEL CONTROL	18
2.2- TIPOS DE CONTROL	19
2.3- MANUAL	20
2.4- SEMIAUTOMATICO	21
2.5- AUTOMATICO	22
3.0- APLICACIÓN Y SELECCIÓN DEL MOTOR A EMPLEAR	23
3.1- EQUIPOS DE ARRANQUE PARA MOTORES DE INDUCCION JAULA DE ARDILLA.	27
3.2- METODO GENERAL DE ARRANQUE PARA EL MOTOR SINCRONO DE INDUCCION	36
3.3- CAMBIO DEL SENTIDO DE GIRO	41
3.4- FRENADO DINAMICO	42
3.5- EJEMPLOS	43
4.0- EL INVERSOR DE FRECUENCIA	45
4.1- INVERSORES (CSI)	49
4.2- INVERSORES (V V I)	51
4.4- COMPORTAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCION CON UN INVERSOR DE FRECUENCIA	54

	Pag.
4.5- APLICACIONES EN LA INDUSTRIA.	59
4.6- CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS INVERSORES DE FRECUENCIA	62
5.0- PROYECTO PROPUESTO	65
SE PROPONE LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO O PARA MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA , MEDIANTE EL USO DE INVERSORES DE FRECUENCIA , PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DEL SISTEMA DE BOMBEO NEUMATICO PERMITIENDO LA RECUPERACION DE HIDROCARBUROS DE LOS POZOS AFLUENTES EN LA PLATAFORMA DE PRODUCCION "AKAL N" EN LA SONDA DE CAMPECHE.	
6.0- SIMBOLOGIA	77
7.0- CONCLUSIONES GENERALES	78
8.0- BIBLIOGRAFIA	81

I.- INTRODUCCIÓN.

Petróleos Mexicanos desde el año de 1990 ha venido operando con mucho éxito la terminal marítima de exportación de crudo en la Sonda de Campeche .

Actualmente se cuenta con dos complejos. Los cuales son KU-MALOOB-ZAAP y AKAL la finalidad de estos activos son separar y transportar el petróleo crudo y gas, de estos mismos es distribuido mediante líneas submarinas. A las distintas terminales de almacenamiento.

Debido a que se tiene que extraer y transportar el gas y el crudo a determinada presión, existe la problemática de que después de cierto tiempo en que el pozo fue perforado comienza a existir cierta afluencia en los pozos. Por tal motivo se tiene que recurrir a ciertos tipos de bombeo los cuales se mencionan a continuación:

- Bombeo neumático
- Bombeo electrocentrifugo
- Bombeo con inyección de agua

En este caso se utilizara bombeo neumático debido a que este método es muy eficiente ya que se inyectara gas dulce al pozo de la misma separación que se hará en la plataforma. Y este mismo hace que aumente La presión del pozo y también en los cabezales de las líneas de transporte.

Debido a esto se sugiere implementar sistemas de control mas sofisticados para poder controlar con mayor eficiencia la operación de los sistemas de bombeo, ya que el control se basaba en la utilización de dispositivos electromagnéticos , los cuales en su operación requieren cantidades considerables de energía debido a que accionan partes mecánicas denominadas contactos , que presentan problemas como desgaste , falsos contactos , corrosión, etc. . Obligando a tener además altos costos de mantenimiento.

El desarrollo de la tecnología electrónica ha traído como consecuencia que los controles convencionales estén siendo remplazados por controles estáticos sobre todo cuando los circuitos requieren muchos componentes. Los controladores estáticos están contruidos con dispositivos de estado sólido denominados compuertas lógicas, que se caracterizan por la ausencia de partes móviles.

En la actualidad se han venido perfeccionando los sistemas de control por medio de la técnica de microprocesadores , que esta siendo ampliamente utilizada gracias a su versatilidad en procesos. Cada vez más complejos esto se denomina como control lógico programable, cambiando una secuencia de operación a través de la programación.

El objetivo a seguir en este trabajo es el de visualizar mas ampliamente las diversas características de estos sistemas de control, y dar una forma de seleccionar el mas adecuado a un proceso dado que utilice motores eléctricos de corriente alterna.

Estos motores requieren para su correcto funcionamiento de dispositivos auxiliares que le permitan trabajar correctamente con todas las características que requiere el proceso. debido a esto se vio la necesidad de implementar funciones de control , aunado a lo anterior brindan confiabilidad , seguridad y eficiencia tanto para el motor en general como para los operarios .

Esto es debido a que el motor eléctrico se ha venido perfeccionando y modificando en sus partes y componentes de diseño, alcanzando así un grado de eficiencia optimo, su relación con el equipo que lo controle y lo proteja es fundamental.

Inicialmente el control de motores se enfocaba exclusivamente a funciones de arranque y paro, lo cual limitaba el uso de motores de gran capacidad. Al ir progresando la industria en procesos se hizo presente el desarrollo y uso de controladores de mas rápida respuesta mas exactitud y larga vida al empleo en trabajos rudos y en situaciones adversas.

Debido a esto se opto por implementar inversores de frecuencia ya que en estos complejos se tiene que mantener la presión a cierto nivel, y si se tuvieran controladores convencionales como en las otras plataformas, de producción se continuara con la misma problemática de los picos de corriente en el arranque, sobrepresiones, aumento excesivo de flujo en la líneas o contenedores. Etc.

Por lo tanto al variar la velocidad de los motores se puede controlar el flujo y la presión, al mismo tiempo se pueden eliminar algunas válvulas de cierre con indicadores de sobrepresion o sobre flujo. Y esto reducirá los costos y consumos de energía, también se tendrá una mejor operación y duración de los motores y el proceso será mas eficiente.

1.0- FUNCIONES DEL CONTROL.

En general un sistema de control o controladores (ya sea con elementos electromagnéticos o con elementos estáticos) para un motor eléctrico, es un dispositivo o conjunto de estos que sirve para gobernar de alguna manera predeterminada la operación que asegura su funcionamiento. Para el proyecto , selección e instalación de un sistema de control se deben considerar varios aspectos:

- a).- **Diseño del Motor :** Esto completa sus características y parámetros : Potencia , Tensión , Velocidad , Factor de Servicio y muy importante la capacidad térmica de sus devanados.
- b).- **Características de la carga :** La inercia de la maquina accionada, requerimientos del par durante la aceleración y las velocidades de operación.
- c).- **Características de la fuente de alimentación:** La capacidad y la confiabilidad del alimentador , la regulación de tensión en la instalación y en muchas ocasiones el sistema de tierras empleado.
- d).- **Condiciones de servicio:** Esto considera las características del lugar en donde de va a realizar la instalación : temperatura , ventilación , contaminación, etc.

Independientemente de su complejidad los controladores deben cumplir los siguientes requisitos:

- a).- **Deben satisfacer las condiciones de control que se hayan especificado**

- b).- El controlador debe ser confiable, proporcionando un sistema de protección que asegure la operación de la máquina , del mismo controlador e inclusive que proteja al operador de posibles fallas o perturbaciones.
- c).- Debe permitir la fácil y rápida vigilancia , ajuste y reposición de todos sus elementos.
- d).- Debe ser económico, para lo cual debe controlar con componentes de calidad y constar del menor numero de elementos.

Un control realiza dos funciones importantes que son: **funciones de control** y **funciones de protección**.

- **Funciones de Control** : Dentro de las funciones u operaciones mas comunes en los sistemas de control para motores eléctricos se tienen:

- Arranque
- Paro
- Inversión de rotación
- Control de velocidad

- **Funciones de Protección**: Existen diversas contingencias a las cuales se pueden ver sometidos los motores entre las cuales pueden mencionarse.

- Sobre cargas.
- Inversión de fase (M.C.A.)
- Sobre velocidades
- Campo abierto

1.1- CONTROL ESTATICO.

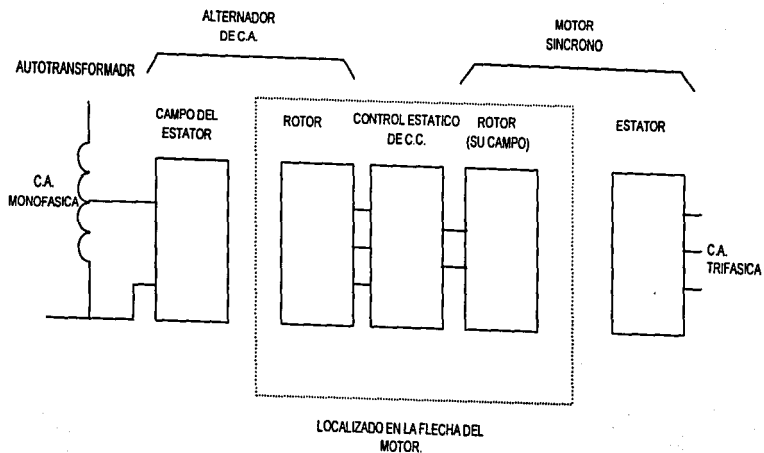
Los recientes avances en la tecnología han hecho posible controles de campo totalmente estáticos . Estos sistemas usan la frecuencia de la corriente inducida del campo para poner en operación un circuito transistorizado en vez del relevador electromecánico de sincronización FR descrito anteriormente . Los rectificadores de silicio de la fuente de alimentación de estado sólido para el campo del motor sincrónico son sustituidas por tiristores y transistores. Esto da el mismo resultado que los dispositivos electromecánicos descritos en el sistema de sincronización por medio del relevador de frecuencia FR excepto que es totalmente de estado sólido .

El control de estado sólido ha hecho posible el motor sincrónico sin escobillas . Un gran problema con los tipos de motores sincrónicos muy antiguos es el mantenimiento de escobillas de los anillos rozantes , el conmutador y las escobillas del excitador que se usan para alimentar el campo del motor con C.C.

El diagrama No. 1 muestra la integración en bloque de un sistema para motor sincrónico sin escobillas . El alternador y el control estático están montados en la flecha del motor . La fuente de alimentación trifásica esta conectada al estator del motor y el campo esta devanado en el rotor , mientras que el alternador tiene su campo en el estator y una corriente trifásica es generada en su devanado en el rotor . Una alimentación de C.A. con un autotransformador variable para ajustes , esta conectada al campo del alternador a través de un rectificador para suministrar la C.C. de excitación.

La salida del alternador en el rotor se rectifica y conecta a través del control de estado sólido del campo , al campo del motor . Ya que los tres elementos están girando en una flecha común , no hay necesidad de conmutadores , anillos rozantes ni escobillas .

DIAGRAMA No.1 Diagrama de bloques de un sistema para motor sincrónico sin escobillas.



Durante el periodo de arranque el campo del motor debe ponerse en corto circuito para conducir la corriente de campo inducida, de no hacerlo los rectificadores se destruirían por el alto voltaje del campo. La operación de puesta en corto circuito se efectúa mediante el uso de rectificadores controlados de silicio y diodos zener conectados según se muestra en el diagrama No. 2

1.2- EQUIPOS DE PROTECCIÓN.

Es recomendable que los motores de inducción cuenten con un mínimo de las siguientes protecciones :

- a) Sobrecarga o sobre corriente.
- b) Corto circuito
- c) Bajo voltaje (no voltaje)

1.2.1- Protección contra sobrecarga.

Se obtiene a través de un relevador , el cual en la generalidad de los casos forma parte del arrancador. Existen dos tipos de relevadores de sobrecarga :

- 1.- De operación magnética.
- 2.- De opresión térmica.

- **Relevador de sobrecarga tipo magnético.** El uso de este relevador no es tan común como sucede con el tipo térmico , sin embargo esta disponible para ciertos requerimientos especiales. La ventaja del tipo magnético radica en que es posible ajustar con toda precisión los valores de disparo largo y disparo corto.

Esto permite ajustes en el campo de la curva característica de disparo , lo cual no es posible en un relevador de tipo térmico.

La bobina de operación conduce la corriente del motor en forma directa, o conduce con proporción de ella en el caso de usarse transformadores de

corriente . Las vueltas de esta bobina da una calibración burda , la calibración fina es determinada por el ajuste de la posición de un embolo y el orificio en un recipiente lleno de un aceite de viscosidad muy especifica . Este tipo de relevador tiene la particular ventaja para protección de ciertos motores en refrigeración, donde se requiere un tiempo de disparo rápido en caso de un frenado o atascamiento de la flecha . También se usa para tiempos de arranque largos en cargas de alta inercia .

- Relevador de sobrecarga tipo térmico. Este relevador se usa tanto para proteger contra sobrecargas a motores en marcha como para detectar fallas en el arranque de motores. El relevador de sobrecarga ideal debe tener una curva corriente-tiempo tal , que dispare un valor dado de sobrecarga cuando el motor alcanza su máxima elevación de temperatura de diseño. Los motores de aislamiento clase A generalmente tienen un diseño de máxima elevación de temperatura de 40 °C a 50 °C correspondiente a un factor de servicio de 1.00 a 1.15 respectivamente. Motores de clase B u otro tipo de aislamiento pueden tener elevaciones de temperatura considerable mas altas . Además algunos motores soportan corrientes de rotor bloqueado por mas de 30 segundos ó mas , mientras otros deben desconectarse de la línea de 20 segundos cuando sufren atascamientos . Las diferentes características de los motores afectan el diseño y la selección de un relevador de sobrecarga para su protección .

Existen dos tipos de relevador térmico de sobrecarga ; el de aleación fusible y bimetalico . El de aleación fusible emplea un tubo y un elemento giratorio o eje el cual es calentado por una bobina de alambre o forma similar conocida como elemento térmico, conduciendo este la misma corriente que esta tomando el motor , o en su defecto cierta fracción de ella en los casos en que se usa transformador de corriente. A cierta temperatura la aleación fusible que se encuentra en el tubo que aloja al eje , se funde , permitiendo un giro de este ultimo lo que provoca el destrabe del mecanismo de

disparo del relevador . La aleación fusible tiene como característica primordial la exactitud , a una temperatura constante , de su punto de fusión. Por otro lado la amplia gama de elementos térmicos disponible permite contar con un dispositivo que puede ser seleccionado en forma muy precisa para corrientes de un motor en incrementos del 10 % . En general este tipo de relevador debe restablecerse en forma manual.

El relevador bimetalico es similar en aplicación y generalmente es intercambiable con el tipo aleación fusible. Sin embargo , el diseño tiene dos características adicionales ; por medio de un elemento especial de compensación puede permitir variaciones en la temperatura ambiente , también este diseño permite que el restablecimiento después de un disparo puede ser manual o automático.

Se recomienda usar siempre el relevador de sobrecarga con tres elementos térmicos (uno por fase) ya que si ocurre un desbalanceo de voltaje en el sistema de alimentación, esto puede demandar corriente más alta en una de las líneas. Esta corriente más alta puede provocar un excesivo calentamiento en el motor y no se detectara si ocurre en la fase que no cuenta con elemento térmico instalado en el relevador.

El disparo del relevador de sobrecarga debe estar coordinado en forma adecuada con los fusibles o interruptor termomagnético los cuales ofrecen la protección por cortocircuito o de falla a tierra del circuito alimentador del motor . El relevador de sobrecarga tendrá asignada la función de proteger adecuadamente al motor contra sobrecarga en marcha o bloqueo de la flecha . Además el relevador deberá proteger también a otros elementos del circuito , como son el alambreado y el contactor magnético o manual . El dispositivo para protección contra corto circuito y falla de tierra son indispensables ya que ni los elementos térmicos pero ni el contactor están diseñados para manejar este tipo de fallas. Los fusibles o el interruptor termomagnético deben abrir el circuito en caso de ocurrir una de estas

fallas, antes de que se puedan quemar los elementos térmicos o que el contactor abra bajo la condición de estas fallas.

Para conseguir una condición adecuada es necesario recurrir a las características de tiempo-corriente de disparo de los dispositivos involucrados. En general, se puede establecer que los fusibles tipo doble elemento (con retardo de tiempo) seleccionados sobre la base de aproximadamente 200% de la capacidad del relevador de sobrecarga protegerán adecuadamente al circuito y al relevador en condiciones de fallas altas, y permitirán que el relevador cumpla su función de proteger contra sobrecargas cuando el motor está en marcha.

Capacidad de los elementos térmicos montado en un relevador de sobrecarga es determinada mediante la prueba en la cual una corriente mínima provoca el disparo del relevador, este último se encuentra a una temperatura ambiente de 40 °C. Esta corriente se ha determinado mediante el promedio de cierto número de pruebas en elementos térmicos similares, el valor es multiplicado por 1.05 y el producto es la capacidad del elemento térmico. El 5% se agrega como un porcentaje de tolerancia por variaciones en la calidad de los materiales, usados y variaciones en el proceso de manufactura, de tal manera que se asegura el disparo del elemento térmico siempre a la misma capacidad determinada.

Cada fabricante ha desarrollado una serie de tablas las cuales ayudan a seleccionar rápida y eficazmente el elemento térmico adecuado según la corriente nominal del motor y su factor de servicio. El fabricante ya ha tomado en cuenta también si el arrancador estará montado dentro de un gabinete o si es montaje abierto. Normalmente cada elemento térmico tiene un valor máximo y un mínimo dentro de su gama de ajuste y este se precisa según el montaje en el propio relevador de sobrecarga.

Como referencia a continuación se muestra una curva característica de disparo para un relevador de sobrecarga tipo aleación fusible, esta curva maneja el tiempo de disparo en segundos de acuerdo al % de capacidad del

elemento térmico, se puede apreciar el comportamiento de disparo en sus rangos máximos y mínimos para cualquier capacidad ya que se trata de una curva de carácter general. Ver figura No. 1

1.2.2- Protección contra corto circuito.

Existen dos alternativas para cubrir el requisito de la protección contra corto circuito, esto es por medio de los siguientes elementos :

1).- Interruptor en caja moldeada tipo termomagnético.

2).- Fusibles.

- Interruptor en caja moldeada tipo termomagnético.

Este interruptor como su nombre lo indica , utiliza un elemento térmico de tipo bimetalico por polo . (Existen de uno, dos y tres polos.) A través del elemento bimetalico circula la corriente de arranque y nominal del motor que se esta protegiendo y así se obtiene el disparo en relación "corriente-retardo de tiempo" para proteger contra sobrecargas ligeras y fallas moderadas . Adicionalmente cuenta con un elemento magnético cuya respuesta es instantánea y protege contra fallas severas. Es evidente que se trata de un dispositivo que además de brindar protección, lleva implícita la función de conectar y desconectar el circuito del motor a la fuente de alimentación. El mecanismo de operación esta apoyado por un dispositivo con resortes, de ahí que se le denomine de "apertura y cierre rápidos" .

Tanto en la apertura demandada por el elemento térmico o por el elemento magnético, cuando es generada por falla que ocurre en una de las fases , el mecanismo opera de tal manera que abren todos los polos del interruptor dejando sin energía al motor hasta que se restablece el interruptor y se vuelve a cerrar en forma manual. Si la falla persiste el interruptor volverá a disparar abriendo el circuito nuevamente.

FIGURA No.1 CURVA CARACTERISTICA DE DISPARO DE UN RELEVADOR DE SOBRECARGA TIPO ALEACION FISIBLE.

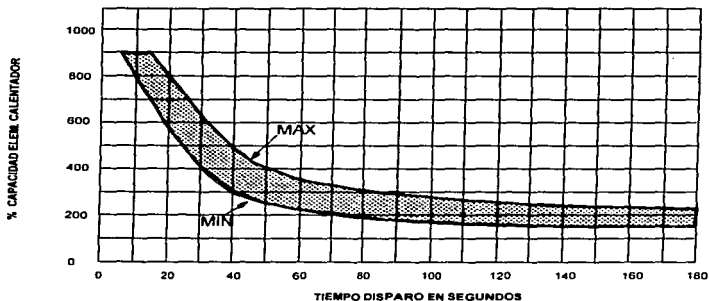


TABLA No 1 Capacidades de interruptores termomagnéticos.

MARCO EN AMPERES	RANGO DE AJUSTE DE CALIBRACION.	No DE POLOS	CAPACIDAD INTERRUPTIVA KAm.p. (KAmp. Asim.)		ALTA CAPACIDAD INTERRUPTIVA KAm.p. Asim. (KAmp. Asim.)	
			240 Volts	480 Volts	240 Volts	480 Volts
100	15 a 100A	1,2,3	10(10)	14(15)	65(75)	25(30)
100	15 a 100A	1,2,3	18(20)	22(25)	65(75)	35(40)
225	70 a 225A	2,3	25(30)	30(35)	65(75)	35(40)
400	125 a 400A	2,3	42(50)	30(35)	65(75)	35(40)
600	125 a 600A	2,3	42(50)	30(35)	65(75)	35(40)
1200	700 a 1200A	3	42(50)	30(35)	65(75)	35(40)
2500	600 a 2500A	3	125(150)	85(100)	65(75)	35(40)

Amperes simétricos. - Se refiere a la forma de onda de una corriente simétrica con relación al eje cero, siendo aplicable este término en corriente alterna.

Amperes asimétricos. - Se refiere a aquella corriente asimétrica que tiene una onda senoidal fuera del eje de simetría debido a una componente de corriente directa sobrepuesta. Esta corriente daría como resultado mayores valores de corriente de corto circuito que una de tipo simétrica.

