

20
91



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

EL SISTEMA CUTZAMALA OPERACION Y MANTENIMIENTO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

MARCOS OLMEDO ROCHA

ASESOR: ING. BENJAMIN CONTRERAS SANTA CRUZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1 9 9 7

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MEXICO



DEPARTAMENTO DE
EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

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

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del 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

"El sistema Outsource Operación y Mantenimiento"

que presenta al pasante: Marcos Olmedo Rocha
con número de cuenta: 7998370-7 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista

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

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 8 de Mayo de 1997

PRESIDENTE	Ing. Javier Hernández Vega	
VOCAL	Ing. Benjamín Contreras Santacruz	
SECRETARIO	Ing. Alfonso Rodríguez Contreras	
PRIMER SUPLENTE	Ing. Esteban Corona Escobedo	
SEGUNDO SUPLENTE	Ing. José A. Sánchez Gutiérrez	

A mis padres, que con su empeño y comprensión me apoyaron para lograr mi propósito.

A mi esposa, por su paciencia y amor.

A mis hijos, por ser lo más valioso que tengo.

A mis hermanos, por su apoyo incondicional.

A todos y cada una de las personas que con su ayuda hicieron posible la terminación de este trabajo.

I N D I C E

	PAGINA
INTRODUCCION	1
CAPITULO UNO HISTORIA DE LA FORMACION DEL SISTEMA CUTZAMALA	4
1.1 Problemática en el abastecimiento de agua potable a la Zona Metropolitana de la Ciudad de Mexico. - - - - -	4
1.2 Etapas de construcción del Sistema Cutzamala - -	7
CAPITULO DOS DESCRIPCION DE LAS PLANTAS DE BOMBEO DEL SISTEMA	11
2.1 La Planta de Bombeo # 1 - - - - -	11
2.2 La Planta de Bombeo # 2 - - - - -	12
2.3 La Planta de Bombeo # 3 - - - - -	13
2.4 La Planta de Bombeo # 4 - - - - -	14
2.5 La Planta de Bombeo # 5 - - - - -	15
2.6 La Planta de Bombeo # 6 - - - - -	16
2.7 La Planta Potabilizadora " Los Berros " - - - -	17
CAPITULO TRES EQUIPO INSTALADO	18
3.1 Definición - - - - -	18
3.2 Características de las Bombas Centrifugas empleadas en el sistema y sus partes principales - - - - -	19
3.3 El Motor Electrico de Inducción o Asincronico- -	22
3.4 La Valvula Esferica - - - - -	26
3.5 El Controlador Programable - - - - -	26
3.6 Instalaciones de La Planta Potabilizadora - - -	28

CAPITULO CUATRO	
OPERACION DE LAS PLANTAS Y DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO	32
4.1.0 Operación del Controlador Programable - - - -	32
4.1.1 Condiciones para el arranque - - - - -	32
4.1.2 Descripción de la secuencia de arranque del Automate - 35. - - - - -	35
4.1.3 Descripción de la secuencia de paro normal del Automate - 35. - - - - -	37
4.1.4 Descripción de paro de emergencia del Automate 35. - - - - -	38
4.1.5 Detección de fallas - - - - -	38
4.2.0 Descripción de la secuencia de arranque del -- Grupo Motor-Bomba-Válvula Esférica - - - - -	40
4.2.1 Paro normal del Grupo Motor-Bomba-Válvula -- Esférica - - - - -	41
4.2.2 Cierre de Emergencia de la Válvula Esférica- - - - -	44
4.3.0 Operación de las Plantas de Bombeo Nos. 1, 2, 3, 4, 5, 6 y La Planta Potabilizadora- - - - -	45
4.3.1 Vaso y Estructura Donato Guerra- - - - -	47
4.3.2 Planta de Bombeo # 6 - - - - -	48
4.3.3 Planta Potabilizadora - - - - -	48
 CAPITULO CINCO	
PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE LAS PLANTAS DE BOMBEO Y DE LA PLANTA POTABILIZADORA	52
5.01 Mantenimiento de los equipos de las plantas de bombeo en general- - - - -	52
5.02 Equipo empleado en los trabajos de mantenimiento - - - - -	53
5.03 Trabajos de mantenimiento de la Subestacion Electrica - - - - -	54