Estos interruptores son de operación manual aunque existe la posibilidad de dar la operación automática en el cierre por medio de un motor eléctrico. Y en lo que en la apertura se refiere también es posible hacerlo de operación eléctrica por medio de un selenoide, esto es lo que se conoce con el nombre de disparo en derivación. Existe como accesorio el disparo por bajo voltaje(40 a 60 % del Voltaje).

Se tiene la opción de montarles contactos auxiliares NA ó NC , los cuales cierran o abren con la operación de apertura y cierre normal del interruptor.

Por otro lado también es posible montarles contactos de alarma (NA ó NC) estos operan solo en caso de una apertura generada por una condición de falla .

Este tipo de interruptor tiene una clasificación por " marcos " , dentro de los cuales se disponen diferentes capacidades según lo indica la tabla No. 1.

Una característica importante que se debe definir al utilizar un interruptor termomagnético, es la capacidad interruptiva ; esto es , los esfuerzos mecánicos máximos que puede resistir el interruptor sin dañarse al abrir por una falla severa de corto circuito. La capacidad interruptiva se expresa en amperes simétricos o en amperes asimétricos , y los valores que manejan la mayoría de los fabricantes son similares en todos los marcos .

Una diferencia notable en cuanto a la construcción de un interruptor de capacidad interruptiva " normal " y uno de "alta capacidad interruptiva" es el material fenolico de que esta hecha la caja del interruptor , siendo por su puesto el de "alta capacidad interruptiva" mas resistente a los esfuerzos mecánicos y por otro lado de mayor costo, de ahí la importancia de tener conocimiento del nivel de corto circuito que existirá en el punto de la instalación donde estará montado el interruptor.

Los interruptores en caja moldeada tipo termomagnético están originalmente diseñados para la protección de circuitos ; esto es, la protección de conductores.

Como generalmente son aplicados en circuitos para motores, ellos proporcionan protección contra fuertes sobrecargas en el circuito y condiciones de corto circuito.

En caso de una sobrecarga en el motor, el dispositivo de sobrecorriente del arrancador (relevador de sobrecarga) abrirá el circuito antes que el interruptor. Las corrientes mayores a la de rotor bloqueado serán interrumpidas por el interruptor no debe disparar bajo la condición de un arranque normal del motor.

Los criterios de aplicación para los interruptores depende de si el circuito esta integrado por un solo motor o varios motores.

1.2.3- Fusibles.

En un principio el uso de fusibles genera la necesidad de utilizar un dispositivo que permita su montaje y además cumpla la función de abrir y cerrar el circuito de alimentación del motor. Normalmente este requisito se cumple con la aplicación de los interruptores de navajas con portafusibles, conocidos en campo con el nombre de "interruptores de seguridad". En la generalidad de los casos cuentan con mecanismos de "apertura y cierre rápido" y son capaces de abrir el circuito con carga.

Existen en el mercado nacional varios fabricantes y todos ellos los tienen disponibles para "servicio pesado", en 240 V y 600V.

Las tablas No. 2 y No. 3 indican las capacidades existentes.

El interruptor esta alojado en un gabinete metálico y se encuentran las siguientes clasificaciones NEMA: 1 usos generales, 12 aprueba de polvo, 3R tipo intemperie.

También están disponibles los portafusibles en forma independiente. Cuando los fusibles se usan en tableros de montaje común con los arrancadores son de valiosa utilidad.

TABLA No.2 Interruptores de seguridad tipo navjascon porta fusibles de servicio tipo ligero.

CAPACIDAD EN AMPERES	
240 V	600 V
30	30
60	60
100	100
200	200
400	-----
600	-----

TABLA No. 3 Interruptores de seguridad tipo navajas con porta fusibles de servicio tipo pesado.

CAPACIDAD EN AMPERES	
240 V	600 V
30	30
60	60
100	100
200	200
400	400
600	600
800	800
1200	1200

Después de haber comentado las alternativas de solución para el montaje de los fusibles, vamos a entrar en el análisis de las características de operación, diseño y selección de estos.

En el mercado existen dos tipos de fusibles para aplicación en la protección de motores; el convencional tipo renovable y el doble elemento tipo no renovable.

Fusible convencional.- Es del diseño tipo renovable, ósea que solo sustituir el listón fusible queda acondicionado para volverse a utilizar. Como único relleno tiene el aire que se encuentra dentro del cartucho. Su capacidad interruptiva no es mayor de 10,000 Amp. y la etiqueta del cartucho no indica valor alguno. Debido a la curva de respuesta "Corriente en amperes. Tiempo de apertura en segundos" Cuando se usa en la protección de motores es necesario utilizar calibraciones altas de tal manera que soporten la corriente de arranque, esto además trae como consecuencia que algunos casos se tenga que usar interruptores de seguridad o porta fusibles de mayor capacidad a la que requeriría un fusible del tipo doble elemento, ya que no cuentan con características de retardo de tiempo. Tampoco son limitadores de corriente .

Este tipo de fusible es muy económico pero su uso esta limitado a puntos de una instalación donde el nivel de corto circuito no rebasa loa 10,000 A. Por otro lado entre mas ocasiones se sustituye el eslabón fusible, el cartucho se deteriora y envejece mas rápidamente bajando su nivel de aislamiento ya que su función genera altas temperaturas.

Se fabrican en las capacidades que podemos apreciar en la tabla No. 4.

**TABLA No. 4. CAPACIDADES DISPONIBLES PARA FUSIBLES TIPO CONVENCIONAL
RENOVABLE , 250 V. Y 600 V.**

CAPACIDAD EN AMPERES	CAPACIDAD EN AMPERES
3	80
4	90
5	100
6	110
10	125
15	150
20	175
25	200
30	225
35	250
40	300
45	350
50	400
60	500
70	600
75	----

2.0- ELEMENTOS QUE FORMAN UN CONTROLADOR.

Dichos elementos se pueden clasificar según su función, en las siguientes categorías :

- Mando
- Básicos
- De salida
- Auxiliares

- Elementos de mando

Son dispositivos que miden y/o convierten una acción, condición o cantidad física en señales eléctricas (Estación de Botones, Interruptores de Presión, etc.)

- Elementos básicos:

Son aquellos que efectúan la parte de control del sistema. Reciben información de los elementos de mando y la procesan de tal manera que la señal de salida sea la adecuada en la secuencia de operación . (Relevadores , Tubos, Transistores , Válvulas hidráulicas y Neumáticas, etc.)

- Elementos de salida:

Toman la información de los elementos básicos y la amplifican al nivel adecuado de potencia para la operación de las maquinas. (Contactores electromagnéticos y Electrónicos, Solenoides, etc.).

- Elementos auxiliares:

Los mas usuales : Dispositivos de protección y de señalización, reostatos, reactancias , transformadores, etc. . Los cuales se emplean para realizar funciones específicas en la operación y que son propios de diseño particulares.

2.1- METODO PARA LA SELECCIÓN DEL CONTROL.

- Servicio eléctrico.

Es de gran importancia establecer para la selección del tipo de control de arranque y velocidad, conocer el tipo de servicio eléctrico a usar, esto es, si el servicio usara corriente directa (C.D.) o corriente alterna (C.A.).

En el uso de la corriente alterna se tendrá que determinar el numero de fases y frecuencia, en adición de la tensión o voltaje .Otro punto de importancia dentro del servicio eléctrico , es la función que se le va a dar a nuestro motor o maquina, lo cual citaremos a continuación.

- Condiciones de arranque.

En el arranque, cuando el motor esta parado, no se genera en el una f.c.e.m. Esto significa que lo único que limita la intensidad de corriente consumida por la maquina es la resistencia del inducido, que en la mayoría de los motores es del orden de 1 ohm o inferior.

Como sabemos un arrancador es un dispositivo cuya función básica es la de conectar o desconectar un motor a la línea, así como protegerlo contra sobrecargas además de dar protección a toda la maquina y al operador.

- Un arrancador esta constituido básicamente por los elementos siguientes:

- a) Contactores.**
- b) Bobina con núcleo.**
- c) Relevador (Magnético).**
- d) Elementos térmicos.**

El principio de funcionamiento de los arrancadores es común para C.A. y para C.D. , Esto es, que al circular corriente por la bobina el núcleo de esta se magnetizará , atrayendo a la barra de hierro (Armadura) con lo cual cerraremos

nuestro circuito . Ahora bien cuando la corriente es interrumpida la armadura deja de ser atraída por el magneto y la acción de la gravedad ésta cae.

Este es básicamente el principio general de todos los arrancadores. Al arrancar motores de C.A. , se deben cumplir dos condiciones ; especialmente si se arrancan con carga:

- 1) El motor y la línea de alimentación deben de estar protegidos contra sobre intensidades en el arranque.
- 2) El par de arranque debe ser lo suficientemente elevado para que el motor alcance la velocidad nominal en un periodo de tiempo mínimo.

2.2- TIPOS DE CONTROL

Dependiendo de su operación se puede clasificar en :

- Manuales
- Semi- automáticos
- Automáticos.

Ver figuras:

1. Control Manual.
2. Control Semiautomático
3. Control automático.

2.3- CONTROL MANUAL.

El control manual es una forma de mando o regulación que se ejecuta manualmente, en el mismo lugar en que esta situado el dispositivo de control. ver figura No. 1.

El mas sencillo y conocido es probablemente el arrancador de pequeños motores a tensión normal, se utiliza frecuentemente este arrancador donde solo es necesario la función de control para la puesta y parada del motor. Probablemente la principal razón de la popularidad de este dispositivo es que su costo es aproximadamente la mitad del de un arrancador electromagnético equivalente .

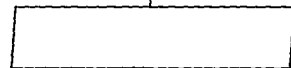
El arrancador manual proporciona generalmente protección contra la sobrecarga y desenganche de tensión mínima, pero no protección contra baja tensión.

El control manual que provee las mismas funciones que las obtenidas por el arrancador manual de motor a tensión plena se puede obtener utilizando un interruptor de fusible del tipo de acción retardada, que proporciona la protección del motor contra sobrecargas..

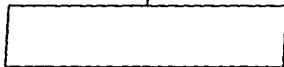
El arranque manual a tensión reducida mediante autotransformador se emplea extensamente para controlar los motores polifasicos de jaula en los que se requiere el arranque a tensión reducida siendo las funciones necesarias del control solamente las de arranque y parada.

En general el control manual se caracteriza por el hecho de que el operador debe mover un interruptor o pulsar un botón para que se efectúe cualquier cambio en las condiciones de funcionamiento de la maquina o del equipo en cuestión.

**DIAGRAMA
DE
BLOQUES**



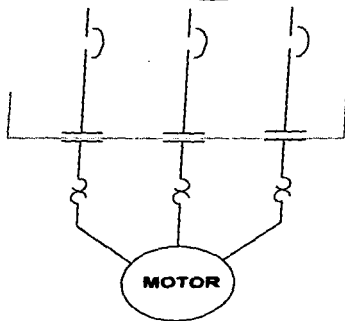
**DISPOSITIVO
DE
PROTECCION**



**CONTROL
MANUAL**



MOTOR



**DIAGRAMA
DE
CONEXIONES**

**TIPO MANUAL
EL CONTROLADOR
DEBE SER OPERADO
MANUALMENTE.**

FIGURA No. 1

2.4- CONTROL SEMI-AUTOMATICO.

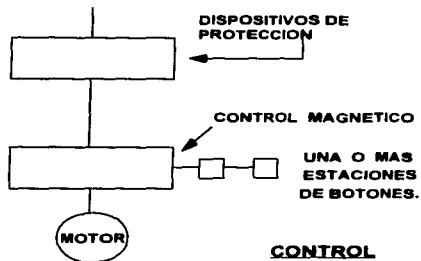
El dispositivo piloto de uso mas común es la estación de botones , la cual puede incluir uno o mas botones de contacto momentáneo ó contacto sostenido .

Están disponibles en el mercado tanto las de servicio normal como las de servicio pesado . Las primeras son adecuadas en la mayoría de las aplicaciones donde la corriente que manejan no es excesiva y el servicio no resulta extremadamente severo . Las estaciones de botones para servicio pesado , como su nombre lo indica son de construcción mas robusta , manejan corrientes mas altas y por consiguiente soportan un servicio más severo . La construcción típica cuenta con el operador y el bloque de contactos en unidades separadas , obteniéndose de esta manera una gran flexibilidad en arreglos de combinaciones de contactos y cabezas de operación mas convenientes. Además del botón de control también puede combinarse con estaciones, interruptores, selectores de dos y tres posiciones , lamparas indicadoras , botones iluminados , interruptores de llave, etc. ver figura No. 2.

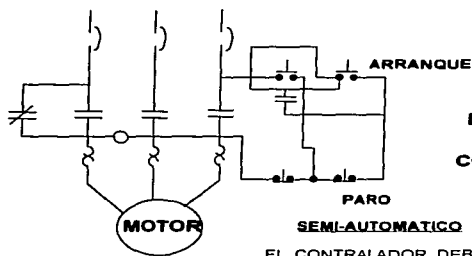
El servicio normal esta disponible en gabinetes de usos generales (NEMA 1) . El servicio pesado ofrece alternativas mas amplias así tenemos gabinetes a prueba de agua (NEMA 4) y para áreas peligrosas por su atmosfera existe el diseño a prueba Y de explosión (NEMA 7 y 9) .

Para mas detalles en cuanto a dimensiones , colores tipos de operadores y arreglos posibles de los bloques de contactos, podemos consultar los catálogos generales de cualquiera de los fabricantes de equipo de control que existen en México.

**DIAGRAMA
DE
BLOQUES**



**CONTROL
SEMI-AUTOMATICO**



SEMI-AUTOMATICO

EL CONTRALADOR DEBE SER MANDADO DESDE LA ESTACION DE BOTONES LA CUAL PUEDE SER REMOTA.

FIGURA No. 2

2.5- CONTROL AUTOMATICO.

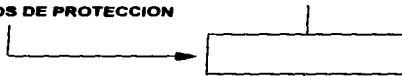
Es muy frecuente y deseable arrancar y parar un motor sin que intervenga la mano de un operario , y es precisamente la función que cumplen los dispositivos de los cuales nos ocuparemos en las siguientes líneas. Ver figura No. 3. La operación de dichos dispositivos generalmente depende de la naturaleza de la necesidad . Ejemplo: los interruptores de nivel de líquido se usan para mantener el nivel de agua u otro líquido cualquiera, en un tanque o recipiente de combustible.

Los interruptores operados por presión mantienen sobre un sistema cerrado, cierto valor de presión, por ejemplo, en un compresor. Existen interruptores que responden a cambios en la temperatura o la humedad , estos pueden controlar ventiladores o equipos de aire acondicionado. Los interruptores tipo reloj sirven para arrancar y parar motores con intervalos de tiempo según exija la secuencia de operación . Los gobernadores de velocidad pueden . estar equipados con contactos para abrir o cerrar a cierta velocidad . También otro dispositivo muy empleado es el interruptor de limite el cual opera por transmisión mecánica directa del movimiento de alguna parte de la maquina , transportador , etc. Existen interruptores tipo flecha rotatoria los cuales abren o cierran sus contactos a determinado numero de vueltas de la flecha del motor o transmisión.

Otro de los dispositivos que tienen gran demanda en la industria son los sensores de proximidad los cuales operan sin contacto físico, basta la sola presencia de cualquier objeto metálico ferroso o no ferroso para abrir o cerrar sus contactos. Mencionaremos también el sensor del tipo fotoeléctrico los cuales operan con un rayo de luz directo al sensor o por medio de un reflector. Por ultimo hablaremos de las fotoceldas de aplicación muy generalizada con combinaciones de interruptor termomagnético y contactor magnético para controlar el alumbrado en industrias, comercios y la vía pública.

DIAGRAMA DE BLOQUES

DISPOSITIVOS DE PROTECCION



CONTROL MAGNETICO



DISPOSITIVO PILOTO



MOTOR

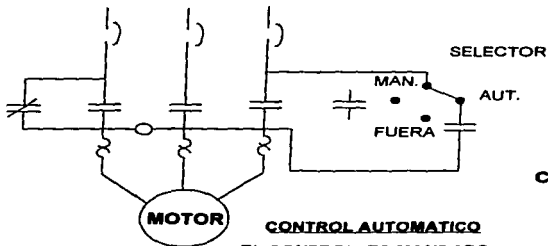


DIAGRAMA DE CONEXIONES

CONTROL AUTOMATICO
 EL CONTROL ES MANDADO AUTOMATICAMENTE DESDE EL DISPOSITIVO PILOTO.

FIGURA No.3

3.0- APLICACIÓN Y SELECCIÓN DEL MOTOR A EMPLEAR.

El motor de inducción es el motor de C.A. que mas se emplea debido a su fortaleza , simplicidad y a la ausencia de colectores y al hecho de que sus características de funcionamiento se adaptan bien a una marcha a velocidades constantes.

En general los motores de inducción se pueden arrancar , conectando directamente a la red de alimentación ó aplicándoles una tensión reducida, durante la tensión de arranque . Los contactores usados para arrancar motores pueden accionarse normalmente ó magnéticamente.

A continuación mencionaremos las características generales de algunos motores de corriente alterna.

a) Motor de velocidad constante.

Es aquel cuya velocidad varia relativamente poco desde vacío hasta plena carga . Mientras no se haya establecido un limite definido ordinariamente se considera que una regulación de velocidad de alrededor de 20% (o menos) es aceptable . Esta clase incluye motores derivación , motores de inducción de jaula de ardilla , motores sincronicos , etc.

b) Motor de velocidad regulable.

Es aquel cuya velocidad puede ajustarse gradualmente dentro de un margen considerable , es decir por encima o por debajo de la velocidad nominal , pero cuya velocidad para un determinado ajuste (regulación de velocidad) varia solo relativamente poco desde vacío hasta plena carga.

El motor derivación de corriente continua es un ejemplo excelente de este tipo de motor .

c) Motor de velocidad variable regulable.

Es aquel cuya velocidad puede ajustarse gradualmente dentro de un margen considerable pero cuya velocidad , para un ajuste determinado varía considerablemente desde vacío hasta plena carga , es decir , con regulación de velocidad mas pobre del 20% . Dentro de esta categoría pueden citarse los motores serie, algunos motores compound, etc.

d) Motor de varias velocidades.

Es aquel que su velocidad puede ajustarse para dos o mas valores definidos pero cuya velocidad no puede ajustarse gradualmente y que la velocidad para un ajuste determinado varia solo relativamente poco desde vacío hasta plena carga .

El motor de inducción , tanto polifásico como monofásico que tiene un numero de polos variables , es un ejemplo excelente de este tipo .

e) Motor de inversión.

Es aquel motor que puede invertirse en cualquier momento bajo cualquier condición de carga , incluso cuando esta en marcha a la carga nominal y a la velocidad nominal cambiando ciertas condiciones del motor .

Todos los motores de corriente continua son motores de inversión , utilizando conexiones de inversión en el inducido. De los tipos de inducción monofásico de corriente alterna, sólo el motor de condensador es un motor de inversión . Todos los motores de inducción son motores de inversión mediante conexiones .

La velocidad como ya lo dijimos juega un papel importante en el desempeño de ciertas funciones .

La asociación de fabricantes de equipo eléctrico (**NEMA**) , con el fin de tener uniformidad en la aplicación ha clasificado a los motores de inducción. De

acuerdo con el par desarrollado a rotor bloqueado, el par máximo, la corriente de arranque a algunos otros valores y ha designado letras a este tipo de motores.

- Las designaciones NEMA más comunes son:

- Clase B
- Clase C
- Clase D

Designación NEMA Clase B: Este motor tiene como característica :

Par de arranque normal y baja corriente de arranque. Este motor es el mas usado de los tipo jaula de ardilla , ya que tiene un par de arranque y un par de rotor bloqueado, adecuado para la marcha de una gran variedad de máquinas industriales , además toma una corriente aceptable a pleno voltaje.

Aplicaciones: Maquinas, herramientas como tornós , esmeriles, fresas, etc. para accionar bombas centrifugas en usos de líquidos ,para accionar ventiladores, en sopladores para extracción de humos, gases, para accionar prensas , trituradores, etc.

Designación NEMA clase C: Características , Alto par de arranque y baja corriente de arranque ; es decir , que estos motores tienen alto par a rotor bloqueado , baja corriente de arranque y relativamente un bajo deslizamiento a plena carga.

Aplicaciones: En compresores de movimiento alternativo (bajo condiciones de carga) , elevadores , transformadores de material , trituradores , pulverizadores, etc.

Designación NEMA clase D. Características : Alto par de arranque , baja corriente de arranque y alto deslizamiento. Usan rotor con alta frecuencia y se

emplean comúnmente con carga , esto provoca muchas pérdidas intermitentes de altas y bajas. Las máquinas impulsadas por estos motores generalmente están provistos de un volante , que tiene una inercia considerable; en vacío estos operan con un deslizamiento muy pequeño que crece cuando se aplica la carga máxima considerable , permitiendo al sistema absorber la energía del volante .

Aplicaciones: Se usa generalmente en punzadores, bombas de movimiento alternativo, desmenuzadoras, etc.

Ventajas y Desventajas del uso de motores de Inducción .

VENTAJAS: a) Costo inicial bajo.

b) Su rotor es de construcción simple.

c) Es compacto y su instalación ocupa poco espacio

d) No produce chispas provocadoras de incendios.

e) El equipo de control es muy pequeño.

DESVENTAJAS: a) Su corriente de arranque es relativamente alta.

b) El par de arranque es fijo.

c) Bajo factor de potencia en los motores que funcionan a bajas velocidades o sin carga.

d) El costo de un motor de inducción y su funcionamiento en muy altas capacidades, es muy caro en comparación con el uso de un motor sincrónico.

A continuación se presentan las siguientes tablas No.1 y No.1.a para poder darnos una idea sobre la clasificación de motores basada en la regulación de velocidad y variación de la velocidad. Y también podemos apreciar el diagrama No.1 para complementar la información en general sobre la selección de los motores.

CLASIFICACION DE MOTORES BASADA EN LA REGULACION DE VELOCIDAD Y LA VARIACION DE VELOCIDAD.

GRUPO	TIPO DE MOTOR	CARACTERISTICAS DE REGULACION DE VELOCIDAD
1	MOTOR SINCRONO a. Polifásico b. Monofásico 1. Motor de retención 2. Motor de histéresis	Absolutamente constante a la velocidad de sincronismo. $S = 120f / P$
2	SCIM (motor de inducción de jaula de ardilla), asincrónico a. Polifásico b. Monofásico Motor derivación de C. C.	Velocidad relativamente constante desde vacío a plena carga con una velocidad en vacío algo más elevada.
3	SCIM Polifásico clase D Motor compound C. C.	Disminución de velocidad moderada desde vacío hasta plena carga. Disminución de velocidad muy grande desde vacío hasta plena carga.
4	Motor de repulsion-inducción, motor serie, motor universal de C. C. y C. A.	Velocidad elevada a cargas reducidas o en vacío. Par de arranque muy grande y velocidad reducida a un par elevado.

TABLA No.1 Clasificación de motores

CARACTERISTICAS DE VARIACION DE VELOCIDAD REGULABLE *

1	SCIM polifásico o motor sincrónico utilizando un alternador de frecuencia regulable.	Margen variación de velocidad hasta 6:1
2	Motor de C.C. Utilizando control de la tensión de inducido y del reactivo de excitación.	Margen variación de velocidad hasta 200:1
3	Motores monofásicos y polifásicos utilizando sistemas mecánicos de ajuste de la velocidad o embragues de corrientes parásitas.	Hasta 25 c.p. Variación velocidad hasta 16:1 Hasta 100 c.p. Variación velocidad hasta 100:1
4	Motor de C.C. utilizando un control de semiconductores de la onda de entrada.	Variación velocidad desde 10:1 hasta 200:1
5	WRIM (motor de inducción de rotor bobinado) polifásico utilizando : a. Control de la resistencia del secundario. b. Concatenación (control de la tensión auxiliar) c. Sistema de control Kramer. e. Sistema Scherbius. f. Control de tensión auxiliar a semiconductores	
6	Motor Schrage de desplazamiento de escobillas (BTA)	Variación velocidad desde 4:1
7	Motor de repulsión de escobillas desplazables.	Variación velocidad desde 6:1
8	SCIM de varias velocidades, polifásicos y monofásicos.	Relaciones de velocidad de 2:1 ó 4:1, pero no regulable en estos márgenes. La velocidad es definida con pequeñas variaciones debidas a la carga.

TABLA No.1 Clasificación de motores

3.1- EQUIPOS DE ARRANQUE PARA MOTORES DE INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA.

Teóricamente no hay razón para que cualquier motor de este tipo se pueda arrancar conectándolo directamente a la línea de alimentación sin el uso de algún dispositivo en especial. De cualquier manera la corriente de arranque sería de 4 a 10 veces la corriente nominal, esta corriente puede dañar al motor y puede provocar disturbios en la línea de alimentación. También puede provocar esfuerzos mecánicos en la maquina ocasionando que ésta sufra daños severos, lo cual hace necesario que se use una forma de arranque de voltaje reducido. A continuación se describen en las tablas No. 2, 3 y 4. Los métodos mas comunes de arranque a tensión reducida.

Existen cinco métodos comunes para arrancar motores de inducción jaula de ardilla y son los siguientes :

3.1.1- Arranque directo a la línea. En el cual el motor se conecta en forma directa y a voltaje pleno por medio de un interruptor operando en forma manual o con el uso de un contactor magnético.

Los arrancadores de este tipo tienen ventajas que resultan lógicas ya que son muy simples, fáciles de instalar, de mantenimiento sencillo y económicos. Su desventaja es que el motor toma una corriente de arranque de cuatro a diez veces la corriente a plena carga. En el caso de motores de capacidad pequeña esto no representa problema, no así con motores grandes, sobre todo cuando existen restricciones en la fuente de alimentación, ya que puede causar disturbios en el sistema, por esta misma razón la compañía suministradora puede objetar el uso de este método de arranque.

TABLA DE METODOS DE ARRANQUE PARA MOTORES DE C.A.

MOTOR		ARRANCADOR	METODO	OPERACION	OBSERVACION	
TIPO	FASES					
INDUCCION JAULA DE ARDILLA.	MONOFASICO	A TENSION PLENA		MANUAL	BAJA TENSION	
				MAGNETICO		
	TRIFASICO	A TENSION PLENA		COMBINADO CON INTERRUPTOR DE FUSIBLES. COMBINADO CON INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO. REVERSIBLE	MANUAL	BAJA TENSION
					MAGNETICO	
					MAGNETICO	
					MAGNETICO	
	TRIFASICO	A TENSION REDUCIDA		POR RESISTENCIA PRIMARIA	MAGNETICO	BAJA TENSION
				POR AUTOTRANSFORMADOR	MANUAL	
					MAGNETICO	
				POR REACTOR	MAGNETICO	
ESTRELLA-DELTA				MAGNETICO	BAJA TENSION	
DEVANADO BIPARTIDO						
2 VELOCIDADES						
ROTOR DEVANADO	TRIFASICO	CONTROL SECUNDARIO	POR RESISTENCIA SECUNDARIA	MAGNETICO	BAJA TENSION	
SINCRONO	TRIFASICO	A TENSION PLENA		MAGNETICO	ALTA TENSION EN AIRE	
				BAJA TENSION		
		A TENSION REDUCIDA	POR RESISTENCIA PRIMARIA POR AUTOTRANSFORMADOR			

TABLA No.2 Selección de metodos de arranque.

TABLA DE METODOS DE ARRANQUE CON ARRANCADORES A TENSION REDUCIDA					Hoja 1
ARRANCADOR	CORRIENTE EN * EL ARRANCADOR	PAR DE * ARRANQUE	VOLTAJE EN * EL MOTOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
TIPO AUTO TRANSFORMADOR	64 42 25	64 42 25	80 65 50	1. El balance entre voltaje y par de arranque se logra mediante las tres piernas del autotransformador. 2. Alta eficiencia del par de arranque. 3. Flexibilidad para la aplicación. 4. Protección contra bajo voltaje. 5. Relevador de sobrecarga bimetalico 6. Larga vida con pocas partes móviles	1 Ciclo de trabajo limitado por el autotransformador.
Tipo Magnetico	64 42 25	64 42 25	80 65 50	1. Operación automática despues de la señal de motivación. 2. Operación a control remoto de acuerdo a las necesidades. 3. Mayores ciclos de operación que el tipo manual (15 segundos de 4 minutos durante 1 hora y despues de un periodo de descanso de 2 horas. 4. Circuito de transición cerrada (El motor esta conectado desde arranque hasta plena carga. Sin interrupciones de corriente). 5. Protección al autotransformador.	1. Más caro que el tipo manual
Manual	64 42 25	64 42 25	80 65 50	1. Mas barato que el magnetico.	1. Operación más difícil que el magnetico 2. 15 segundos de arranque en periodos de 4 min. y con un total de cuatro ciclos.

TABLA No.3 Metodos de arranque con arrancadores

TABLA DE METODOS DE ARRANQUE CON ARRANCADORES A TENSION REDUCIDA

Hoja 2

ARRANCADOR	CORRIENTE EN * EL ARRANCADOR	PAR DE * ARRANQUE	VOLTAJE EN * EL MOTOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Resistencia Primaria	80	64	80	<ol style="list-style-type: none"> 1. Es el menos complejo de los arrancadores A.T.R. 2. Aceleración suave. 3. Circuito de transición cerrada. 4. Factor de potencia alto al arranque. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bajo par de arranque cuando el voltaje decrece. 2. Las características de arranque no son facilmente ajustadas despues de manufacturarse. 3 Demasiada corriente en el arranque.
Devado Bipartido	65	42	100	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aplicaciones de alto ó bajo voltaje. 2. Circuito de transición cerrado. 3. Aceleración plena en un paso para la mayoría de los motores de inducción STD o * , Motores especiales de devanado bipartido. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Normalmente baja eficiencia de motores de alta velocidad (2cp) 2. No recomendable para motores de alta inercia 3. Requiere diseño de motores especiales para motores amba de 220 V.
Estrella	33	33	100	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alta capacidad de trabajo en el arranque no son ajustables para motores de alta inercia 2. Requiere de un diseño especial en el motor. 	

TABLA No.4 Métodos de arranque con arrancadores

Existen dos tipos de arrancadores para conexión directa a la línea :

1.a- Arrancador manual.

1.b- Arrancador magnético.

1.a- Arrancador manual.

Se trata de un dispositivo de conexión y desconexión rápida cuyo mecanismo está diseñado para abrir y cerrar un arreglo de contactos llamado de fuerza o principales . Esta operación se realiza oprimiendo manualmente los botones de "Arranque" y "Paro" que se encuentran colocados en la cubierta del arrancador. Existen arrancadores manuales equipados con relevador de sobrecarga o sin él.

También existe el diseño llamado de tipo tambor, el cual tiene un mecanismo de operación similar al de botones excepto que se opera por medio de una palanca, además tiene la opción de ser de posición sostenida en "arrancar" o con resorte de retorno a la posición de "Parar" , es decir que los contactos se mantienen cerrados solo mientras el operador sostiene la palanca en la posición de "arrancar" , pero al soltar la palanca los contactos abren y paran al motor.

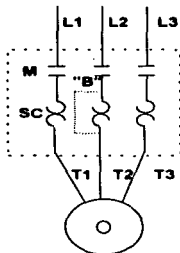
Este tipo de arrancador resulta muy versátil en su montaje ya que incluso puede quedar empotrado en el cuerpo de la maquina.

No olvidaremos mencionar por ultimo al arrancador tipo apagador , que como su nombre lo indica tiene un diseño en su mecanismo de operación similar al apagador común y corriente para circuitos de alumbrado. Se fabrican en uno y dos polos, con luz piloto para indicar "motor dentro" y en todos los casos con relevador de sobrecarga . Ver diagramas No. 2 y No. 3.

Las tablas No.5, No.6 y No.7 nos indican las capacidades disponibles en el mercado nacional en lo que a los arrancadores manuales se refiere.

DIAGRAMA No. 2

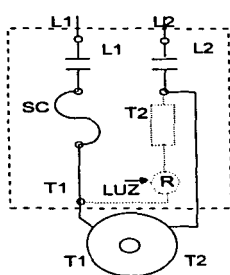
ARRANCADOR MANUAL DE BOTENES
CON RELEVADOR DE SOBRECARGA.



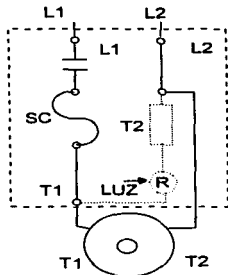
MOTOR

QUITE EL CONECTOR "B"
CUANDO SE REQUIERA
EL TERCER ELEMENTO

DIAGRAMA No. 3 ARRANCADOR MANUAL TIPO APAGADOR
CON RELEVADOR DE SOBRECARGA UNO
Y DOS POLOS .



MOTOR



MOTOR

TABLA No. 5 ARRANCADORES DE BOTONES

TAMAÑO NEMA	CAPACIDAD MAXIMA EN CP. (VOLTS)			
	110	220	440	
	2 POLOS CON Y SIN RELEVADOR DE SOBRECARGA (1 FASE)			
0	1	1 1/2	-----	
	3 POLOS CON Y SIN RELEVADOR DE SOBRECARGA (3 FASES)			
0	1 1/2	3	5	
1	3	7 1/2	10	

TABLA No. 6 ARRANCADORES MANUALES TIPO TAMBOR

TAMAÑO NEMA	AMPERES MAXIMOS	CAPACIDAD MAXIMA EN CP. 3 O 2 FASES 3H. 1 FASE			
		220V	440V	115V	220V
00	10	1 1/2	-----	1	1 1/2
0	15	2	2	1	1 1/2
1	25	5	7 1/2	1 1/2	3

TABLA No. 7 ARRANCADORES MANUALES TIPO APAGADOR CON RELEVADOR DE SOBRECARGA PARA MOTORES MONOFASICOS

No DE POLOS VOLTS CP		
1	115/230	1
2	115/230	1

1.b- Arrancador magnético.

Este esta integrado por un contactor magnético y un relevador de sobrecarga. Este tipo de arrancador generalmente se monta alojado en un gabinete metálico, el cual puede cubrir en su construcción las diferentes alternativas que exigen las normas para su utilización en diferentes áreas de trabajo , por ejemplo gabinete de usos generales o tipo interior ,gabinete a prueba de agua ,gabinete a prueba de polvo y gabinete a prueba de explosión . Se opera por medio de una estación de botones "arrancar-parar" en caso de existir operario o por medio de algún otro dispositivo de operación automática, los cuales cumplen la función de energizar o desenergizar la bobina del contactor magnético. Es posible tener una combinación de estación de botones "arrancar-parar" con un interruptor selector de tres posiciones para tener la opción de arranque manual y arranque automático , en este ultimo caso aprovechando la señal de un interruptor de limite, de flotador , de temperatura, algún entrelace con otra maquina, etc.

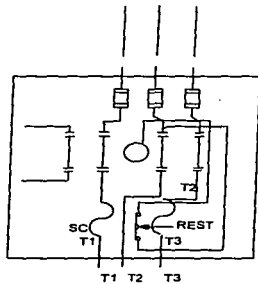
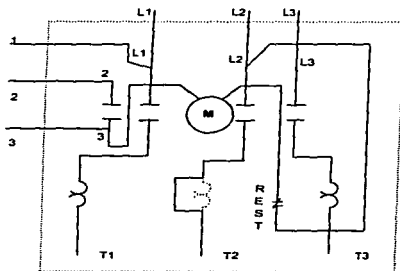
Una de las ventajas del arrancador magnético es que se dispone de la protección contra bajo voltaje cuando se opera desde una estación de botones de contacto momentáneo , a lo que se le llama "control a tres hilos" Es importante hacer mención aquí que este tipo de arrancador es un dispositivo que nos ofrece además de la función de arranque las protecciones arriba citadas (sobre carga y voltaje).

El arrancador magnético está disponible para montaje tipo abierto, es decir sin gabinete lo cual da la opción de instalarse en el cuerpo de la propia maquina o en un tablero de control el cual centraliza a varios arrancadores conjuntamente con otros equipos.

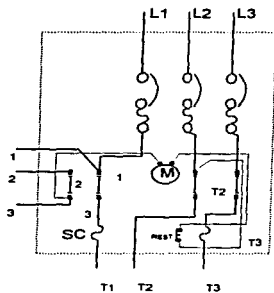
Además los fabricantes los tienen disponibles combinados con interruptores de navajas tipo fusible o interruptor termomagnético en todos los tipos de gabinetes que se mencionaron arriba . Ver diagramas No. 4, No. 5 , No. 6.

**DIAGRAMA No.5 ARRANCADOR MAGNETICO COMBINADO
CON INTERRUPTOR DE NAVAJAS TIPO
FUSIBLES.**

**DIAGRAMA No.4 ARRANCADOR MAGNETICO A VOLTAJE PLENO
NO REVERSIBLE, TRIFASICO.**



**DIAGRAMA No.6 ARRANCADOR MAGNETICO COMBINADO
CON INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO.**



A continuación se presentan las tablas No.8, 9. la cual nos indica los tamaños NEMA , así como sus capacidades en HP a diferentes voltajes, que están disponibles en el mercado nacional.

3.1.2.- Arranque con autotransformador. Aquí el motor se arranca a voltaje reducido por medio de un autotransformador y posteriormente cuando el motor se ha acelerado alcanzando su velocidad nominal se le aplica el voltaje pleno. Este arrancador incluye un autotransformador de dos "piernas" conectadas en delta abierta . Algunos fabricantes usan el autotransformador con tres piernas , aunque la operación con dos es más que suficiente ya que la corriente en la tercera fase es solamente de alrededor del 15% mayor que en las otras dos fases y este desbalanceo está permitido . Normalmente los autotransformadores se fabrican con tres derivaciones 50% , 65% y 80% del voltaje pleno . La corriente del motor varía directamente con el voltaje aplicado; la corriente de línea varía con el cuadrado del voltaje aplicado. En consecuencia el par de arranque varía directamente con la corriente de línea, despreciando las pérdidas en el autotransformador. Las características principales de este arrancador comparadas con las de otro tipo son baja corriente de línea, bajo consumo de potencia de la línea y bajo factor de potencia. Una desventaja es que el par permanece prácticamente constante en el primer paso y conservándose esta situación , solo que a otro valor, para el segundo paso , lo que no sucede con el tipo de resistencia primaria ya que el par varía progresivamente conforme el motor se acelera. Existen dos diseños en las conexiones y componentes del circuito ; uno en el cual al momento de la transferencia de la conexión de voltaje reducido a voltaje pleno el motor queda momentáneamente desconectado de la línea y aquel en el cual se logra el cambio por medio de un circuito conocido como de "transición cerrada" sin que en ningún momento las terminales del motor queden sin energía, esto solamente en el arrancador tipo magnético .

TABLA No. 8. ARRANCADORES MAGNETICOS A VOLTAJE PLENO, NO REVERSIBLE.

TAMAÑO NEMA	CAPACIDAD MAXIMA EN (HP) (VOLTS)		
	110	220	440
0	1 1/2	3	5
1	3	7 1/2	10
2	7 1/2	15	25
3	15	30	50
4	25	50	100
5	50	100	200
6	---	200	400
7(*)	---	300	600
8(*)	---	450	900

(*) ESTOS TAMAÑOS DE ARRANCADORES SON DE ORIGEN DE IMPORTACIÓN.

TAMAÑO NEMA	VOLTS	CAPACIDAD MAX. EN HP. TRABAJO SIN FRENAO Y SIN PULSAR		CAPACIDAD MAX. EN HP. TRABAJO DE FRENAO Y DE PULSACION		CAPACIDAD DE CORRIENTE CONTINUA EN AMPERES. 600 VOLTS MAX.	CAPACIDAD DE CORRIENTE EN LIMITE DE SERVICIO
		MONOFASICO	POLIFASICO	MONOFASICO	POLIFASICO		
00	110	1/3	3/4	---	---	9	11
	208-220	1	1-1/2	---	---	9	11
	440	---	---	---	---	9	11
	550	---	2	---	---	9	11
0	110	1	2	1/2	1	18	21
	208-220	2	3	1	1-1/2	18	21
	440	---	5	---	2	18	21
	550	---	5	---	2	18	21
1	110	2	3	1	2	27	32
	208-220	3	7-1/2	2	3	27	32
	440	---	10	---	5	27	32
	550	---	10	---	5	27	32
1P	115	3	---	1-1/2	---	36	42
	230	5	---	3	---	36	42
2	110	3	7-1/2	2	---	45	52
	208-220	7-1/2	15	5	10	45	52
	440	---	25	---	15	45	52
	550	---	25	---	15	45	52
3	110	7-1/2	15	---	---	90	104
	208-220	15	30	---	20	90	104
	440	---	50	---	30	90	104
	550	---	50	---	30	90	104
4	110	---	---	---	---	135	156
	208-220	---	50	---	30	135	156
	440	---	100	---	60	135	156
	550	---	100	---	60	135	156
5	110	---	---	---	---	270	311
	208-220	---	100	---	75	270	311
	440	---	200	---	150	270	311
	550	---	200	---	150	270	311
6	110	---	---	---	---	540	621
	208-220	---	200	---	150	540	621
	440	---	400	---	300	540	621
	550	---	400	---	300	540	621
7	110	---	---	---	---	810	932
	208-220	---	300	---	---	810	932
	440	---	600	---	---	810	932
	550	---	600	---	---	810	932
8	110	---	---	---	---	1215	1400
	208-220	---	450	---	---	1215	1400
	440	---	900	---	---	1215	1400
	550	---	900	---	---	1215	1400

TABLA No.9 Capacidades en HP de los arrancadores magneticos

Este arrancador está disponible en el mercado en operación manual (conocido como compensador) y en operación magnética. En el tiempo de transferencia de voltajes reducidos a pleno, depende totalmente de la responsabilidad y criterio del operario, mientras que el magnético dicho tiempo de transferencia está preestablecido mediante el ajuste de un relevador de tiempo. En ambos casos se integra la protección por sobrecarga y bajo voltaje (no voltaje).

El magnético es posible combinarlo con interruptor de tipo termomagnético utilizando el mismo gabinete en que se encuentra alojado el arrancador. Para el tipo manual el diseño del gabinete del arrancador no lo permite por que se deberá usar un gabinete adicional para montar el interruptor. Para capacidades máximas ver tablas No.10 y No.11

3.1.3.- Arranque con resistencia primaria. En esta opción se emplea un banco de resistencias de valor fijo ó variable, conectándolo al primario del motor (estator) durante el periodo de aceleración. Estas resistencias se puentean dejándolas fuera del circuito y se aplica el voltaje pleno al motor cuando éste ha sido acelerado.