5.04 Trabajos de mantenimiento que se realizan dentro de la Casa de maquinas - - - - -	58
5.05 Mantenimiento de la Planta Potabilizadora - - -	68
5.06 Descripción de algunas de las pruebas más importantes que se realizan a algunos de los equipos - - - - -	71
5.06.1 Prueba de resistencia de aislamiento al transformador de potencia usando el Megger - - -	71
5.06.2 Prueba de Factor de Potencia de los devanados de un transformador usando el MEU-2500- - -	75
5.06.3 Prueba de Factor de Potencia a las boquillas del transformador - - - - -	81
5.06.4 Prueba de Factor de Potencia al Aceite- - -	84
5.06.5 Prueba de Rigidez Dieléctrica al Aceite - - -	86
CAPITULO SEIS	
FALLAS MAS COMUNES Y SU SOLUCION	90
6.01 Bloqueo de Arranque - - - - -	90
6.02 Fallas en el Grupo de La Valvula Esferica - - -	91
6.03 Fallas en el Grupo Motor-Bomba - - - - -	93
6.04 Fallas en general - - - - -	95
CAPITULO SIETE	
COSTOS DE OPERACION Y DE MANTENIMIENTO	97
7.01 Costos de operacion - - - - -	97
7.02 Costos de Mantenimiento - - - - -	98
7.03 Cantidad de metros cubicos bombeados durante el año de 1995 - - - - -	99
CAPITULO OCHO	
PERSPECTIVAS FUTURAS DEL SISTEMA	101

8.01 Control Supervisor para operar el sistema Cutzamala - - - - -	101
8.02 Equipos para el Control Supervisor en las Plantas de Bombeo - - - - -	103
8.03 Control del Vaso y Estructura Donato Guerra - -	104
8.04 Sistema de comunicaciones para voz y datos - -	105
C O N C L U S I O N E S - - - - -	107
B I B L I O G R A F I A - - - - -	110

INTRODUCCION.

El Agua, elemento vital.

El agua juega un papel fundamental en los procesos que tienen lugar en la tierra y por ello no es de extrañar que los griegos lo consideraran uno de los 4 elementos que formaban el universo junto al fuego, el aire y la tierra.

Es en el agua donde se originó la vida animal que puebla nuestro mundo, y es gracias a ella que dicha vida se mantiene y se transforma.

No cabe duda que para nosotros es el componente más importante, tanto biológicamente como industrialmente.

En el presente los habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México viven su mas grande reto frente a la naturaleza, para encontrar la forma de lograr que este elemento que se antoja eterno, imperecedero, no falte ante el crecimiento de la población.

El Gobierno de la República, por su parte, debe emprender y coordinar acciones para satisfacer las demandas del recurso y disminuir la sobreexplotación de los acuíferos de los Valles de México y Lerma-Ixtlahuaca.

Para ello, ha sido necesario buscar y conducir el recurso de mas allá de las fronteras del propio valle, pues la solución al abastecimiento perforando pozos en los acuíferos locales, desde hace mucho tiempo dejo de serlo, para convertirse en un grave problema al provocar el hundimiento de la ciudad con los

consiguientes efectos negativos en las estructuras y en la calidad del agua.

Así, la historia de la Ciudad de México, ha sido la historia de la lucha por el agua y contra el agua. Hoy en día, la Comisión Nacional del Agua C.N.A., a través de la Gerencia de Aguas del Valle de México G.A.V.M., realiza la mayor y mas compleja obra de captación y potabilización: EL SISTEMA CUTZAMALA, cuya finalidad es introducir a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 19 metros cúbicos por segundo, para beneficiar a mas de seis millones de habitantes.

Sus caudales habrán de ser distribuidos en relación a los incrementos poblacionales de los municipios conurbados del Estado de Mexico y el Distrito Federal.

Este proyecto constituye sin duda alguna el mas ambicioso en su tipo que se ha llevado a cabo en el país y es también de los de mayor magnitud en el mundo al conjuagar el desnivel a vencer, el volumen y la distancia de recorrido.

Su concepción, desarrollo técnico y realización, han implicado enormes esfuerzos de quienes en el han participado y desde luego ha significado un gran reto para la Ingeniería Mexicana

Las inversiones en el Sistema Cutzamala han sido cuantiosas, pero mas costoso seria para la Nación dejar extinguir, por la carencia del vital liquido, la ciudad que ha sido esencia de la cultura nacional y hoy por hoy el centro motor del país.