En este tipo de arrancador el motor se conecta a la línea a través de un banco de resistencias, en las cuales se provoca una caída de voltaje y así es como las terminales del motor reciben un voltaje menor al de la línea.

La corriente de la línea es la misma que la corriente del motor y es mucho más alta comparativamente con el arrancador tipo autotransformador. De ahí que la eficiencia de este arrancador es menor que la del tipo autotransformador.

Sus ventajas son que proporciona una aceleración suave, un alto factor de potencia y bajo costo en los tamaños más pequeños. La suavidad en la aceleración se debe a que conforme el motor se va acelerando la corriente que va tomando cada vez es menor y en consecuencia la caída de voltaje en las resistencias cada vez es también menor mientras que el voltaje en las

**TABLA No.10. ARRANCADOR A VOLTAJE REDUCIDO TIPO AUTOTRANSFORMADOR
OPERACION MANUAL , TRANSICION ABIERTA (NO ESTA GENERALIZADA LA CLASIFICACION
POR TAMAÑOS NEMA ENTRE LOS DIFERENTES FABRICANTES)**

HP MAXIMOS	VOLTS
	220
	440
20	220
	440
25	220
	440
30	220
	440
40	220
	440
50	220
	440
60	220
	440
75	220
	440
100	220
	440
125	440
	440
150	440
	440
200	440
	440
250	440

(*) ALGUNOS FABRICANTES LO TIENEN DISPONIBLE
TAMBIEN EN TRANSICION ABIERTA A UN PRECIO DE
VENTA MÁS BAJO.

**TABLA No.11. ARRANCADOR A VOLTAJE REDUCIDO TIPO
AUTOTRANSFORMADOR , OPERACION AUTOMATICA,
TRANSICION CERRADA . (*)**

TAMAÑO NEMA	CP (HP) MAXIMOS	VOLTS
2	15	220
	25	440
3	30	220
	50	440
4	50	220
	100	440
5	75	220
	100	220
	150	440
	200	440
6	150	220
	200	220
	250	440
	300	440
	400	440
7	300	220
	500	440
	600	440

terminales de el motor se va elevando . El par va aumentando en forma constante conforme aumenta la velocidad . Para un par inicial dado el motor se acelera mas rápidamente que si se arranca con el tipo de autotransformador . En este caso durante la transición de voltaje reducido a voltaje pleno el motor no se desconecta de la línea las resistencias son simplemente punteadas , en consecuencia el motor no pierde velocidad durante el periodo de transferencia y esto hace que la aceleración sea más suave. En lo que a costo se refiere en los tamaños pequeños es más barato que el tipo autotransformador.

A continuación se presenta la figura No.1 para diferentes valores de resistencia primaria y muestra la aceleración del motor en cada caso . Es evidente que arranca con carga ligera , por ejemplo en una bomba centrifuga, el motor casi alcanzara la velocidad nominal con la resistencia conectada en el circuito . cuando es necesario limitar los aumentos de corriente que pueda tomar de la línea se pueden usar dos o mas pasos en el corte de la resistencia primaria .

Ver diagrama No.7.

- 3.1.4.- Arranque estrella-delta.** Este tipo de arranque necesita un motor con conexiones especiales . Cuando se aplica este método el voltaje en las terminales del motor es aproximadamente de un 58% del voltaje de línea , 58% de la corriente a plena carga y 35% del par nominal. Cuando el motor esta diseñado para operar normalmente con el embobinado del estator en delta, el voltaje por fase es igual a el voltaje de línea. Si mediante elementos externos el embobinado se conecta en estrella durante el periodo de arranque, el voltaje de fase se reducirá, es decir al 58% del voltaje de línea . Ver diagrama No.8.

FIGURA No.1 CURVAS DE ARRANQUE CON RESISTENCIA PRIMARIA

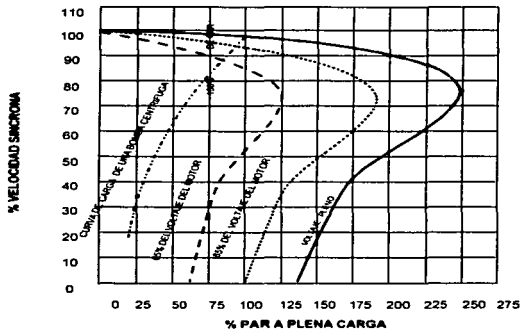
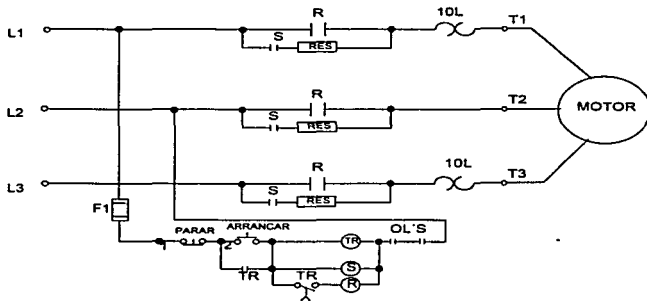


DIAGRAMA No.7 ARRANCADOR A VOLTAJE REDUCIDO TIPO RESISTENCIA PRIMARIA UN PASO.



Este tipo de arrancador se aplica solamente a motores de seis puntas , ya que requiere que ambos extremos de los embobinados de cada fase se dispongan en la caja de conexiones del motor .

Este método de arranque tiene como características baja corriente de arranque, así como bajo par de arranque, ya que cuando el embobinado esté conectado en estrella, estos serán del 33% . La razón es la siguiente; si suponemos que la corriente de arranque sea 61 % y el par de arranque 1.5 T% al voltaje nominal, cuando el devanado esté conectado en delta. De ahí que el voltaje en cada devanado de fase se reducirá a $0.58 E_{\text{nominal}}$ cuando se use la conexión estrella , la corriente de línea pico, la cual es la misma que la corriente del devanado.

En esta alternativa de arrancador , al igual que en el tipo autotransformador , existen las opciones en circuitos de transición abierta y transición cerrada , siendo la primera la mas usual y la que está disponible como equipo de línea normal de los fabricantes de equipo de control . La transición cerrada tiene como finalidad evitar el pico de corriente que ocurre en el momento de la desconexión del motor a la línea de alimentación por el cambio de circuito estrella a circuito delta, así como evitar los esfuerzos de tipo mecánico que esto suele ocasionar en la maquina. Se logra agregando al circuito un banco de resistencias y un contactor magnético extra , a través de los cuales se mantiene la continuidad de alimentación a las terminales del motor .

Este arrancador también esta disponible en el mercado nacional en operación manual , transición abierta , sin relevador de sobrecarga , tipo tambor de configuración muy compacta lo que permite su montaje en el cuerpo de diferentes tipos de maquinas herramientas principalmente.

El tipo magnético los fabricantes lo pueden suministrar combinado con interruptor termomagnético instalado en el mismo gabinete del arrancador .

Ver tabla No. 12 para capacidades máximas disponibles en el mercado .

3.1.5.- Arranque con embobinado dividido . En este caso solo una primera parte del devanado del motor está conectado a la línea en el primer paso del arranque , después de un lapso de tiempo se conecta a la línea en el primer paso del arranque , después de un lapso de tiempo se conecta a la línea la segunda parte del devanado quedando de esta forma conectado la totalidad del estator a la línea de alimentación. También suele usarse el arranque con reactor primario en lugar del de resistencia primaria.

Para poder usar ese tipo de arrancador se requiere que el devanado del motor esté en dos partes y por lo tanto el motor cuenta con seis terminales .

En consecuencia este método de arranque se aplica a aquellos motores que están diseñados para usarse en dos voltajes . Los embobinados se conectan en paralelo para manejarse con el voltaje menor y en serie para el voltaje mayor . Es decir que un motor de 220/440 V. Se podrá conectar en 220 V. con un arrancador de embobinado dividido . El arrancador conecta a la línea la primera parte del embobinado en el momento de presionar el botón de "arranque ", después de un periodo de tiempo preestablecido en un relevador de tiempo , la segunda parte del embobinado se conecta en paralelo con la primera, y así ambas quedan alimentadas de la línea. De esta manera la corriente se reduce aproximadamente a la mitad del valor que se requeriría si ambos devanados fueren conectados en forma simultánea a la línea de alimentación .

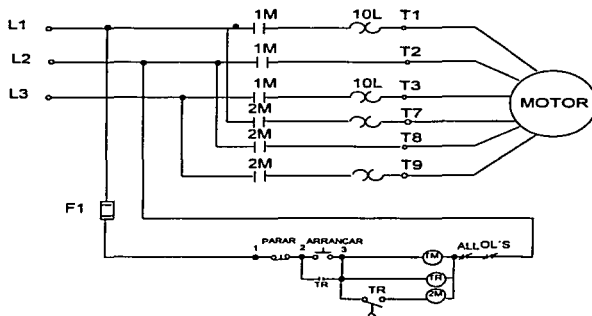
El par que se obtiene es menor al 50% que cuando se conectan los dos devanados al mismo tiempo.

Existe la posibilidad de ensamblar el arrancador agregándole una resistencia primaria de un paso conectándola en el circuito de la primera parte del embobinado, entonces se logra el arranque en tres pasos .

TABLA No.13 ARRANCADOR PARA MOTOR DE EMBOBINADO DIVIDIDO.

TAMAÑO NEMA	C.P. MAXIMOS	
	220 V.	440 V.
1 PW	15	20
2 PW	30	50
3 PW	60	100
4 PW	100	200
5 PW	200	400
6 PW	300	600

DIAGRAMA No.9 ARRANCADOR PARA MOTOR DE EMBOBINADO DIVIDIDO



Se requiere dos arrancadores magnéticos a tensión plena , no reversibles por cada parte del embobinado, por lo que cada uno de ellos manejan el 50% de la capacidad total del motor . Ver diagrama No.9.

En realidad se puede decir que el arrancador de embobinado dividido esta disponible para dos tipos de motores , el primero de conexión estrella y puede ser un motor estándar de voltaje dual , así se usa el voltaje más bajo. El otro motor es uno de embobinado delta dual y un solo voltaje. A continuación se presenta la tabla No. 13 que indica las capacidades máximas para este tipo de arrancador.

3.1.6.- Arrancadores reversibles.

El sentido de giro de un motor de inducción jaula de ardilla trifásico puede invertirse con solo cambiar la conexión de dos de las terminales del estator .Así mismo si el motor es de dos fases basta cambiar la conexión de una de las terminales . Este tipo de motor puede cambiar bruscamente su sentido de giro mientras esta en operación ; el valor de la corriente en ese momento resulta ligeramente mayor a la que toma en un arranque inicial desde la condición de reposo .

Está disponible en operación manual y magnética ; este ultimo esta integrado con dos contactores magnéticos con entrelace mecánico y eléctrico, de tal manera que ambos no pueden operar al mismo tiempo . Tiene integrada la protección por sobrecarga y bajo voltaje.

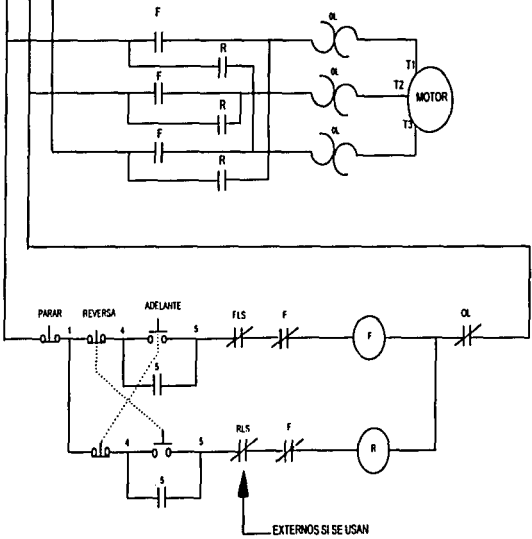
El manual existe en el diseño llamado tipo tambor sin relevador de sobrecarga integrado.

El magnético está disponible en combinación con interruptor termomagnético instalado en el mismo gabinete del arrancador.

Las capacidades en HP disponibles son las mismas que existen para los arrancadores del tipo no reversibles. Ver diagrama No. 10.

L1 L2 L3

DIAGRAMA No. 18 ARRANCADOR MAGNETICO REVERSIBLE A TENSIÓN PLENA PARA MOTOR DE INDUCCIÓN JALVA DE ARROLLA.



3.2- METODO GENERAL DE ARRANQUE PARA EL MOTOR SINCRONO DE INDUCCIÓN.

Para arrancar un motor sincrónico de inducción éste se debe llevar a su velocidad de sincronismo, o muy cerca de ella, sin energizar el campo de corriente continua, y en ese momento alimentar dicho campo para poner al motor en su velocidad nominal. Un motor de inducción pequeño se puede montar en la flecha del motor sincrónico para ayudarlo a que llegue muy cerca de la velocidad sincrónica, dicho motor debe tener menos polos que el motor sincrónico, de tal manera que este pueda alcanzar la velocidad requerida.

Si se monta en la flecha del motor una fuente de excitación para alimentar el campo, se puede usar un motor de corriente continua para el arranque siempre y cuando se cuente con una fuente de alimentación de C.C. por separado para poder energizar dicho motor. No obstante, ya que la mayoría de los motores sincrónicos son polifásicos y están provistos de un devanado amortiguador, la práctica común es arrancarlos como motores de inducción jaula de ardilla, el par se produce por la corriente que se induce en el devanado amortiguador. Como los motores de inducción jaula de ardilla, los sincrónicos de inducción pueden ser conectados directamente a la línea o arrancarlos a voltaje reducido tipo autotransformador, la práctica usual es cerrar primero el contactor de arranque, conectado el estator al voltaje reducido, y entonces, cuando la velocidad es cercana a la de sincronismo, se abre el contactor de arranque y se cierra el contactor de marcha, conectando el estator al voltaje pleno de línea. Después de un periodo de tiempo muy corto se cierra el conductor del campo y así este queda conectado a su línea de alimentación de C.C.

Como el devanado del campo tiene un gran número de vueltas se deben tomar precauciones especiales durante el arranque contra el alto voltaje que se genera. Cuando el devanado del campo es estacionario, como en inversores giratorios, se montan interruptores para abrirlo en secciones y así

limitar el voltaje generado . Este método no es practico cuando el campo es giratorio debido a que se requieren anillos rozantes extras. La practica más empleada es que durante el periodo de arranque se ponga en corto circuito el campo a través de una resistencia llamada de descarga .

Cuando el excitador esta montado en la flecha del motor sincrónico, el campo se puede conectar a dicho excitador antes del arranque y dejarlo conectado durante el tiempo que este dure, ya que el voltaje del excitador aumenta lentamente conforme el motor se acelera. Los motores que se arrancan de esta forma usualmente tienen alrededor de los polos un fuerte devanado amortiguador. Cuando se usa la resistencia de descarga su diseño debe ser determinado por el fabricante del motor , ya que su valor en Ohms, tiene un marcado efecto en el par.

El arrancador a voltaje reducido tipo autotransformador para un motor sincrónico de inducción , en general, está integrado de los siguientes elementos :

- Un contactor principal para conectar el autotransformador a la línea.
- Un contactor de arranque para conectar el estator a voltaje reducido.
- Un contactor de marcha para conectar el estator a la línea.
- Un autotransformador para suministrar el voltaje reducido
- Un contactor para conectar a la línea o fuente de alimentación de corriente continua
- Un relevador de aceleración controlado por la frecuencia
- Un relevador para protección de sobrecarga
- Un relevador para sacar de operación al motor si este no entra en sincronismo.
- Un reostato de campo para ajustar el voltaje de excitación
- Una resistencia de descarga para el campo .
- Un relevador para protección contra fallas de voltaje tanto de C.A. como de C.C.

- Un juego de fusibles para protección del circuito de control.
- Dos amperímetros para lectura de corriente alterna de carga y la corriente continua del campo, para facilitar al operario el ajuste del factor de potencia deseado.
- Una estación de botones.

Es posible montar algunos instrumentos adicionales que en ciertas ocasiones son convenientes, como por ejemplo indicador de factor de potencia, wattmetro y voltímetro.

Cuando se decide usar arranque a voltaje reducido es posible aplicar además del tipo autotransformador, cualquiera de los métodos que se mencionaron para los motores de inducción jaula de ardilla, específicamente los tipos ; resistencia primaria, con reactor y combinaciones de reactor y autotransformador .

Se hace evidente que el problema específico del control para el motor sincrónico es en el medio seleccionado para realizar la transferencia de las conexiones del circuito cuando el motor alcanza una velocidad cercana al sincronismo.

Sincronización basada en la frecuencia .

El diagrama No. 11 es un ejemplo simplificado de un arrancador para motor sincrónico diseñado para arrancar con voltaje pleno y sincronización por la operación de un relevador a una frecuencia seleccionada. Algunos dispositivos tales como instrumentos y el relevador de sobrecarga han sido omitidos en este caso.

- a) **M** es el contactor de línea de tres polos, equipado con dos contactos auxiliares **M1** y **M2**
- b) **FS** es el contactor de campo el cual tiene dos contactos normalmente abiertos y uno normalmente cerrado.

- c) **CR** es un relevador de control que cuenta con dos contactos normalmente abiertos.
- d) **FR** es un relevador de sincronización que tiene un contacto normalmente cerrado . (Este relevador tiene dos bobinas C.A. y C.C. en un núcleo)
- e) **X** es un reactor pequeño.
- f) **FD** es la resistencia de descarga del campo.

Cuando se oprime el botón de "arrancar ", el relevador CR cierra . Uno de sus contactos mantiene energizado el circuito del relevador y el otro energiza principalmente la bobina del contactor de línea M. Cuando M cierra sus contactos principales energiza el estator del motor. Se induce una corriente en el devanado del campo a la frecuencia de alimentación circula a través de la resistencia de descarga y la bobina de C.A. del relevador FR. De esta corriente una pequeña parte circula por el reactor X pero el aumento esta limitado debido a que la frecuencia es alta. El relevador FR cierra al mismo tiempo y es lo bastante rápido para abrir el circuito del contactor FS antes que el contacto auxiliar M_2 cierre . Vamos de momento a olvidarnos del contacto auxiliar M1 y la bobina de C.C. de fr . Ya que la reactancia de la bobina de C.A. de FR es mucho mas baja que la de X, el relevador permanecerá cerrado en todas las frecuencias muy bajas. Como el motor acelera , la frecuencia de la corriente inducida en el devanado del campo disminuye , y como esto sucede, un fuerte aumento de la corriente circula a través de X, hasta que una velocidad cercana a la de sincronismo la mayoría de la corriente esta circulando por X . En este punto no habrá la suficiente corriente circulando a través de la bobina de C.A. de FR para mantener la armadura del relevador cerrada y esta caera , entonces cerrara el contactor FS energizando el campo y abriendo el circuito de la resistencia de descarga manteniendo el motor en sincronismo.

La bobina de C.C. de FR la cual se energiza cuando el contacto auxiliar M1 cierra , constituye un nuevo refinamiento. Esta bobina polariza al relevador y

su armadura abrirá solamente cuando el efecto magnético de las dos bobinas de FR (C.C. y C.A.) sea aproximadamente igual y opuesto. Como el motor se acerca al sincronismo y la velocidad del rotor es casi la del campo magnético giratorio del estator, los polos del rotor pasan por los polos del estator relativamente en forma lenta. Cuando cada par de polos pasan, ahí ocurre una posición relativa la cual es mas favorable para la sincronización, como cuando un polo norte del rotor esta directamente alineado con un polo sur del estator. La polarización del relevador de sincronismo nos proporciona no solamente la función de energizar el campo en una velocidad cercana a la de sincronismo, si no también lo energiza en un punto en que la onda de C.A. ofrece la condición mas favorable para tal función.

Si el motor sale fuera de paso debido a una sobre carga o a alguna otra causa, en el devanado del campo se debe inducir nuevamente C.A., y el relevador del FR debe cerrar su armadura, abrir al contactor FS y permitir que el motor aumente su velocidad y entre nuevamente en sincronismo. Arranque a voltaje reducido. Usando el mismo método de sincronización descrito anteriormente, es posible integrar el circuito de control y fuerza adecuado para proporcionar arranque a voltaje reducido autotransformador.

En el diagrama No.12 podemos observar los elementos que se adicionan al circuito simplificado del arrancador a voltaje pleno, los cuales se mencionan a continuación.

- g) **S** es el contactor de arranque con dos contactos auxiliares **Sa** y **Sb**.
- h) **R** es el contactor de marcha con dos contactos auxiliares **R1** y **R2**
- i) **TR** es un relevador de tiempo con dos contactos auxiliares **TRa** y **TRb** de operación retardada después del energizado.
- j) En el circuito de fuerza un autotransformador.

DIAGRAMA No 11 ARRANCADOR A VOLTAJE PLENO PARA MOTOR SINCRONO CON SINCRONIZACION BASADA EN LA FRECUENCIA.

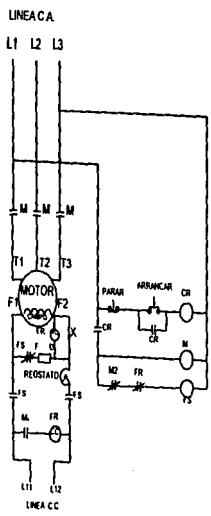
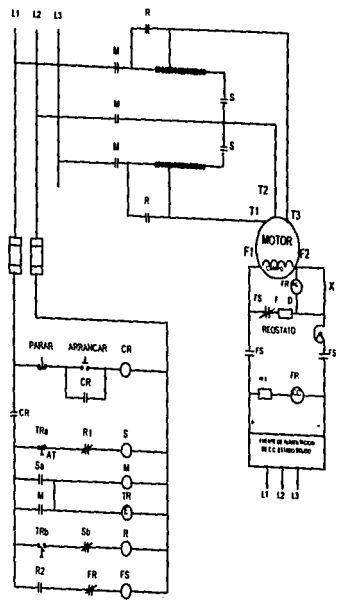


DIAGRAMA No. 12 ARRANCADOR A VOLTAJE REDUCIDO TIPO AUTOTRANSFORMADOR PARA MOTOR SINCRONO CON SINCRONIZACION BASADA EN LA FRECUENCIA.



NOTA A.T. = ABRE CON TIEMPO
C.T. = CIERRA CON TIEMPO

Al oprimir el botón de "arrancar", el relevador **CR** cierra, seguido por el contactor de arranque **S**. Este contactor conecta al autotransformador para el arranque y su autotransformador para el arranque y su contacto auxiliar **Sa** energiza la bobina del contactor de línea **M**, la cual queda sellada a través de su contacto auxiliar **M**. al cerrar este contactor se aplica voltaje reducido al estator del motor. El mismo contacto auxiliar **Sa** energiza al relevador de tiempo **TR** el cual después de transcurrido el tiempo al que fue ajustado su operación, su contacto auxiliar **TRa** abre y desenergiza la bobina del contactor de arranque **S** mientras el **TRb** cierra y prepara la operación de la bobina del contactor de marcha **R**. El contacto auxiliar **Sb** cierra al caer la bobina del contactor de arranque **S** y entonces se energiza la bobina del contactor de marcha **R** conectado en ese momento el estator del motor al voltaje pleno de línea.

El contacto auxiliar **R2** del contactor de marcha cierra y establece el circuito del contactor de campo **FS**. El elevador de frecuencia **FR** opera a **FS** de la misma manera que lo hace en el arrancador a tensión plena.

3.3- CAMBIO DE SENTIDO DE GIRO.

A un motor sincrónico de inducción se le puede cambiar el sentido de giro invirtiendo dos de las terminales del estator, en forma similar a los de tipo jaula de ardilla. Los motores sincrónicos no se usan en aplicaciones donde se requiere que el cambio de giro sea rápido, ya que dichas aplicaciones no se requieren una velocidad de marcha constante..

El método es el mismo que se usa para el motor de inducción jaula de ardilla. Se usa sin embargo, para obtener un paro rápido. El campo se desconecta de la fuente de alimentación y se invierte una fase del estator. Se usa alguna forma de relevador de apertura para dejar fuera el contactor de reversa y desconectar el estator de la línea justo cuando el motor alcance velocidad cero.

El sistema es idéntico al que se aplica a los motores de inducción jaula de ardilla .

3.4- FRENADO DINAMICO.

Los motores sincros pueden pasar rápidamente al estado de reposo por medio del frenado dinámico . Para esto se adiciona al circuito una resistencia llamada de frenado dinámico y un contactor de dos polos normalmente cerrados CFD.

La resistencia consta de tres secciones , un extremo de cada sección se conecta a cada una de las terminales del estator . Los otros extremos están en circuito abierto cuando el motor esta en marcha y se conectan entre durante la operación de frenado a través del contactor CFD . Los contactos de éste tipo de contactor se mantienen cerrados con el apoyo de un sistema de resortes . Por otro lado el contactor está entrelazado mecánicamente con el contactor de línea, de tal forma que el estator se desconecta de la fuente de alimentación antes que el circuito de frenado se cierre . El circuito del campo permanece cerrado , y el campo giratorio induce corrientes en los devanados del estator , las cuales circulan a través de la resistencia de frenado . De esta manera la energía del campo giratorio se disipa en forma de calor en la resistencia , y el rotor pasa a la situación de reposo . El tiempo que se requiere para parar el motor depende de la cantidad de su energía dinámica almacenada y de la capacidad de disipación de la resistencia de frenado , lo cual se determina al momento de diseñarla . El diseño se realiza de acuerdo a las condiciones que requiere cada aplicación, el valor usual para la corriente del estator durante el frenado es entre dos y tres veces la corriente a plena carga del motor . Un relevador de tiempo abre el circuito del contactor de campo y este queda desconectado cuando el motor ha parado.

3.5- EJEMPLO No.1

Se tiene el drenaje químico de las plantas A y B llega a la fosa de recolección de drenaje químico, para mandarse posteriormente a tratamiento de afluentes.

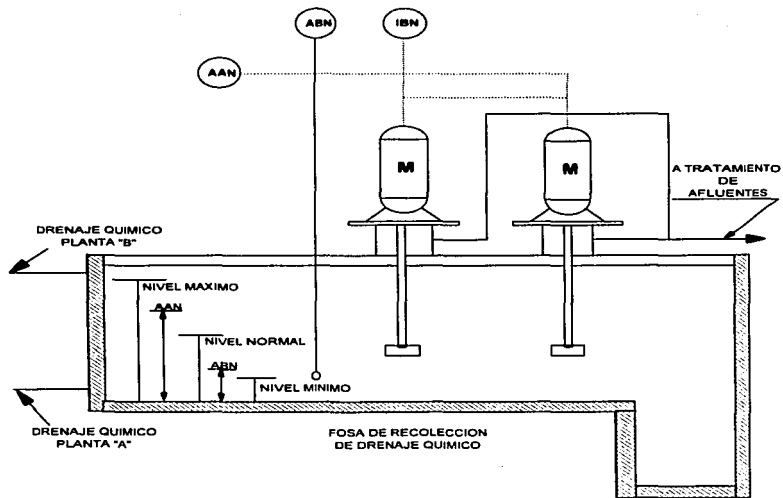
Para esto se cuenta con dos bombas , cuyo funcionamiento se debe controlar dependiendo del nivel liquido en la fosa (Obsérvese la figura No.2)

1.- Las bombas deberán funcionar excepto en el caso de que el nivel del liquido alcance el punto mínimo , en cuyo caso deberán pararse. Este paro automático se logra por medio del interruptor IBN, si no se contara con esta protección las bombas al seguir funcionando se descebarían.

2.- Se cuenta con una alarma para cuando el liquido alcance el nivel máximo y el mínimo.

La diagrama No.13. Muestra el diagrama de control eléctrico (para cada una de las bombas) que cumple con los requisitos del sistema mostrado anteriormente.

CONSIDERESE EL SIGUIENTE DIAGRAMA SIMPLIFICADO



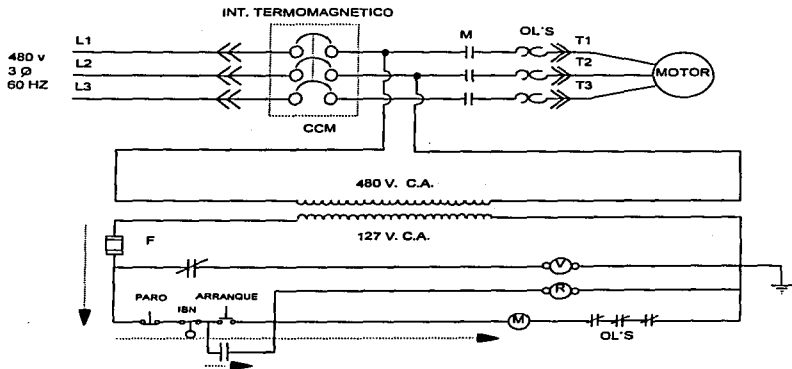
..... SEÑAL ELECTRICA

AAN ALARMA POR ALTO NIVEL

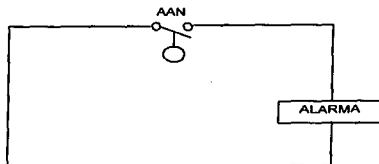
ABN ALARMA POR BAJO NIVL

IBN INTERRUPTOR POR BAJO NIVEL ABRE SUS CONTACTOS CUANDO EL LIQUIDO ALCANZA EL NIVEL MARCADO COMO BAJO.

FIGURA No. 2



..... ➔ PASO DE LA CORRIENTE HACIA LA BOBINA M



ALARMA POR ALTO NIVEL

DIAGRAMA No.13

- EJEMPLO No. 2

La figura numero 3 y numero 4 muestran el diagrama de conexión y el circuito de control respectivamente para arrancadores de tipo estándar para control de secuencia . Este tipo de control es necesario cuando una maquina debe tener funcionando un equipo auxiliar , tal como el de la lubricación a alta presión y bombas hidráulicas, antes que la propia maquina pueda accionarse con seguridad. Lo anterior se obtiene interconectando las estaciones de botones como se aprecia en la figura 3 . El circuito de control del segundo arrancador se conecta a través de los contactos de retención del primero, lo que impide que arranque hasta después de energizarse el primero. Si se emplean arrancadores estándar, el alambre de conexión "c" se debe de eliminar de uno de los arrancadores .

El botón de parada M1 o un dispositivo de sobrecarga en M1, detendrá ambos motores. El botón de parada M2 o un dispositivo de sobrecarga en M2 parara solamente a M2.

4.0- INVERSORES DE FRECUENCIA

- INTRODUCCIÓN :

Anteriormente se menciona el tipo de sistema de control convencional, utilizado en la industria petrolera actualmente han venido evolucionando ampliamente estos sistemas de control. Porque se pretende satisfacer las necesidades que se tienen, por ejemplo, algunas de ellas es la disminución de la corriente de arranque y poder lograr un control mas optimo sobre los motores de corriente alterna.

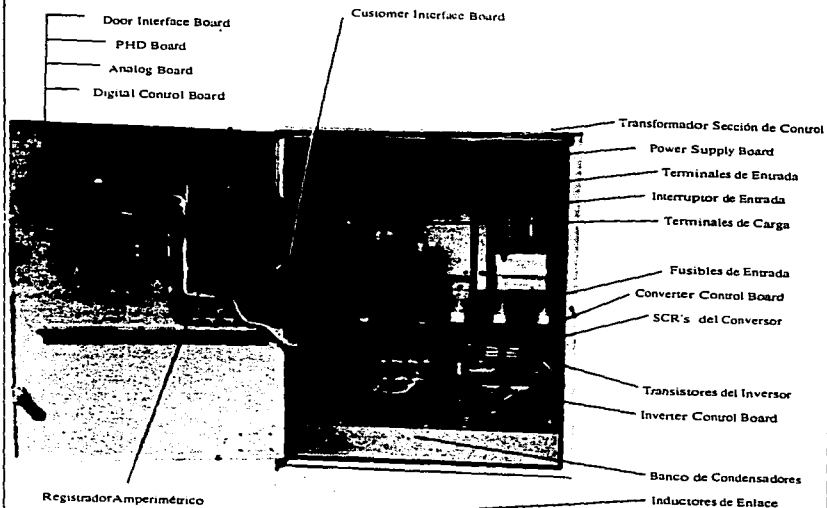
Por lo tanto en la industria petrolera se requiere tener un control mas eficiente de acuerdo a los sistemas y normas de protección que rigen en PEMEX se debe contar con los mas estrictos sistemas de seguridad y control en las diferentes áreas de los procesos.

La finalidad de esta sección es que se pueda visualizar , el sistema de control actual que se están implementando. Y así sirva a su vez a todos aquellos ingenieros y estudiantes que en determinado momento requieran información técnica, y sobre todo la influencia que estos sistemas de control tienen sobre los motores de corriente alterna.

Cabe mencionar que dentro de los sistemas que se hará referencia serán únicamente los **Inversores de Frecuencia**.

Como puntos mas importantes se analizaran las principales características técnicas de este dispositivo de control. Sus ventajas y desventajas . Debido a esto se opto por implementar este tipo de controlador en la industria petrolera, para poder manipular los motores de acuerdo a las necesidades del proceso

DISPOSITIVOS QUE INTEGRAN UN INVERSOR DE FRECUENCIA



Componentes Principales, NEMA 3, Serie 4000

A continuación se dará una definición de lo que es un inversor de frecuencia.

- El inversor de frecuencia.

En palabras sencillas , un inversor de frecuencia es un dispositivo electrónico que cambia la frecuencia de la red de los 60 Hz habituales de la Compañía Suministradora a cualquier otro valor deseado por el operador usualmente entre 1 y 400 Hz . Su uso en motores de inducción trifasicos que son comúnmente los mas utilizados en la industria: cuando al motor se le varia la frecuencia de alimentación éste variara la velocidad , "menos hertz menos velocidad" y a la inversa.

El inversor se alimenta con corriente trifasica común en 220 o 440 Volts según sea el caso, esto mediante un puente rectificador , se cambia a corriente directa, posteriormente mediante un circuito controlador se mandan pulsos de voltaje regulables en tiempo y frecuencia a las compuertas de los transistores de potencia a la salida del inversor haciendo que los mismos conduzcan o no en tiempos predeterminados por el microprocesador .

La técnica aplicada es la conocida como PWM (Pulse Width Modulation). Mediante esto se logra integrar a la salida del inversos una onda de voltaje lo mas parecida posible a una seniode pero de valores RMS y frecuencia regulables a voluntad del usuario. Normalmente la operación básica de arranque-paro y subir-bajar la velocidad del motor se hace de forma tan sencilla como pulsar una botonera y hacer girar un potenciómetro similar al de un radio o bien pulsando la velocidad requerida en la botonera del inversor .

Existen los casos en donde las variantes de velocidad y operación general se hacen en forma totalmente automática mediante mandos externos al inversor tales como PLC's, sistemas de control distribuido, microswitches, sensores de diferentes tipos, etc., cuando se presentan este tipo de aplicaciones, nada tendrá que ver el operador directo de la maquinaria con el inversor.

Para poder llevar a cabo su instalación a la entrada deberá instalarse un termomagnético o fusible para la protección contra cortocircuito y como medio de desconexión de la línea, después se conecta el inversor con las tres fases de alimentación, después se instalan las tres líneas de salida las cuales se conectan directamente al motor sin ningún elemento intermedio, no contactores ni bimetálicos ni fusibles; todas las funciones las hará el inversor.

Un inversor de frecuencia es posible instalarlo en motores y motoredutores ya existentes y mecánicamente acoplados sin tener que hacer ningún tipo de adaptación o trabajo extra. Las labores de protección de sobrecarga, pérdida de fase, bajo o alto voltaje continuos y otras quedaran a cargo del inversor.

Para adaptar el inversor a las necesidades del proceso se tiene que hacer un programa inicial puede ser tan simple o tan complicada como la aplicación específica lo requiera; los inversores de frecuencia, dependiendo de la marca, vienen listos para operar, esto es, para aplicaciones sencillas de solo variación de velocidad sin ningún tipo de complicación, bastara con conectarlos, fijar la velocidad requerida y presionar el botón de arranque. Esto sucederá en el 60 ó 70 % de los casos. Habrá ocasiones en donde sea necesario ajustar tiempo de aceleración / desaceleración, corriente nominal del motor, curvas "S" de arranque, magnitud de la operación de la

sobrecarga y tiempos de disparo etc. Esto sucederá en el 15 ó 20 % de los casos . Existen otras aplicaciones en donde se pueden presentar condiciones mas especiales de operación en donde sea necesario considerar frenadas intensas, frecuencias altas de arranque y paro, retroalimentación de sensores y/o encoders salidas de PLC's , etc en estos casos la programación será mas en detalle y con mayor grado de dificultad. Un porcentaje muy bajo de las aplicaciones requerirá una programación especializada principalmente en donde se presentan múltiples entradas y salidas de señales como es el caso de sistemas integrados de control y supervisión .

En todos los casos se recomienda obtener la opinión de la empresa suministradora de los inversores para asegurarse de una correcta selección y programación.

En la actualidad nuestra forma de vida tiene necesidad de diferentes satisfactores. Estos, pueden ir desde la demanda de ciertos productos (Neumáticos, Petroquímicos, Alimentos, etc.), Servicios de transporte (Transporte , agua, petróleo, gas, energía, etc.) y hasta necesidades de confort(aire acondicionado, calefacción, ventilación , etc.).

Para generar estos satisfactores es necesario controlar variables muy diversas como por ejemplo; presiones , flujos, gases, etc. En la mayoría de las veces es posible lograr el control de estas variables por medio de la velocidad variable . Actualidades se cuenta con métodos muy diversos para variar la velocidad de un proceso.

Estos métodos pueden ir desde los poco eficientes hasta los altamente eficientes. Dentro de este ultimo rubro podemos ubicar a los variadores de frecuencia .

Lo que se presenta a continuación es un breve análisis de los diferentes tipos de inversores de frecuencia disponibles actualmente y de otras alternativas de variación de velocidad mencionando sus principales características .

Actualmente existen tres clases principales de variadores de frecuencia a saber :

- **Inversores por fuente de corriente (CSI).**
- **Inversores por variación de voltaje (VVI).**
- **Inversores por modulación de ancho de pulsos (PWM).**

4.1- INVERSORES (CSI).

El inversor CSI controla la corriente de salida hacia el motor . La velocidad actual del motor es sensada por medio de un Tacometro-generador (pulsos o analógico).

La señal de retroalimentación es comparada con la referencia de velocidad y la señal de error de velocidad entonces es utilizada para generar una salida mayor o menor de corriente hacia el motor . Los dispositivos para la oscilación de frecuencia , usualmente son tiristores o transistores Darlington .

- Características:

- **Eficiencia elevada:** Puede alcanzar eficiencias hasta del 90 % a máxima velocidad y máxima carga.
- **By pass :** En caso de algún problema con el inversor , el motor puede ser operado directamente de la línea para operación continua.

- **Cargas de alta inercia** : El inversor puede adaptar su operación para prevenir sobrecargas causadas durante la aceleración y desaceleración de cargas de alta inercia.

- **Corrientes de falla** : El control de corriente limita corrientes de corto circuito en caso de un problema mayor o condición de sobrecarga del motor.

- **Desventajas :**

- **Retroalimentación por tacogenerador** : Este inversor puede requerir de una retroalimentación tacométrica para regulación de velocidad . Este tacometro debe ser añadido al motor ya que no es una opción estándar del motor de jaula de ardilla.

- **Perdida de retroalimentación**: Si la señal de retroalimentación del tacogenerador se llega a perder durante la operación , el motor tendera a desbocarse en velocidad.

- **Tipo de motor**: El inversor tiene que ajustarse a las características eléctricas del motor que va accionar. Este tipo de inversor es sensible a dichas características y una operación impropia o no adecuada puede darse en caso de que el motor , para el cual fue dimensionado, sea reemplazado por uno diferente tipo o tamaño.

- **Mantenimiento**: El diseño del motor requiere que el motor este conectado para que pueda ser operado . De aquí que el equipo no pueda ser puesto en operación o probado sin el motor.

- **Tamaño** : El tamaño de los componentes de este equipo usualmente redunda en que este tipo de inversor sea el de mayor volumen.

- **Factor de potencia** : Este tipo de inversor utiliza un rectificador de entrada por tiristores , de aquí que el factor de potencia a bajas velocidades sea bajo.

4.2- INVERSORES (VVI).

Los inversores VVI controlan el voltaje y la frecuencia del motor . La diferencia entre este tipo de inversor y el inversor PWM es el esquema utilizado para controlar el voltaje. Ya que mientras el inversor VVI controla el voltaje en el rectificador de entrada y la frecuencia en el inversor de salida , el inversor PWM controla tanto la frecuencia como el voltaje en el inversor de salida .

- Características :

Utiliza motores estándar: Cualquier motor del tipo [o jaula de ardilla puede ser utilizado con este inversor .

- **Eficiencia alta** : Este inversor puede lograr eficiencias del 90 % a velocidad nominal y plena carga .

- **By pass** : En caso de algún problema con el inversor , el motor puede ser conectado directamente a la línea de entrada para operación continua.

- **Cargas de alta inercia**: El inversor puede adaptar su operación para prevenir sobrecargas causadas durante la aceleración o desaceleración de cargas de alta inercia.

- **Mantenimiento**: El equipo puede ser operado y probado sin necesidad de tener el motor conectado .

- **Operación multimotor** : Mas de un motor puede ser operado desde el mismo inversor . El inversor podrá comandar tantos motores como la suma de las corrientes nominales de estos, no exceda la corriente nominal del accionamiento.

- Desventajas :

- **Costo inicial :** El costo inicial de este accionamiento es elevado.
- **Servicio:** Al tener este inversor dos lugares de control para la frecuencia y el voltaje y al estar compuesto por una gran cantidad de componentes sofisticados , requiere de técnicos altamente calificados para su servicio.

4.3.- INVERSORES (PWM).

Los Inversores PWM efectúan el control de la frecuencia y del voltaje en la sección de salida (inversor). El voltaje de salida siempre es de amplitud constante debido a la conmutación de un bus de corriente directa , o modulación del ancho de pulso . Por medio de esta modulación , el voltaje promedio de salida es controlado .