Después de esta breve introducción, veremos en los siguientes capítulos de este trabajo, un poco de historia de la problemática en el abastecimiento de agua a la ciudad, de como surgió la idea de crear El Sistema Cutzamala, la composición del mismo con sus plantas de bombeo y la planta potabilizadora, la obra electromecánica del equipo instalado, el funcionamiento de los equipos de bombeo, se vera el programa de mantenimiento de los equipos, los costos de operación, las perspectivas futuras del sistema y por ultimo las conclusiones de este trabajo, con el cual se pretende dar a conocer en forma practica el funcionamiento del Sistema Cutzamala y también crear conciencia en la población del enorme esfuerzo que representa la tarea de abastecer de agua potable a la ciudad.

CAPITULO NUMERO 1

HISTORIA DE LA FORMACION DEL SISTEMA CUTZAMALA.

1.1 PROBLEMÁTICA EN EL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE A LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO.

La tarea hidráulica de abastecer de agua a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, debe atender por una parte, la demanda anual que provoca el incremento poblacional, y por otra parte reducir la sobreexplotación de las fuentes de abastecimiento subterráneas en el Valle de México.

A principios de la década de los setentas, en el Valle de México se incremento la extracción de aguas subterráneas por medio de pozos y de norias, motivada por la creación de gran cantidad de industrias y fraccionamientos que rápidamente se desarrollaron, originando nuevas necesidades de agua potable, tanto en el Distrito Federal, como en los once municipios del Estado de México que para ese entonces ya se encontraban conurbados a la capital, lo que hizo necesario el planteamiento de abastecer de agua potable a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, mediante cuencas externas diferentes a la del Lerma, la que para entonces ya presentaba signos de sobreexplotación.

Ante esa situación, en 1972 se constituyo la Comisión de Aguas del Valle de México, hoy Gerencia de Aguas del Valle de México, con el objeto de programar, construir, operar y conservar las obras necesarias para aprovechar los recursos hidráulicos del

Valle de México, así como aquellas que fueran necesarias para traer el líquido de otras cuencas.

A partir de entonces, se continuaron los estudios de abastecimiento de agua potable iniciados por la extinta Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, que incluían diversas alternativas, desde captaciones cercanas al Valle de México, hasta cuencas hidrológicas tan lejanas como la del Río Papaloapan.



Figura 1.1

Las regiones mas viables para este abastecimiento con fuentes externas, correspondieron a las cuencas de : Cutzamala y Temascaltepec al Deste, Tecolutla y Oriental Libres al Este. Amacuzac al Sur y Tula (Taxhimav) al Norte. con caudales de 19, 5, 14.7, 7, 14.2, y 2.8 m³/s respectivamente. con lo que se estimo podran cubrirse las demandas del vital liquido hasta el año 2000. combinandose con las acciones contenidas en el programa de control de perdidas y uso eficiente del agua . (figura # 1.1)



Figura 1.1

El Sistema Cutzamala consiste en el aprovechamiento de siete presas de almacenamiento y de derivación, correspondientes a la cuenca alta del Río Cutzamala; la construcción de un vaso de regulación horaria y un acueducto de 127 Km. que incluye 19 Km de tuneles y 7.5 Km de canal; la construcción de una Planta Potabilizadora con capacidad de 24 m³/seg; seis plantas de bombeo para vencer un desnivel de hasta 1100 metros, cuya operación requerira de una energía total de 1650 millones de Kilowatts/hora por año, y 24 Km de tuneles dentro de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México que corresponden a los ramales Norte y Sur, de 12.5 y 11.5 Km respectivamente, para la distribución del agua a los municipios conurbados del Estado de México y del Distrito Federal. (figura # 1.2)

1.2 ETAPAS DE CONSTRUCCION DEL SISTEMA CUTZAMALA.

Su ejecución se inicio en 1976 programandose en tres etapas constructivas de 4,6 y 9 m³/s respectivamente. Las aguas de este sistema son las mismas que anteriormente se utilizaron para generación de energía eléctrica; únicamente se realizo un cambio en su uso, dejando reservas de 3 m³/s para generación de energía en las horas de mayor demanda y otro tanto para atender las demandas locales, tanto actuales como futuras que requiere el desarrollo de la región.