- Características:

- **Utiliza motores estándar :**Cualquier motor del tipo jaula puede ser utilizado con este inversor.
- **Eficiencia alta :** Este inversor puede alcanzar eficiencias por encima del 90 % a velocidad nominal y plena.
- **Factor de potencia:** El puente rectificador de entrada por diodos que es utilizado permite mantener un factor de potencia próximo a la unidad en todo el rango de velocidad.
- **By pass:** En caso de algún problema del inversor, el motor puede ser operado directamente de la línea para operación continua.

- **Cargas de alta inercia** : El inversor puede adaptar su operación para prevenir sobrecargas causadas durante la aceleración y desaceleración de cargas de alta inercia.
- **Mantenimiento**: El accionamiento puede ser operado y probado sin necesidad de tener el motor conectado.
- **Operación multimotor** : Mas de un motor puede ser operado del mismo inversor . El inversor podrá comandar tantos motores como la suma de las corrientes nominales de estos no exceda la corriente nominal del accionamiento.

- **Desventajas** :

- **Costó inicial** : El costo inicial del inversor es alto.

- **Servicio**: El inversor tiene una gran porción de componentes sofisticados que en caso de falla del mismo , se requerirá de un técnico altamente calificado para su operación. Sin embargo el uso de la electrónica digital permite contar con autodiagnostico para la localización de la falla.

4.4- COMPORTAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN CON UN INVERSOR DE FRECUENCIA.

El convertidor o inversor de frecuencia es uno de los dispositivos que convierte corriente alterna de voltaje y frecuencia fijos , en corriente alterna de frecuencia y voltaje variable, Ver gráfica No.1.

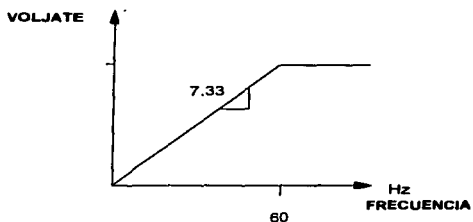


FIGURA.No.1 La relación (V/f) permanece constante.

Un motor de inducción , consume durante el arranque de 5 a 7 veces su corriente nominal . Para reducir la caída de voltaje que esto ocasiona , las líneas de alimentación y los transformadores deben sobre dimensionarse.

Con un convertidor de frecuencia , se desarrolla un arranque lento y suave, logrando con ello que el motor consuma únicamente la energía efectiva que requiere . De esta forma , las líneas de alimentación y los transformadores pueden ser dimensionados solo para que cubran las cargas de operación requeridas. Ver figura No.2

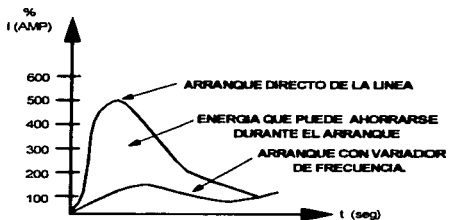


FIGURA No.2 Relación de consumo de energía en diferentes pruebas de arranque de un motor de inducción.

Por otro lado, el comportamiento del par y la potencia del motor de inducción, se muestra en las siguientes gráficas 3 y 4.

POTENCIA

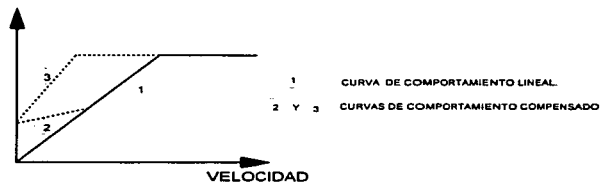


FIGURA No.3 Representación de la potencia en función de la velocidad del motor.

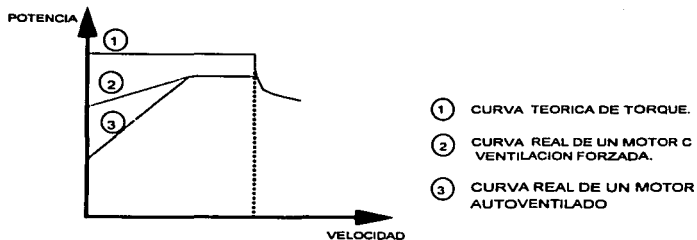


FIGURA No.4 Representación del par en función de la velocidad del motor.

- **Importancia de los controles de velocidad.** La mejor forma de mostrar como se controla la velocidad de un motor de inducción tipo jaula de ardilla a través de un convertidor, se muestra en las siguientes figuras. La operación del convertidor se representa mediante las curvas D (Variando la velocidad del motor) y la función del sistema esta representada por las curvas de carga "S". Ver figura 5.

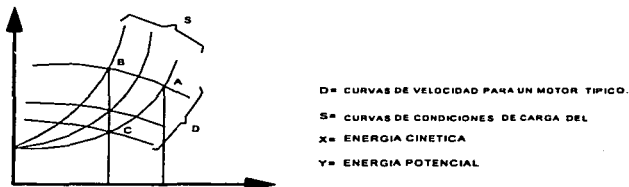
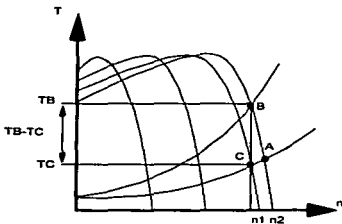


FIGURA. No.5 Representación del par en función de la velocidad del motor.

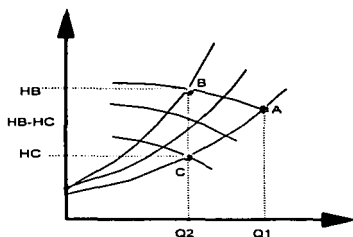
En el eje X aparece la energía cinética que puede ser velocidad , flujo , etc. y generalmente representa el resultado final esperado . El eje Y muestra la cantidad de energía necesaria para realizar este trabajo. El punto de operación (A,B,C), esta determinado por la intersección de la curva del convertidor para una condición de carga . La velocidad o flujo final sobre el eje X puede ser alcanzado variando ya sea la carga o la operación del convertidor.

El consumo de energía total es siempre menor cuando se varía la curva del convertidor, en lugar de tratar de controlar la carga del sistema . La carga puede ser alterada a través de frenado o de estrangulamiento, mientras que la curva del convertidor se obtiene utilizando el control de velocidad. Ver figura 6 y 7.



El punto de operación A es equivalente a la velocidad n_1 .
 Disminuyendo la velocidad a n_2 mediante frenado , nos desplazamos al punto B y a través del control de velocidad , el desplazamiento es hacia el punto C, para una misma velocidad n_2 . La energía ahorrada por utilizar el control de velocidad es TB-TC.

FIGURANo.6 Curvas de un motor de inducción tipo jaula de ardilla a diferentes velocidades, controlado por un convertidor de frecuencia.



Reduciendo el volumen de Q_1 a Q_2 utilizando el control de velocidad, obtenemos un ahorro de energía de $HB - HC$, en comparación con utilizar un control de carga (válvula).

FIGURA No.7 Curvas de una bomba centrífuga para diferentes velocidades.

- **Ventajas de los controles de velocidad variable.** La mejor forma de controlar un proceso es utilizando un control de velocidad. Los beneficios son enormes y pueden ser expresados directamente en términos de efectivo.

Las principales ventajas de los controles de velocidad, son las siguientes:

- Arranque lento y suave.
- Sin corrientes de Inrush.
- Tiempos de aceleración y desaceleración ajustables
- Amplio rango de velocidad.
- Precisión en el control
- Sistema de control con microprocesador programable.
- Factor de potencia casi unitario
- Corriente del motor senoidal
- Diseño compacto del convertidor con ventilación forzada.

- Emplea motores de inducción simples y robustos.
- Pueden ser controlados remotamente.
- Pueden ser enlazados a una computadora.

Estos beneficios nos permiten economizar, logrando con ello:

- Ingeniería simple
- Incrementar la automatización de los procesos
- Reducir los costos por hora de producción.

Anteriormente existía el concepto erróneo de que un alto volumen de producción junto con una gran calidad, era generalmente difícil de alcanzar. El incremento del volumen se suponía que tendía a reducir la calidad y viceversa. Este era un balance difícil de encontrar, especialmente en la etapa de diseño de cualquier proceso.

4.5- APLICACIONES INDUSTRIALES.

Para poder definir que procesos industriales pueden ser optimados desde el punto de vista de consumo de energía, debemos primero conocer la naturaleza de los mismos, esto es, determinar el tipo y la clase de la carga en el proceso que va a exigir el motor. Los tipos de carga se pueden clasificar como: cargas de par constante, cargas de par variable y cargas de potencia constante. Las principales clases de carga pueden ser: cargas constantes, cargas súbitas de impacto y cargas cíclicas. Ver figura No. 8(a,b, c).

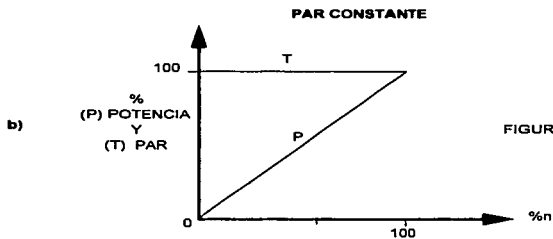
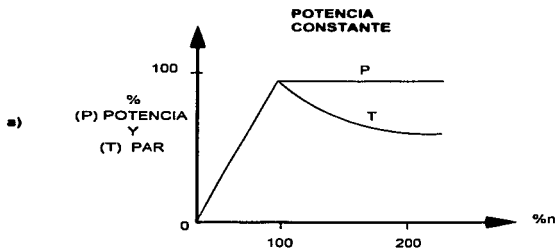
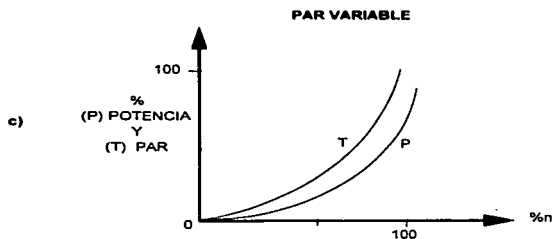


FIGURA No. 8 (a, b, c)



Cargas de par constante:

APLICACION:	DESCRIPCION / CARGA	CLASE
- Transportadores	Descarga constante de materiales Descarga constante con sobrecargas subitas	Constante Impacto
- Bombas	De piston De cavidad progresiva	Ciclica Constante
- Maq. herramientas.	Troqueladoras	Ci clicca
- Maq. textil	Varios tipos	Constante.
- Maq. empaque	Varios tipos	Constante.
- Extrusores	Varios tipos	Constante.
- Mezcladores	Liquidos viscosos.	Constante.

Cargas de par variable

APLICACION	DESCRIPCION / CARGA	CLASE
Bombas centrifugas	Aguas potables/negras Liquidos no muy viscosos	Constante. Constante.
Ventiladores centrifugos.	Aire acondicionado Calefacion Ventilacion Filtros, etc.	Constante. Constante. Constante. Constante.

Cargas de potencia constante

APLICACION	DESCRIPCION / CARGA	CLASE
- Maq. herramientas	Tornos Cortadoras Cepillos	Constante Constante Cíclica
- Compresores	Aranque sin carga	Constante.
- Bombas centrifugas	Alta inercia	Constante.
- Bobinadores.	Varios tipos	Constante.

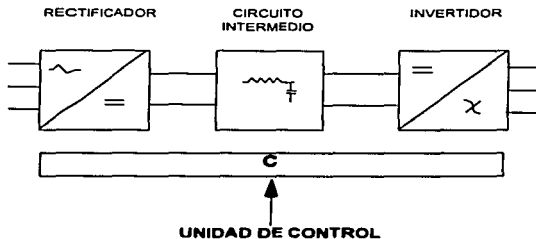
Observaciones. En las cargas de potencia constante difícilmente podemos obtener ahorros de energía, debido a que la propia aplicación exige el máximo de energía disponible en el motor.

Las cargas de par variable son por excelencia, de las aplicaciones en donde el empleo de accionamientos de velocidad variable redundan en ahorros considerables de energía.

En las cargas de par constante se pueden presentar el caso en donde no es posible economizar energía. Esto sucede cuando el volumen del material que se va a transportar y procesar no varía y la máquina o equipo se encuentra operando a su capacidad nominal. Cuando una de estas dos condiciones no se cumple (generalmente), si es factible economizar energía mediante el uso de accionamientos de velocidad variable.

4.6 - CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS INVERSORES DE FRECUENCIA.

El inversor de frecuencia o inversor de la fuente de voltaje, consta de cuatro partes principales: el rectificador, el circuito intermedio de C.D., el inversor y la unidad de control. En otras palabras, el principio de operación del Convertidor de frecuencia es rectificar, suavizar, invertir y controlar.



Arreglo del sistema del inversor de la fuente de voltaje. Como se mencionó anteriormente el Convertidor de la frecuencia comprende lo siguiente:

- Un puente rectificador de diodos de 6 pulsos (12 pulsos opcional), conectado a la alimentación trifásica principal de corriente alterna. Este puente transforma la energía de corriente alterna (C.A.) en corriente directa (C.D.). Dejando esta última disponible en el circuito intermedio de C.D.
- Un circuito intermedio de C.D. El voltaje de CD es fijo y está determinado por el voltaje de C.A. que alimenta al puente rectificador. Este voltaje es formado por un

filtro formado por un banco de capacitores (con resistencias de descarga) y un reactor de choque.

c) Un variador que transforma la energía de CD en energía de AC con frecuencia variable. Para lograr esta operación, es necesario contar con dispositivos que tengan la habilidad de interrumpir/conectar la corriente eléctrica. Estos dispositivos son:

- Transistores para corrientes menores a 50 A.
- tiristores GTO (Gate Turn Off) , para corrientes mayores a 50 amper.

d) Un sistema de supervisión, regulación y control del accionamiento. Incluyendo modos de operación e indicación.

Operación del sistema del variador de la fuente de voltaje . Este tipo de variador esta basado en el principio de modulación del ancho del pulso (PWM= Pulse Width Modulation). Haciendo uso de la propiedad de sus dispositivos para interrumpir/conectar la CD bajo algún comando, el transmisor transmite pulsos de energía eléctrica con una duración cíclica variable , la cual mediante el reactor de suavizamiento del variador y la inductancia del motor alimentado, integra voltajes y corrientes senoidales . Cambiando los cíclicos y el ancho de los pulsos , la frecuencia es modificada .

La frecuencia y la velocidad que son obtenidas para una determinada carga están relacionadas por la característica de la carga del motor y son controladas excelentemente , solo por la medición de la frecuencia(lo que hace generalmente , innecesario el empleo de un tacogenerador).

Tan larga como la PWM sea realizada , de tal forma que la frecuencia y el voltaje se incrementen proporcionalmente , operara el motor con Par constante . Esto

puede ser hecho hasta que son alcanzadas las características nominales del motor (frecuencia y voltaje) . De aquí en adelante , la velocidad puede ser incrementada con el motor operando con una salida constante e incrementando únicamente la frecuencia.

Las ventajas de la operación con accionamientos de velocidad variable son obvias y están ampliamente comprobadas . Sin embargo, aun queda por explotar un amplio potencial en cuanto ahorro de energía se refiere . La comparación correcta de los costos totales es de vital importancia . Cuando se considera este tipo de inversión, el estudio a fondo debe considerar además del costo de los equipos, los costos subsiguientes de la operación y del mantenimiento.

El evitar que la energía se despilfarré no solo significa gastar menos dinero a causa del menor consumo de energía, de igual forma significa menor desgaste de los componentes mecánicos y por lo tanto, menores gastos de mantenimiento.

Los accionamientos de velocidad variable trabajan a la velocidad requerida por el proceso, es la energía suministrada por la red alimenta al proceso con un 100 % de eficiencia. Finalmente, con relación al empleo de accionamientos de velocidad variable podemos concluir lo siguiente :

- Se minimizan costos, reduciendo consumos de energía.
- Es posible alcanzar tiempos de amortización muy cortos
- No es necesario reemplazar motores
- Es factible abatir costos iniciales de instalación
- Se incrementa la vida útil de los equipos
- Permiten una mayor flexibilidad en los procesos .
- Se dispone de una rápida disponibilidad .
- Se utilizan también en aplicaciones muy complejas.
- Se ahorra energía eléctrica en plantas nuevas y existentes.

5.0 PROYECTO PROPUESTO

A- GENERALIDADES

Se implementara una plataforma de producción periférica con nombre AKAL "N" en la Sonda de Campeche. Ver la figura No. 1 y No. 2 . Ubicación de los complejos Y por lo tanto se propone que para este proyecto se utilice un Inversor de Frecuencia para el control de bombeo neumático para la transportación de crudo.

Las principales funciones de esta plataforma serán:

- 1.- Separar la mezcla crudo-gas proveniente de los pozos productores de AKAL "M", AKAL"L", AKAL"B", y enviar las corrientes separadas a la plataforma. AKA"J".
- 2.- Compensar con el sistema de bombeo y compresión el abatimiento de presión en los pozos, para lograr integrar la corriente de crudo y gas a AKAL "J", suministrándole únicamente la energía necesaria para el transporte

B. DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO

El proceso consistirá en la separación de la mezcla gas-aceite y rectificación del gas, para su envío al complejo central AKAL "J".

Debido al abatimiento natural de la presión de los pozos, este proyecto se desarrollara en dos fases:

La Fase I contemplará la sección de separación a 7.7 kg/cm² man (110 PSIG).

La Fase II se dividirá en las secciones :

- Separación a 3 kg-cm² man (43 PSIG) y bombeo de crudo 7.7 kg-cm² man (110 PSIG).
- Compresión de gas de 2.8 kg-cm² man (40 PSIG) a 7 kg/cm² man (PSIG).



FIGURA No.1 UBICACION DE LOS COMPLEJOS AKAL.

CRECIMIENTO DEL ACTIVO AKAL

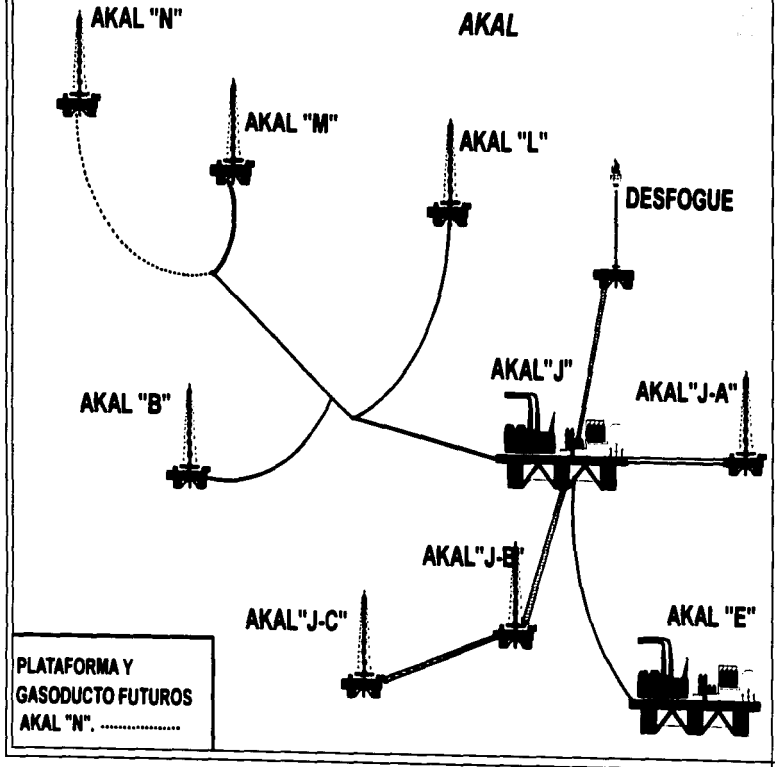


FIGURA No.2 DISTRIBUCION DE LAS PLATAFORMAS

En este proyecto se contemplará únicamente la descripción de la **Fase II. De la Sección de Bombeo Neumático.**

C. SECCION DE SEPARACION.

Tomando en cuenta el abatimiento parcial de presión en los pozos productores de AKAL-L,B,M, la presión a la cual se separará la mezcla de gas—aceite de dichos pozos en AKAL-N, DE 3 kg/cm² man (43 PSIG). El crudo separado (229 MBPD), se bombea a control de nivel al complejo AKAL "J", a una presión de 7.7 kg/cm² (110 PSIG). El gas separado y rectificado, se envía a la sección de compresión y de ahí al complejo AKAL "J". Si llegaran a presentarse problemas de contra-presión en esta sección, la mezcla recibida se envía en gran parte a la plataforma AKAL-E, aliviando así el problema.

El separador FA-3101 y el rectificador FA-3102 se localizarán en el 2º- nivel y el equipo de bombeo de crudo, en el 1er. Nivel de la plataforma.

D. SERVICIOS AUXILIARES

Para su operación, la plataforma contara con los siguientes servicios:

- - Acondicionamiento de gas combustible proveniente de la red de bombeo neumático
- - Distribución de gas combustible.
- - Almacenamiento y distribución de Diesel*
- - Acondicionamiento de agua potable*
- - Distribución de agua potable
- - Acondicionamiento de agua de servicios*
- - Distribución de agua de servicio
- - Sistema de drenajes abiertos y cerrados
- - Drenaje sanitario y desechos sólidos

- - Generación y distribución de aire de planta e instrumentos
 - - Agua de contra incendio*
 - - Generación de energía eléctrica
 - - Sistema de desfogue
 - - Inyección de Agentes químicos
- * Equipo será instalado en la plataforma de perforación AKAL-"N"

E. DESCRIPCION DEL FLUJO

E.1- Sección de separación y bombeo

En esta Fase del proyecto, la mezcla de crudo - gas, proveniente de los pozos periféricos de AKAL "M", "B", "L" y a 4 kg/cm² man. (57 PSIG), se recibirá en el separador FA-3101 a control de nivel con el LIC-3101, que actúa sobre las válvulas LV-3101 A-B, localizadas en las líneas de alimentación del equipo.

Cabe hacer notar que el control de nivel del separador FA-3101 se logrará tanto con las válvulas de nivel ya mencionadas, como con la variación de velocidad de los motores de las bombas GA-3101AD/R, para esto el LIC-3101 se localizará en el SDMC estará ajustado de tal manera que cuando se detecte alto o bajo nivel en el separador FA-3101, en el control mencionado mandará su señal digitalizada a la interface de comunicación del inversor de frecuencia y el motor, para incrementar o reducir respectivamente la velocidad de la bomba, misma que se traduce en bombear más o menos cantidad de aceite y de esta manera ajustar el nivel del tanque FA-3101 en los niveles requeridos.

Asimismo, al separador FA-3101 llegarán tanto el crudo recirculado por el sistema de bombeo a través de la línea de 12"P3132 A54A, como los condensados de desfogue del FA-3702 a través de la línea de 6"AF3701 A54A. En el separador

FA-3101 se obtendrán 229 MBPD de crudo a una presión de 3 kg/cm² man. (43 PSIG) y 75°C (167°F).

El FA-3101 tendrá una alarma de bajo nivel, LAL-3101, ajustada a 610 mm y una alarma de alto nivel, LAH-3101, ajustada a 1615 mm, además se contará en la línea de alimentación de este equipo (24" P3101-1A54A) con las alarmas por baja y alta presión PAL-3102 y PAH-3102, ajustadas a 0.5 kg/cm² y 10.5 kg/cm², respectivamente. La señal de estas alarmas se enviarán al sistema digital de monitoreo y control SDMC. También se cuenta con las dos válvulas de seguridad PSV-3101 A-B, que al llegar a su punto de ajuste de 10.8 kg-cm² man. (154 PSIG) enviarán el gas al sistema de desfogue.

El crudo que se separa en el FA-3101 junto con los condensados del rectificador de gas FA-3102 se enviarán a través de la línea de 24" P-3116 A54A al cabezal de distribución de crudo a las bombas GA-3101 AD/R, previo paso por el filtro dúplex tipo canasta FG-3101.

Para mantenimiento, el filtro FG-3101 tendrá una alarma de alta presión diferencial, PDAH-3121, ajustada a 3.0 psi, la cual indicará cuando el filtro este tapado. Normalmente operan cuatro bombas y una permanece de relevo. Las bombas serán accionadas por motor eléctrico, cuentan con un inversor de frecuencia arrancarán y pararán en forma manual y en automática. En forma automática, el equipo de bombeo parará, al detectarse cualquiera de las siguientes condiciones:

- Un muy bajo nivel de líquidos en el FA-3101, mediante el interruptor LSL-3101 ajustado a 152mm.
- Después de 15 minutos de detectarse alta presión con el PSH-3007 ajustado a 11 kg/cm², localizado en la línea de 20"PD-100-801 que transporta el crudo al complejo de Akal J.
- Al accionarse el sistema de paro de emergencia S/D.

Además se contará con el paro ordenado del sistema de bombeo, el cual será efectuado de la siguiente manera:

El sistema (software) de paro ordenado, contará con 4 interruptores por bajo flujo, el FSL-4001, FSL-4002, FSL-4003 y FSL4004, los cuales estarán calibrados a 2800

GPM, 2100 GPM, 1400 GPM y 700 GPM, respectivamente, con los selectores manuales HS-4005, HS-4008 y HS-4011, para la selección de las bombas que estarán en secuencia de paro ordenado y con los temporizadores T1 , T2, T3 y T4, los cuales estarán calibrados cada uno a 300 seg.

La filosofía establece que cuando se tenga bajo flujo en la descarga de bombas, el transmisor de flujo FT-3103, localizando la línea 20" P3103 A54A, enviara su señal al sistema de paro ordenado y, al llegar al punto de ajuste del interruptor FSL-4001, este acciona al temporizador T1. Si flujo no logra estabilizarse en los 300 segundos restantes , la bomba GA-3101A entrara en secuencia de paro. Si el flujo siguiera disminuyendo hasta el punto de ajuste del FSL-4002, este accionaria al temporizador T2; y si el flujo no se lograra estabilizar en los 300 seg. Restantes, se enviara la señal a los selectores manuales HS-4005 y HS-4008 haciendo que entre en secuencia de paro la bomba GA-3101B o GA-3101C, dependiendo de cual de los selectores manuales antes mencionados se encontrara en automático. Si el flujo siguiera disminuyendo hasta el punto de ajuste del FSL-4003, este accionaria al temporizador T3; y si el flujo no se logra estabilizar en los 300seg. Restantes, se enviara la señal a los selectores manuales HS-4008 y HS-4011 haciendo que entre en secuencia de paro la bomba GA-3101C o GA-3101d, dependiendo de cual de los selectores manuales estuvieran en automático. Si el flujo siguiera disminuyendo hasta el punto de ajuste del FSL-4004, este accionara al temporizador T4 ; y si el flujo no logra estabilizarse en los 300 seg. Restantes , se enviara la señal al selector manual HS-4011 y al Inversor de Frecuencia de la bomba GA-3101R, haciendo que entre en secuencia de paro la bomba Ga-3101D ó R, dependiendo si esta fuera de operación la bomba GA-3101R, y si esta en automático el selector manual HS-4011.

Cabe mencionar que cuando una bomba entre en secuencia de paro, esta reduce su velocidad al mínimo primero. A su vez se debe considerar que cuando uno de los interruptores, por bajo flujo, es activado pero el flujo logra recuperarse antes de los 300 seg., no se activa al paro de la bomba respectivamente . Las bombas GA-3101 AD/R tienen una capacidad de diseño de 6522 lpm (57257 BPD) y pueden proporcionar una diferencia de presión de 6.0 Kg/cm² (85.3 PSIG). Los 229 MBPD de

crudo que será bombeado a 7.7 Kg/cm^2 (110 PSIG), junto con los 2654 BPD de condensados del separador FA-3104, se enviarán al complejo Akal-J a través de la línea de 20" P3103 A54A.

El control de flujo se logrará manipulando la recirculación del crudo separado en el FA-3101 y se llevara acabo de la siguiente manera: El controlador indicador de flujo FIC-3103 manipulara la válvula de flujo FV-3101 que se localizara en la línea de recirculacion de crudo al tanque FA-3101 (línea 12" P3132 A54A), estableciendo la filosofía que cuando exista un incremento de flujo dicha válvula FV-3101 abrirá para aumentar la recirculacion de crudo; y cuando exista un bajo flujo la válvula Fv-3101 cerrara para reducir la recirculacion de crudo y así establecer el equilibrio.

Los 114.3 MMPCSD de gas a separar en el FA-3101 se enviarán al rectificador FA-3102, previa inyección de 0.0096 a 0.0104 lpm de inhibidor de asfaltenos (dependiendo del comportamiento operacional de las corrientes de gas) de salida del rectificador se le unirán 4.3 MMPCSD de gas provendrán del calentador de gas combustible DE-3401 a una presión de 3 Kg/cm^2 man. (43 PSIG) y una temperatura de 87° C (188.5° F).

Los posibles condensados a separar en el rectificador FA-3102 se enviarán en forma intermitente a través de la válvula LV-3103 a la corriente de crudo separado en el FA-3101.

La válvula LV-3103 cerrara en caso de que se llegue al punto de ajuste de 228 mm del interruptor LSL-3103, y abrirá en caso de llegar al punto de ajuste de 534 mm del interruptor LSH-3103, localizados en el rectificador FA-3102.

En el mismo FA-3102 existirá un interruptor por muy alto nivel LSHH-3103, que en caso de que llegara a su punto de ajuste 610 mm, enviara una señal eléctrica para cierre de la válvula de corte SDV-3119 con el fin de evitar enviar gas con líquidos a los compresores.

La válvula SDV-3119 cerrara también en caso de que exista una situación de emergencia y reciba la señal del S/D.

Como protección al rectificador se tendrán las válvulas PV-3107 y PV-3107A accionadas a control de presión con el PIC-3107, que toma la señal corriente arriba. Por un sobrepresionamiento del FA-3102 se enviara el gas al sistema de desfogue con las válvulas indicadas anteriormente.

Estas válvulas abrirán totalmente en caso de presentarse un paro de la plataforma, a través de la señal eléctrica recibida por S/D.

Los 118.6 MMPCSD del FA-3102 libres de líquidos, se transportan a los módulos de compresión GB-3101 AB/R a través del cabezal de distribución de 30" P3140 A52A, previo registro del flujo en el FR-3104, el cual enviara su señal al SDMC. Ver figura No. 3. Diagrama de tubería e instrumentación.

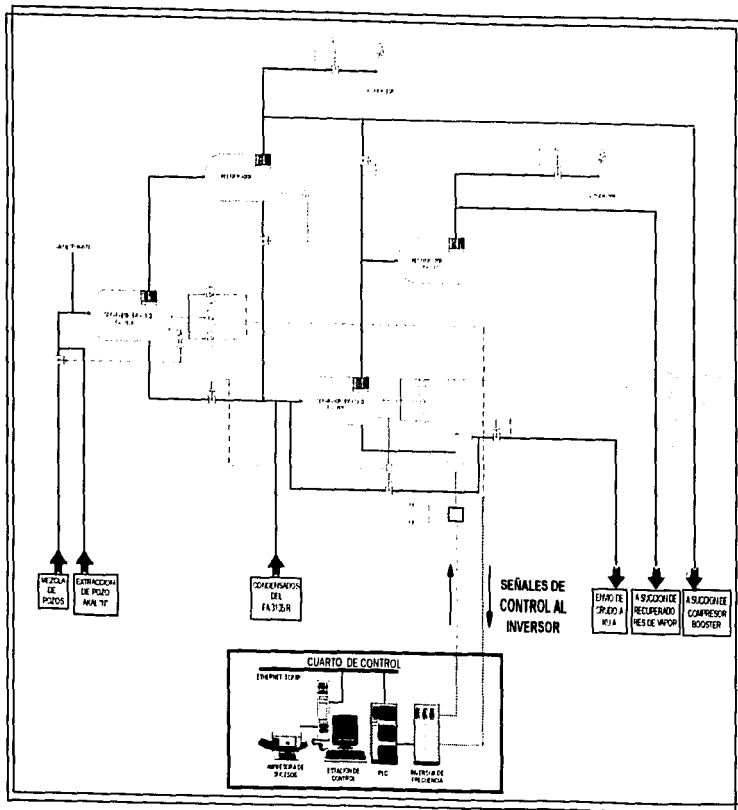


FIGURA No. 3 DIAGRAMA DE FLUJO

**LISTA DE COMPONENTES QUE INTEGRARA AL SISTEMA DE BOMBEO
NEUMATICO DE CRUDO EN LA PLATAFORMA AKAL"N".**

FA-3102	RECTIFICADOR
FA-3101	SEPARADOR
LIC-3101	CONTROL DE NIVEL
LV-3101 A-B	VALVULA DE NIVEL
GA-3101 AD/R	BOMBAS DE LA "A A LA D" Y UNA DE RELEVO.
12" P3132 A54A	LINEA
FA-3702	CONDENSADOS DE DESFOGUE
6"AF3701 A54A	LINEA
LAL-3101	ALARMA DE BAJO NIVEL
LAH-3101	ALARMA DE ALTO NIVEL
24"P3101-1A54A	LINEA DE ALIMENTACION
PAL-3102	ALARMA POR BAJA PRESION
PAH-3102	ALARMA POR ALTA PRESION
PSV-3101 A-B	VALVULAS DE SEGURIDAD
24"P3116 A54A	LINEA AL CABEZAL DE DISTRIBUCION DE CRUDO A LAS BOMBAS GA-3101 AD/R
FG-3101	FILTRO DUPLEX TIPO CANASTA
PDAH-3121	ALARMA DE ALTA PRESION DIFERENCIAL
LSL-3101	INTERRUPTOR
PSH-3007	ALARMA POR ALTA PRESION
FSL-4001	INTERRUPTORES POR BAJO FLUJO
FSL-4002	INTERRUPTORES POR BAJO FLUJO
FSL-4003	INTERRUPTORES POR BAJO FLUJO
FSL-4004	INTERRUPTORES POR BAJO FLUJO
HS-4005	SELECTORES MANUALES
HS-4008	SELECTOR MANUAL

HS-4011	SELECTOR MANUAL
T1	TEMPORIZADORES
T2	TEMPORIZADORES
T3	TEMPORIZADORES
T4	TEMPORIZADORES
FT-3103	TRANSMISOR DE FLUJO
FA-3104	SEPARADOR DE CONDENSADOS
20" P3103 A54A	LINEA A AKAL""J"
FIC-3103	CONTROLADOR INDICADOR DE FLUJO
12" P3132 A54A	LINEA DE RECIRCULACION DE CRUDO
DE-3401	CALENTADOR DE GAS COMBUSTIBLE
LV-3103	VALVULA INTERMITENTE
LSL-3103	INTERRUPTOR
LSH-3103	INTERRUPTOR
LSHH-3103	INTERRUPTOR DE POR MUY ALTO NIVEL
SDV-3119	VALVULA DE CORTE
PV-3107	VALVULAS DE PRESION
PV-3107*	VALVULAS DE PRESION
PIC-3107	CONTROLADOR INDICADOR DE PRESION
GB-3101 AB/R	COMPRESORES "A Y B" Y UNO DE RELEVO
30" P3140 A52A	LINEA
FR-3104	REGISTRADOR DE FLUJO

E.2- LA GENERACION Y DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA

En la plataforma de producción de Akal N, se tendrá para la generación de energía eléctrica 3 turbogeneradores de 900Kw, 480 Volts, 3 Fases, 4 Hilos, 60 Hz, 1800 Rpm cada uno.

Durante la operación normal del sistema se mantienen operando dos unidades, mientras que la otra permanece de relevo.

La energía eléctrica generada por los turbogeneradores es alimentada al tablero de distribución.

El bus principal proporciona la energía eléctrica a los CCM-1 y CCM-2^a a través de los interruptores electromagnéticos removibles

Con uno de los interruptores se deja una línea de distribución disponible. Cada alimentador a los CCM'S tienen las siguientes características:

	CCM-1	CCM-2
KW Conectados	583	710
KW En operación	508	529
Demanda Real máxima	377	394

Cada uno de los interruptores indicados son de 1600 Amperes de marco y 800 Amperes de disparo.

La distribución eléctrica de energía eléctrica a CCM-1 e hace a los siguientes equipos, a través del interruptor termomagnético y un arrancador de tensión plena no reversible con transformador para control.

CLAVE	DESCRIPCION	POTENCIA EN KW	POTENCIA EN HP
GA-3101A	Bomba de crudo	93.25	125
GA-3101B	Bomba de crudo	93.25	125

En este bus se dispone de 9 interruptores termomagnéticos listos para usarse. Por otro lado la distribución al CCM-2 es similar la del CCM-1, y la relación de equipos a los que se suministrara la energía eléctrica, es la siguiente:

CLAVE	DESCRIPCION	POTENCIA EN KW	POTENCIA EN HP
GA-3101C	Bomba de crudo	93	125
GA-3101D	Bomba de crudo	93	125
GA-3101R	Bomba de crudo	93	125

E.3- AJUSTE DE ALGORITMOS DE CONTROL SISTEMA DE BOMBEO.

Se debe verificar que la señalización de los inversores de frecuencia de los motores de las bombas, se encuentre en las unidades adecuadas del sistema de control de la plataforma. Asimismo, verificar las siguientes señal. Los transmisores de nivel del separador de primera etapa y del rectificador; y de los transmisores de presión de descarga y llegada.

Una vez que se han verificado las señales a los algoritmos, se ajustan los límites en los que se desea tener el sistema, los tiempos de respuesta y los protocolos de comunicación entre el sistema.

Cuando se tienen todos los ajustadores previos se pone en operación el algoritmo esto se logra al pasar a modo automático los controles de velocidad de los motores de las bombas.

Ya que el algoritmo en esta operación se sintonizan sus parámetros correspondientes.

E.4- CORRIDA INICIAL DE BOMBAS.

Las bombas y sus accionadores deben correrse inicialmente con el máximo cuidado. Generalmente, la primera corrida se hace manejando agua con ellas, tal como ocurre al efectuar el lavado de equipos y tuberías. Durante esta etapa, las coladeras de la succión pueden causar restricción al flujo, debido a los materiales extraños que se retienen en ellas. En este caso, se debe limitar el flujo de las bombas centrífugas estrangulando la descarga de las mismas, pero no en forma exagerada, para evitar que una recirculación interna excesiva genere demasiado calor que pueda dañar las bombas. De cualquier manera, es necesario limpiar las coladeras cuando así se requiera. No debe permitirse que las bombas pierdan succión.

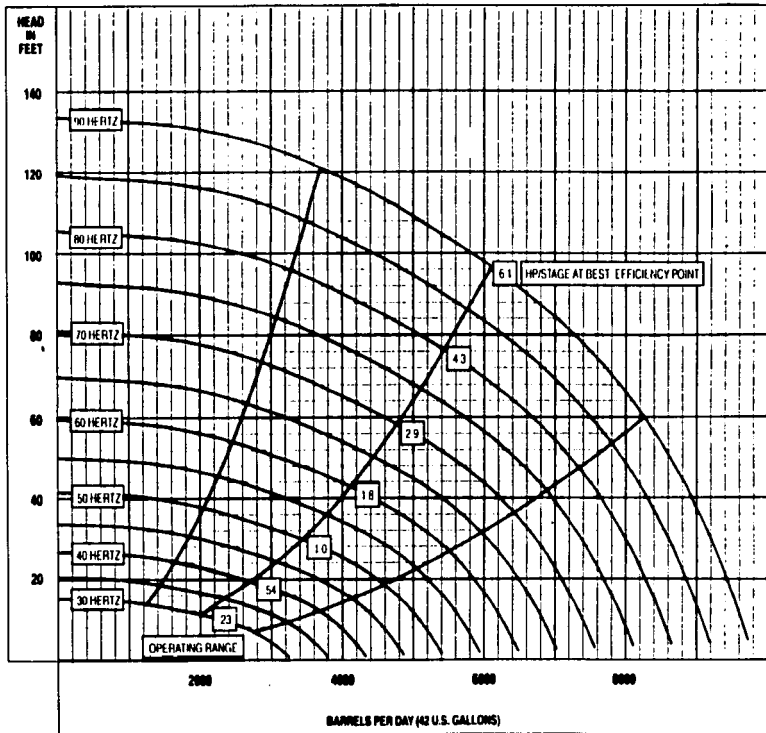
Los accionadores de las bombas centrífugas que manejen fluidos más ligeros que el agua, pueden sobrecargarse durante las operaciones de lavado de líneas y equipos. Para evitar esta situación, es necesario restringir el flujo del agua a través de la bomba, estrangulando la válvula de descarga. Esta práctica no debe aplicarse a las bombas de desplazamiento positivo. En general, deben seguirse las instrucciones del fabricante.

E.5.- ARQUITECTURA CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE CONTROL DE LAS PLATAFORMAS DE PRODUCCION.

En este esquema se presenta en forma general el tipo de control que se está llevando a cabo para operar las bombas y se muestra desde el nivel jerárquico, hasta los dispositivos en campo, este esquema tiene la finalidad de que al observarlo, se tenga la posibilidad de ver como está integrado el sistema de control .

Y se explica desde la integración del cuarto de control hasta los dispositivos que hacen que opere con eficiencia el inversor de frecuencia. Ver figura No.3.

También se muestra a continuación los diagramas de instrumentación de los pozos y la forma en que están integrados por sus dispositivos de control. Ver diagramas (No. 3, 4, 5, 6 .)