La primera etapa de operación desde mayo de 1982, aporta 4 m³/s procedentes de la Presa Villa Victoria, que se conducen a

través del Canal Martínez de Meza a la Planta Potabilizadora de Berros y posteriormente se realiza su bombeo en la Planta No. 5, venciendo una carga total de 174 metros para conducir el agua a través de un acueducto de tubería de concreto presforzado de 2.5 metros de diámetro y 12 m³/s de capacidad, en una longitud de 77 Kms., atravesando la Sierra de las Cruces en la parte Noroeste del Área Metropolitana mediante el túnel Atarasquillo-Dos Ríos, que conduce también las aguas del Alto Lerma, iniciándose en Dos Ríos la distribución del agua.

La Segunda Etapa en operación desde julio de 1985, consiste en la captación y conducción de 6 m³/s de la Presa Valle de Bravo hasta la Planta Potabilizadora de Los Berros, con tuberías de acero de alta y baja presión, cuyos diámetros fluctúan entre 1.83 y 3.27 metros, en una longitud total de 3.7 Km y tubería de concreto presforzado de 2.50 metros de diámetro con capacidad de 12 m³/s, en una longitud de 14.5 Km, así como las Plantas de Bombeo 2, 3 y 4 para vencer cargas de 122, 360 y 350 m, respectivamente.

También se construye el Vaso Donato Guerra con capacidad aproximada de 300 000 m³ que funcionara como regulador, enviando por gravedad hasta 19m³/s a la Planta Potabilizadora para asegurar en esta un suministro continuo durante las 24 horas, ya que el proyecto contempla el uso combinado de las presas Valle de Bravo y Colorines, para permitir la generación de energía eléctrica en las horas de mayor demanda. A Partir de esta obra,

se conducen los caudales mediante un canal abierto de sección trapezoidal con longitud de 7.5 Km y capacidad de 24 m³/s. hasta el portal de entrada del túnel Agua Escondida de sección de herradura de 4.2 metros y longitud de 3.1 Km. del portal de salida de este túnel se conduce el agua mediante tubería de concreto hasta el Tanque Receptor de Aguas Crudas de la Planta Potabilizadora.

La Planta Potabilizadora de agua del sistema, cuenta con laboratorios y sistemas computarizados de control que la convierten en modelo en su tipo. Su capacidad total sera de 24 m³/s. con seis módulos de potabilización de 4 m³/s cada uno.

En la Planta de Bombeo # 5, además de los equipos que operan en la primera etapa, se dispone de seis bombas con capacidad de 4 m³/s para la segunda y tercera etapas, que elevan el agua 174 m hasta la Torre de Oscilación # 5 y a partir de este punto se inicia la conducción por gravedad a través del acueducto de 77 Km hasta el portal de entrada del túnel en construcción, Analco-San Jose, de 16 Km de longitud, sección portal de 4.60 metros de diámetro y capacidad de 34 m³/s que atraviesa la Sierra de las Cruces y por el cual se conducirá el total de los caudales del sistema.

La Lumbrera # 3 de este túnel aloja la estructura repartidora de gastos hacia el Estado de México y el Distrito Federal, mediante la operación de compuertas que se instalarán en este punto. De esta estructura, parten los Ramales Norte y Sur que

integran el acueducto periferico del Area Metropolitana de la Ciudad de Mexico.

La Tercera Etapa, permitira captar $9\text{m}^3/\text{s}$ en el Vaso Regulador de Colorines procedentes de las presas Tuxpan y el Bosque, en el estado de Michoacan, e Ixtapan del Oro, en el Estado de Mexico, para los cual se construyo la Planta de Bombeo No.1 Colorines, con una capacidad de $20\text{m}^3/\text{s}$ y carga de 157m , y $1\text{m}^3/\text{s}$ en la presa derivadora Chilesdo, que permitira enviar a la Planta Potabilizadora hasta $5\text{m}^3/\text{s}$ durante la época de avenidas mediante la Planta de Bombeo No.6. Con objeto de asegurar el suministro durante interrupciones horarias, se construyo el Tanque Pericos, cerca de la Ciudad de Toluca con una capacidad total de 200000m^3 y se tiene en proyecto otros tanque en las proximidades de la Ciudad de Mexico con el mismo objetivo.