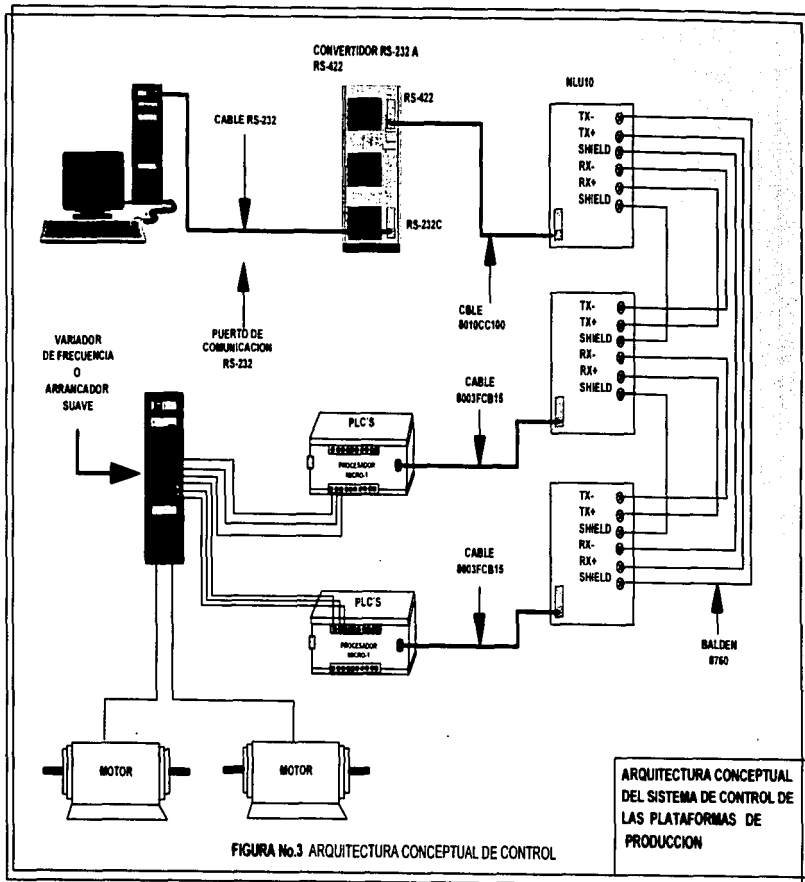
PUMP TYPE: GC4100

RPM VARIABLE (2-POLE MOTOR)
Sp. Gr. = 1.0

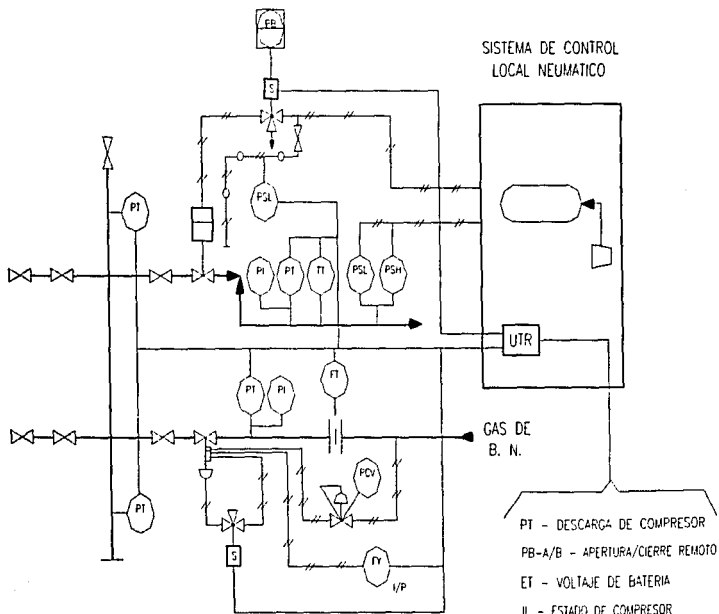
REFERENCE NO: K08-52
RD9991VA

VARIABLE SPEED - ONE STAGE PUMP PERFORMANCE
PUMP FOR MINIMUM 7" O.D. WELL CASING





POZO DE BOMBEO NEUMÁTICO (CONTROL REDUNDANTE CON UTR)



SISTEMA DE CONTROL LOCAL NEUMÁTICO

GAS DE B. N.

- PT - DESCARGA DE COMPRESOR
- PB-A/B - APERTURA/CIERRE REMOTO
- ET - VOLTAJE DE BATERIA
- IL - ESTADO DE COMPRESOR
- ZA - APERTURA PUERTA DE GABINETE

DIAGRAMA No.3 SISTEMAS DE CONTROL REDUNDANTE

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

POZO DE BOMBEO NEUMATICO (CONTROL CON VALVULA INTELIGENTE)

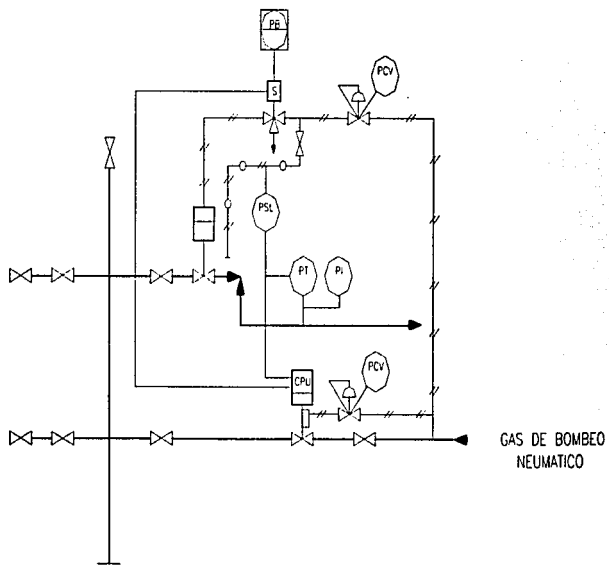


DIAGRAMA No.5 SISTEMAS DE CONTROL DE LA VALVULA

POZO DE BOMBEO NEUMATICO (CONTROL CON UTR)

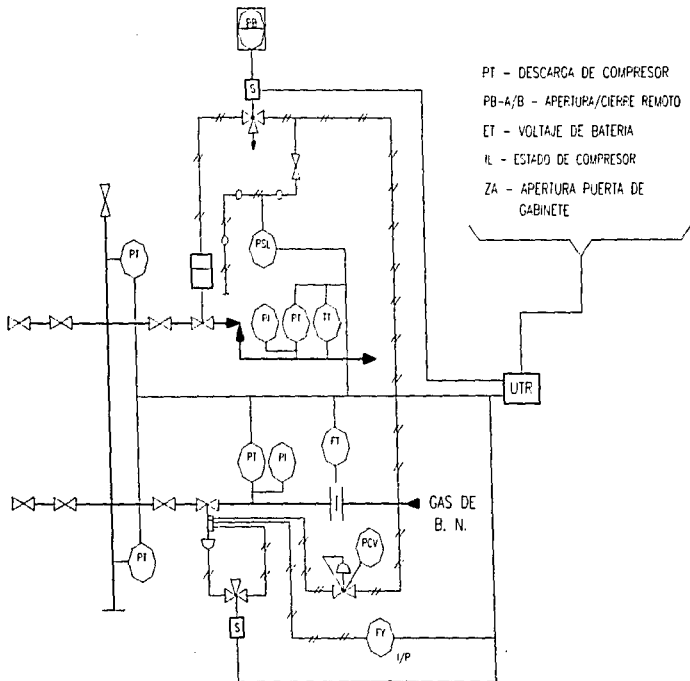


DIAGRAMA No.6 SISTEMAS DE CONTROL DE POZO

6.0- SIMBOLOGIA.

En las instrucciones para alambrear equipo eléctrico, este no se muestra tal como se ve realmente, si no que se emplean símbolos para designarlos . En los diagramas estos símbolos representan el equipo eléctrico verdadero y hasta que no se puedan interpretar perfectamente los esquemas de los circuitos de control no será posible adquirir una información completa y adecuada.

Cuando se aprende a leer un idioma lo primero que se hace es aprender las letras de su alfabeto, que al combinarse forman todas las palabras del idioma . Algo semejante sucede con el lenguaje de control. Existen solamente algunos símbolos básicos que se usan para expresar el significado y finalidad del circuito de control.

Ver figuras No. 1, No. 2 , No. 3. (a, b, c, d.).

En América se han establecido símbolos estándar o normalizados (Establecidos por la Asociación Nacional de Fabricantes de equipo Eléctrico - National Electrical Manufacture -- NEMA). Estos no se usan en todas partes , y es necesario tener una idea de la simbología usada en algunos países de interés para México . Como son la alemana, cuyos símbolos se establecieron por la Comisión de Normas alemana - Deutscher Normenausschub - (German Standars Commission) conocida por las siglas DIN; la del Instituto de Normas Inglesas (British Stand.ars Institute) BS; la del Instituto de Normas de Estados Unidos de America (United states of America Standards Institute) ASA ; y la de la Comisión Internacional de Electrotecnia (International Electrotechnical Commission) IEC.

SIMBOLOS ESTANDAR PARA DIAGRAMAS LINEALES N.E.M.A.

INTERRUPTORES

DESCONECTORES DE NAUVAJA	DESCONECTORES MOLDEADOS	MOLDEADO C/ ELEM. TERMIC	MOLDEADO C/ ELEM. MAGNET	MOLDEADO C/ TERMOMAGNET	DE LIMITE	DE PIE	DE PRESION Y VACIO	NIVEL DE LIQUIDO
					NO NC	NO NC	NO NC	NO NC
		ADEL ATRAS	ADEL ATRAS					

SELECTORES

BOTONES

LAMPARAS PILOTO

2 POSICIONES	3 POSICIONES	2 POSICIONES BOTON OPRIMIR	CONTACTO MOMENTANEO	CONT. MANTENIDO	ILUMINADO	LAMPARA PILOTO ESTANDAR	LAMPARA PILOTO OPRIMIR P. INCLIN.
			UN CIRCUTO NO NC	DOS CIRC. NO Y NC	CABLEA TRO MOVEDO	UN CIRCUTO	UN CIRCUTO
			NO NC	NO Y NC	NO NC	NO NC	NO NC
			NO NC	NO Y NC	NO NC	NO NC	NO NC

CONTACTOS

BOBINAS

SOBRECARGA

INDUCTOR

TRANSFORMADORES

OPERACION INSTANTANEA	DE TENSION SECCION	DE TENSION SECCION	DE TENSION SECCION	DE TENSION SECCION	DE TENSION SECCION	DE TENSION SECCION	DE TENSION SECCION	DE TENSION SECCION	DE TENSION SECCION	DE TENSION SECCION	DE TENSION SECCION	DE TENSION SECCION

MOTORES C.A.

ALAMBRADO

RESISTENCIAS CAPACITORES

1 FASE	2 FASES	3 FASES	ROTOR DERIV.	ARRANQUE	CAMPO DERIV.	CAMPO SERIE	CAMPO MIXTO	NO CONECT.	COMET.	PUNTA	CONTROL	TENSIVA	CONEXION MECANICA	FLUJ.	AJUSTABLE	RECTIF. DER. AJUS.	FLUJ.	VARIABLE

SEMICONDUCTORES

DIODO	DIODO TUNEL	DIODO ZENER	DIODO BIER	FOTO CELDA	SEMICONV. DE SILICIO	TRISOR. UNION PROG.	TRANSISTOR	TRANSISTOR UNIJUNTA

FIGURA No 1 SIMBOLOGIA GENERAL DE CONTROL ELECTRICO.

SIMBOLOS DE CONTACTOS

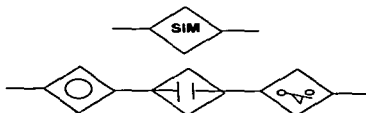
SPST N.O.		SPST N.C.		SPDT		DPST 2 N.O.		DPST 2 N.C.		DPDT	
SENCILLO	DOBLE	SENCILLO	DOBLE	SENCILLO	DOBLE	SENCILLO	DOBLE	SENCILLO	DOBLE	SENCILLO	DOBLE

TERMINOLOGIA

SPST : UN POLO TIRO SENCILLO
 SPDT : UN POLO TIRO DOBLE
 DPST : POLO DOBLE TIRO SENCILLO
 DPDT : POLO DOBLE DOBLE TIRO
 N O : NORMALMENTE ABIERTO
 N C : NORMALMENTE CERRADO

SIMBOLOS PARA DISP. DE CONTROL CON APERTURA ESTATICA.

EL CONTROL CON APERTURA ESTATICA ES UN METODO PARA LA APERTURA DE CIRCUITOS ELECTRICOS SI USAR CONTACTOS



**CONEXION DE LOS CIRCUITOS DE POTENCIA Y CONTROL
 A TRAVES DE LOS ARRANCADORES
 600 V. O MENOS**

		1 FASE	2 FASCS 4 HILOS	3 FASES
NOMENCLATURA DE LINEAS		L1,L2	L1,L3-FASE 1 L2,L4-FASE 2	L1,L2,L3
A TIERRA CUANDO SE USE		L1 SIEMPRE AISLADA	-----	L2
RELEVADORES DE SOBRE CARGA EN ARRANCADORES	1 ELEMENTO	L1	-----	-----
	2 ELEMENTOS 3 ELEMENTOS	-----	L1,L4	-----
CIRCUITO DE CONT. CONECTADO A:		L1,L2	L1,L3	L1,L2
P/ REVERSIBLE, LINS INTERCAMBIABLE		-----	L1,L3	L1,L3

FIGURA No 2 SIMBOLOGIA GENERAL DE CONTROL ELECTRICO.

DIBUJOS DE REFERENCIA

PLANO DE LOCALIZACION GENERAL DE EQUIPO

0001 PLANO DE LOCALIZACION GENERAL DE EQUIPO
AREA DE TRAMPA DE SUCIOS DE LA
ESTACION ATRASERA

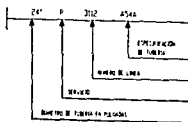
DIAGRAMAS DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
DE PROCESO

0001 DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION DE
ESTACION DE MEDICION DE GAS

0002 DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION DE
ESTACION DE MEDICION DE CONCENTRACION

0003 DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION DE
INTEGRACION DE ESTACIONES DE MEDICION

CODIGO DE TUBERIAS

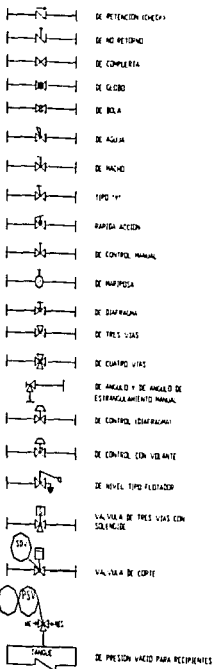


INDICE ALFABETICO DE SERVICIO

- A AGUA
- AB AGUA AMPLIA
- AB AGUA POTABLE
- AC ACEITE DE CALENTAMIENTO
- AC AGAS PARA COMBUSTION
- AD AGUA DE SERVICIO
- AE SUMINISTRO AGUA DE ENFRIAMIENTO
- AF ACEITE RECUPERADO
- AG AGUA DE INSTRUMENTOS
- AG AGUA FRESCA
- AG AGUA DE LAVATORIOS
- AH AGUA DE HORN
- AP AGUA DE PLANTA
- AP AGUA
- AS ACEITE DE SELLADO
- AT AGUA TRAZADA
- AV ANTISTATICAMENTE
- AG AGUA DE REFLUJO
- BS RESULTADO DE SODIO
- CE CEMENTO
- CF COMBUSTION DE COMPOSICION
- CG COMBUSTION DE MEDA PRESION
- CD COMBUSTIBLE

SIMBOLOGIA DE VALVULAS Y ACCESORIOS EN TUBERIAS

VALVULAS



TUBERIAS Y ACCESORIOS EN TUBERIA

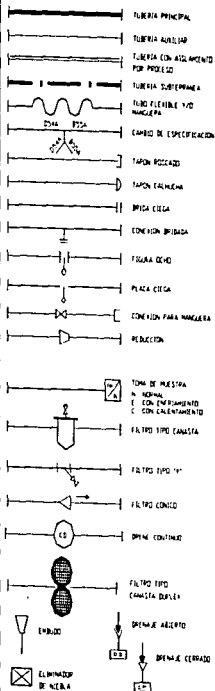


FIGURA No. 3.a Simbologia general de instrumentacion y control.

7.0- CONCLUSIONES GENERALES.

Al termino de este trabajo de controladores para motores de corriente alterna, podemos establecer un análisis comparativo para hacer una buena selección del equipo ideal para implementarlo en áreas que actualmente dentro de lo que es la industria petrolera lo requiera.

Actualmente los sistemas de control con elementos electromagnéticos se están sustituyendo por los controles estáticos ya que los primeros presentan una serie de desventajas, tales como considerable consumo de energía (debido a las perdidas que se presentan por disipación de calor, tanto en la bobina de los relevadores como en sus contactos cuando estos abren o cierran; ocupan mayor espacio (por la gran cantidad de partes mecánicas que requieren y por las espiras de las bobinas de los relevadores); y requieren de mantenimiento periódico (para evitar desgastes y oxidación en los contactos). También se están sustituyendo debido a que existen zonas peligrosas y la operación de este tipo de dispositivos hace mas alto el riesgo de incendios dentro de las plataformas y refinerías.

Cabe considerar que no obstante todas las desventajas operativas que presenta este tipo de control, un aliado que permite continuar su uso, prefiriéndose aun sobre los sistemas estáticos, es por su bajo precio.

El control estático a ganado en la actualidad un importante lugar en el diseño de los sistemas ya que permite una dramática reducción en los costos por mantenimiento, se ha aumentado la velocidad de operación y se minimizan las perdidas térmicas y el consumo de energía.

Los sistemas digitales son de transmisión o procesamiento de información en los cuales la información se presenta por medio de señales digitales y no en el movimiento de piezas mecánicas como en el caso de relevadores y contactores.

Es de mencionarse que el control estático ha logrado la importancia que actualmente tiene gracias al empleo de circuitos lógicos que se han convertido en una de las técnicas mas empleadas en la ingeniería moderna,

por su precisión, economía, rapidez y versatilidad de aplicaciones en los campos del control de proceso industrial, en instrumentación digital, etc.

Estos circuitos ocupan un menor espacio y no tienen pérdidas por calor, al no contar con bobinas que requieren de corriente para operación, no cuentan con contactos que guarden suciedad, grasa y otros materiales que puedan causar falsos contactos, operan a bajo voltaje en DC y muy baja corriente, además de que proveen una alta velocidad de operación.

El siguiente paso en la evolución del control fue el controlador programable cuyas principales características es que puede ser programado para ejecutar instrucciones de control de máquinas y operación de procesos y para implementar operaciones específicas como control lógico, secuencial, temporización, conteo y operaciones aritméticas.

El éxito actual que esta teniendo reside en las siguientes cualidades flexibilidad de control lógico, requerimientos de espacio mínimo, incrementos futuros en la capacidad de salida, cambios frecuentes en el control lógico y expectativas de ampliaciones futuras.

Este tipo de control presenta algunas desventajas para su empleo, y es por que su costo inicial es alto y en el caso de presentarse una descompostura las tarjetas electrónicas son caras, por ser equipos de importación.

Además para operar estos sistemas se requiere que el distribuidor capacite al personal para obtener un mejor aprovechamiento del equipo.

La señal de salida o de control de los sistemas de estado sólido (compuertas lógicas o controladores lógicos programables) es de muy baja intensidad, con los cuales es posible realizar el control de un motor eléctrico, es por eso que necesitamos un amplificador y que además aisle la parte de control con la parte de fuerza, este elemento se conoce como rectificador controlado de silicio. El inversor de frecuencia operan eficientemente con estos dispositivos y cuentan con estas características: Estos dispositivos fueron adaptados para poder controlar a los motores, variando la velocidad de

acuerdo a la necesidad del proceso. El inversor de frecuencia contiene un amplificador y al rectificar la corriente con una pequeña señal podemos operar voltajes y potencias altas.

Aísla el control de la fuerza por que la señal de baja intensidad provoca que se dispare la compuerta y maneje el alto voltaje.

Los grandes avances en materia electrónica permiten que los inversores de frecuencia sean menos robustos desde el punto de vista mecánico y soporten una mayor corriente eléctrica además de que tengan una respuesta mas rápida de operación.

Con el advenimiento de la computación todo se esta tratando de manejar por programación , toda esta nueva tecnología nos redituara beneficios económicos y no tendremos que seguir teniendo perdidas que eran muy comunes anteriormente como: los cambios de equipos grandes y costosos, el gasto de muchas horas-hombre y el acondicionamiento de grandes áreas Todo esto quedara en el pasado, gracias a la nueva tecnología que se esta desarrollando en los sistemas de control aplicado a la Industria Petrolera.

En el siglo XXI sera una nueva era de transmisión de información y un nuevo punto de vista para poder controlar con estos tipos de dispositivos los procesos de la perforación, extracción y distribución del petróleo, con un Índice de operación mas exacto, con un sistema de respuesta mucho mas veloz para ello debemos estar preparados y actualizar nuestros conocimientos de acuerdo al avance tecnológico.

8.0- BIBLIOGRAFIA

- **MANUAL DE RELEVADORES Y CONTACTORES**
Varios autores p.p. 216.
- CONTROL DE MAQUINAS ELECTRICAS**
kosow I.L. editorial Reverte S.A. p.p. 430
- OPERACIÓN ,CONTROL Y PROTECCION DE MOTORES ELECTRICOS.**
Buitrón Sánchez Horacio . edit. E.S.I.M.E. pp.320
- CONTROL Y AUTOMATIZACION .**
Varios autores, Comisión Federal de Electricidad p.p. 293
- SCR MANUAL , FIFTH EDITION.**
Varios autores, General Electric co. p.p 687
- TIRISTORES CONCEPTOS Y APLICACIONES.**
R.K. Sugandhi & K.K. edit. Limusa p.p.318
- TIRISTORES Y TRIACS .**
Varios autores, Thomson CSF. P.p.263
- MANUAL MOTORTRONICS, SOLID STATE A.C. MOTOR CONTROL**
Potencia electromecánica , Varios Autores.
- CIRCUITOS DE CONTROL ELECTRICO.**
Instituto Mexicano del Petróleo, p.p. 75
- MANUAL VARIADORES DE FRECUENCIA Y ARRANCADORES SUAVES.**
Co. Yaskawa, Varios Autores.
- CATALOGO 1991-1992 TELEMECANIQUE**
Co. Grupo Schneider.
- MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES**
Edit. Limusa Irving L. Kosow. p.p. 250