CAPITULO NUMERO 2

DESCRIPCION DE LAS PLANTAS DE BOMBEO DEL SISTEMA CUTZAMALA.

En este capitulo veremos la descripción de las plantas de bombeo que componen el Sistema Cutzamala, como son las plantas de bombeo numero 1, 2, 3, 4, 5, 6 y la planta potabilizadora de los Berros.

En general la composición de las plantas de bombeo es la misma, todas constan de torre de sumergencia y de oscilación, equipos de bombeo, tuberías de alta y de baja presión, subestación y equipo auxiliar. Y se diferencian en el numero de equipos, potencia de los mismos y en el equipo auxiliar como se vera a continuación.

2.1 LA PLANTA DE BOMBEO NUMERO 1. (figura # 2.1)

Esta planta de bombeo se encuentra localizada en la población de Colorines y esta situada a una altura de 1600.18 M.S.N.M. Esta planta de bombeo cuenta con cinco equipos de bombeo de cuatro metros cúbicos de gasto cada uno con potencia en los motores de 6931 KW para vencer una carga de 157.00 metros . La planta trabajara cuando así se requiera en una forma intermitente y mandara su gasto a la Presa de Valle de Bravo o directamente a la torre de sumergencia de la planta de bombeo numero dos, a través de una tubería de concreto con una longitud de 6475 metros . La presa de Colorines recibe el agua proveniente de la Presa El Bosque y sus filtraciones y de la presa Tuxpan en el estado de Michoacán y de la presa Ixtapan del Oro en el estado

de México. Para su operación la planta cuenta con una subestación eléctrica, dos transformadores de potencia con capacidad de 50 MVA para poder suministrar la energía necesaria para la operación de los equipos.

2.2 PLANTA DE BOMBEO NUMERO DOS. (Figura # 2.2)

Esta planta de bombeo se encuentra localizada en la ranchería de Santa Magdalena Tilostoc, situada a una altura de 1721.70 M.S.N.M., cuenta con seis equipos de bombeo con capacidad de cuatro metros cúbicos cada uno la potencia de los motores es de 5370 KW y vence una carga de 122.00 metros.



Figura 2.1 Construcción de la Planta de Bombeo No. 1.



Figura 2.2 Planta de Bombeo No.2.

La planta de bombeo dos es el inicio de un bombeo en serie junto con las plantas tres y cuatro, toma el agua de la Presa de Valle de Bravo ó de la planta de bombeo uno según sea el caso y

la bomba hasta la torre de oscilación dos y de ahí por gravedad el agua llega a la torre de sumergencia de la planta tres a través de una tubería de concreto con una longitud de 3730.00 m.

Esta planta cuenta con una subestación eléctrica, con dos transformadores de potencia de 50 MVA para suministrar la energía a los motores y a todo el equipo auxiliar que hay en la planta.

2.3 PLANTA DE BOMBEO NUMERO 3. (figura # 2.3)

Esta planta de bombeo se encuentra ubicada también en la ranchería de Santa Magdalena Tilostoc a una altura de 1832.90 M.S.N.M. y es junto con la planta cuatro, las de mayor potencia en todo el sistema cuenta con seis equipos de bombeo de cuatro metros cúbicos de capacidad y con 15391 KW de potencia en cada uno de sus motores y vence una altura de 360.00 metros.

La planta tres continua con el bombeo en serie, tomando el agua proveniente de la planta numero dos y elevandola hasta la torre de oscilación tres y de ahí por gravedad hasta la torre de sumergencia de la planta numero cuatro recorriendo una distancia de 2701.00 metros. Esta planta tiene una subestación eléctrica que consta de tres transformadores de 66.6 MVA cada uno para suministrar para suministrar la energía a los motores, también cuenta con equipo auxiliar para compensar la demanda de reactivos que necesitan los motores al arranque y así evitar que haya disturbios en el sistema eléctrico del sistema a la hora de iniciar el bombeo. Esta planta es la que vence mas carga en todo el sistema.



Figura 2.3 Planta de Bombeo 3



Figura 2.4 Planta de Bombeo 4

2.4 PLANTA DE BOMBEO NUMERO 4. (figura # 2.4)

La planta de bombeo numero cuatro es el final de la serie de estas tres plantas esta situada a una altura de 2177.80 M.S.N.M. dentro de la cabecera municipal de Donato Guerra, cuenta con seis equipos de bombeo de cuatro metros cúbicos cada uno y con potencia de 15391 KW para cada uno de los motores, vence una carga de 350.00 metros. Esta planta continua el bombeo de agua de la Presa de Valle de Bravo a la planta potabilizadora de Los Berros, mandando el agua a la torre de oscilación numero cuatro y de ahí por gravedad hasta la potabilizadora pasando por el Vaso y estructura de Donato Guerra, el canal abierto y el portal de entrada del túnel Agua Escondida recorriendo una distancia de 20914 metros. La planta cuenta también con una subestación eléctrica con tres transformadores de potencia de 66.6 MVA cada uno y un sistema de compensación de potencia reactiva para los motores.

2.5 PLANTA DE BOMBEO NUMERO 5. (figura # 2.5)

Esta planta es el corazón de todo el sistema ya que es la que le da el último impulso al agua para que a partir de la torre de oscilación 5 se deslice por gravedad hasta la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. La Planta de Bombeo número cinco se encuentra situada en Los Berros perteneciente al Municipio de Villa de Allende en el estado de México a una altura de 2497.00 M.S.N.M. cuenta con seis equipos de bombeo de cuatro metros cúbicos cada uno con motores de potencia de 7646 KW y con tres equipos de 1.7 metros cúbicos con motores de 2985 KW cada uno. Al tanque de sumergencia de esta planta llega el agua ya potabilizada que se saca de las presas que forman el sistema y se eleva a la torre de oscilación a una altura de 174.2 metros para que de ahí por gravedad llegue a la Ciudad de México. La planta cuenta con una subestación eléctrica con tres transformadores de 50 MVA cada uno y también con un sistema de compensación de potencia reactiva para el arranque de los motores debido al número de estos.



Figura 2.5 Planta de Bombeo 5 Figura 2.6 Planta de Bombeo 6

2.6 PLANTA DE BOMBEO NUMERO 6 (figura # 2.6)

La planta de bombeo numero 6 se encuentra situada cerca del pueblo de San Jose perteneciente al municipio de Villa de Allende, en el Estado de México, a una altura de 2323.98 metros, cuenta con tres equipos chicos de 1.7 metros cúbicos de capacidad y los motores son de 3815 KW de potencia cada uno para vencer una altura de 213.2 metros. La planta toma el agua de la presa derivadora Chilesdo y la envía a la planta potabilizadora a través de una tubería de concreto de 11500 metros de longitud, con esta obra se reducen notablemente los costos de operación al evitar que las aguas del Rio San Jose Malacatepec escurran hasta la presa Colorines, ya que la carga de bombeo es menor de la P.B.6 que de la P.B.1. La planta cuenta con una subestación eléctrica con un transformador de potencia de 32 MVA.



Figura 2.7 Vista parcial de la Planta Potabilizadora.

2.7 PLANTA POTABILIZADORA LOS BERROS. (figura # 2.7)

La Planta Potabilizadora se encuentra en Los Berros, perteneciente al Municipio de Villa de Allende, sobre el kilometro 2 de la carretera Monumento - Valle de Bravo, a una altura de 2505.00 M.S.N.M. aproximadamente.

Esta planta es la que se encarga de potabilizar toda el agua que le llega desde las seis plantas de bombeo con que cuenta el Sistema Cutzamala. Para ello cuenta con una unidad de laboratorio que tiene los equipos y materiales necesarios para realizar los analisis fisicoquimicos y bacteriologicos que permitan determinar la calidad del agua que se entrega y cumple con las normas dispuestas tanto nacional como internacional en materia de agua potable.

El sistema de clarificación del agua que se utiliza en esta planta es un sistema convencional, que consta de una mezcla rápida, una floculación, una sedimentación y una filtración, esto es debido a que el agua presenta una turbiedad de mas de 20 unidades. El volumen de agua que se procesa es de 1 318 276 metros cúbicos por día.

CAPITULO NUMERO 3.

EQUIPO INSTALADO.

3.1 DEFINICION.- Un equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía mecánica, que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc., y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad.

Así tendremos bombas que se utilizan para cambiar la posición de un cierto fluido, bombas que adicionan energía de presión y también bombas trabajando con presiones y alturas iguales que únicamente adicionan energía de velocidad

Las bombas Dinámicas del tipo CENTRIFUGO (utilizadas en las plantas de bombeo del Sistema Cutzamala) son aplicables para:

- a) Gastos grandes
- b) Presiones reducidas, medianas o grandes
- c) Líquidos de todo tipo, excepto viscosos.

Además los progresos en los motores eléctricos han propiciado el desarrollo de bombas centrífugas, mucho más ligeras y baratas.

Actualmente las Bombas Centrífugas también cubren el campo de las altas presiones, que se logran mediante las bombas de varios pasos accionadas a altas velocidades. En cuanto a capacidades, las bombas centrífugas se han construido para gastos

que van desde un galón por minuto a más de un millón de galones por minuto.

3.2 CARACTERISTICAS DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS EMPLEADAS EN EL SISTEMA CUTZAMALA Y SUS PARTES PRINCIPALES.- El Sistema Cutzamala cuenta con 35 bombas, teniendo 29 de ellas una capacidad unitaria de 4 M³/s y el resto de 1.7 M³/s.

Datos de placa de la bomba centrífuga del equipo # 3 de la Planta de Bombeo # 2.

Marca.- C C M SULZER	Tiempo.- HPDM 800 865 1/46
Año de fabric.- 1985	R.P.M.- 1195
Gasto.- 4000 l/s.	Tipo de succión.- Doble
Eficiencia.- 89%	# de pasos.- 1 (uno)
Carga nominal.- 121.8 m	

a) CARCAZA .- La función de la Carcaza en un bomba centrífuga es convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de la velocidad por un aumento gradual del área. (figura 3.1)

b) IMPULSOR .- El impulsor es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba. (figura 3.2)

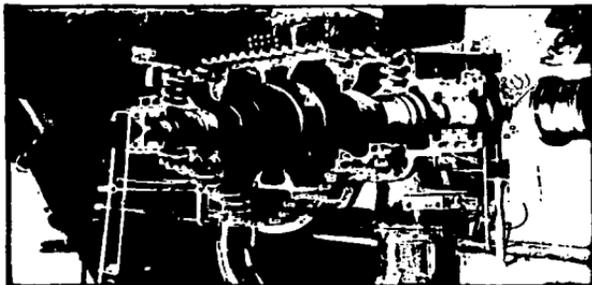


FIG. 3.1 CARCAZA parte inferior de la bomba # 1 de la PB-3.

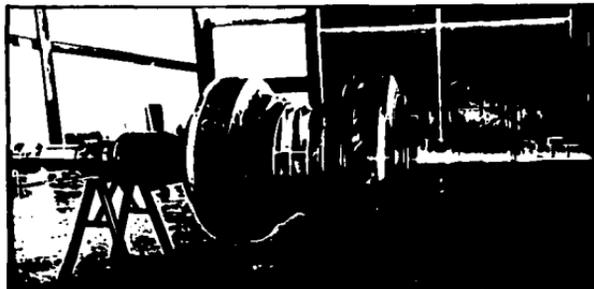


FIG. 3.2 IMPULSOR completo de la bomba # 1 de la P.B. # 3.

c) ANILLOS DE DESGASTE .- La función del anillo de desgaste es el tener un elemento fácil y barato de remover en aquellas

partes en donde, debido a las cerradas holguras que se producen entre el impulsor que gira y la carcaza fija, la presencia del desgaste es casi segura. Así en lugar de tener que cambiar todo el impulsor o el eje, solamente se cambian los anillos.

d) ESTOPEROS Y EMPAQUES .- La función de estos es evitar el flujo hacia afuera, del líquido bombeado a través del orificio por donde pasa la flecha de la bomba, y el flujo de aire hacia el interior de la bomba.

El estopero es una cavidad concéntrica con la flecha donde van colocados los empaques. Prácticamente en todos los estoperos se tendrá que ejercer una cierta presión para contrarrestar o equilibrar la que ya existe en el interior de la bomba. Debido a la misma presión, se origina en la flecha una fricción bastante considerable con el consabido aumento de temperatura, por lo cual debiera procurarse un medio de lubricación y enfriamiento. Ello se logra mediante la introducción de una pieza que no se deforma llamada JAULA DE SELLO O ANILLO LINTERNA, la cual tiene una forma acanalada y a la cual se le hace llegar desde la misma carcaza, o desde una fuente externa un líquido de enfriamiento. (figura 3.3)

La presión de los empaques se efectúa por medio del PRENSAESTOPAS, una pieza metálica que se mueve por medio de tornillos.

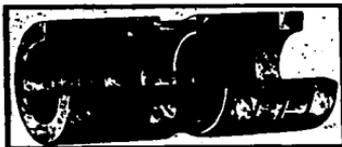


FIGURA 3.3 Empaques de fibras sinteticas con JAULA.

e) FLECHA .- La flecha de una bomba centrifuga es el eje de todos los elementos que giran en ella, transmitiendo ademas el movimiento que le imparte la flecha del motor. En el caso de la bomba centrifuga horizontal (como el nuestro), la flecha es una sola pieza o lo largo de toda la bomba.

f) COJINETES .- El objeto de los cojinetes es soportar la flecha de todo el rotor en un alineamiento correcto en relacion con las partes estacionarias. Soportan las cargas radiales y axiales existentes en la bomba. (Se pueden observar los cojinetes de la bomba en la figura 3.1).

3.3 EL MOTOR ELECTRICO DE INDUCCION O ASINCRONICO

Los motores de inducción trifásicos son los mas empleados en la industria : son sencillos, robustos, económicos y fáciles de

mantener. Mantienen su velocidad casi constante entre su funcionamiento en vacío y a plena carga, debido a estas características son los que se utilizan en los equipos de bombeo de todo el sistema.

El Sistema Cutzamala cuenta con 35 motores de inducción para los equipos de bombeo, son de diferente potencia, van desde 5000 hasta 22000 H.P. , siendo la potencia total instalada de 450.000 H.P.

Datos de placa del motor del equipo de bombeo # 3 de la Planta de Bombeo numero 2. (figura 3.4)

Marca.- JEUMONT SCHNEIDER	Tipo.- Asíncrono
Grado de protección.- IP54	Potencia.- 5550 KW
Enfriamiento.- IC W37A81	Acoplamiento.- Y-^
Forma de construcción.- IM1001	Voltaje.- 13200 V
Tipo de rotor.- JAULA	Ampers.- 278 A.
Clase de aislamiento.- ESTATOR-F	Frecuencia.- 60 Hz.30
Calentamiento.- ESTATOR K-75	Velocidad.- 1200 R.P.M.
Temperatura máxima de entrada.- AGUA-34 C	
Altitud.- 1732 m	Sobrevelocidad.-1680 R.P.M.
Constante de energía cinética.- S 1.67	
Peso del motor.- 21700 Kg.	F.P.- 0.9
Norma.- IEC-34-1	Factor de inercia.- 1.3
Momento de inercia (MR2)Kg.m2	1040.

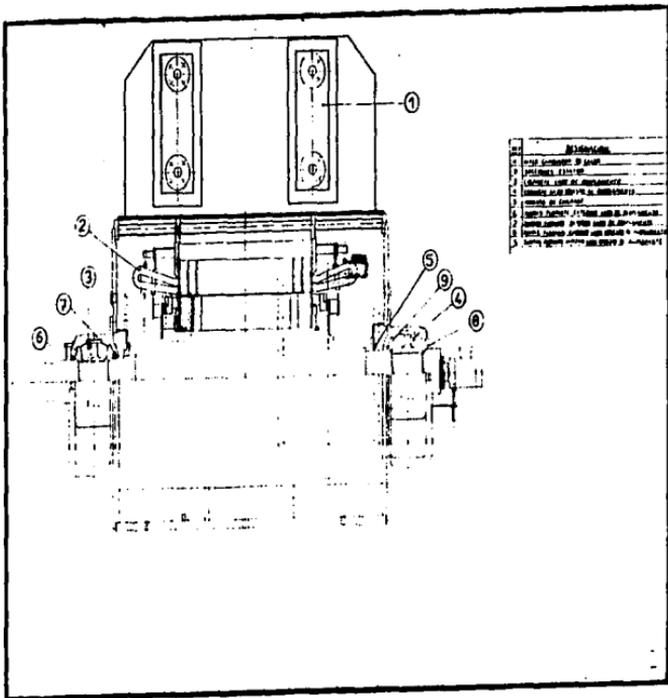
Lubricación de los cojinetes
Viscosidad cinemática del aceite.- 46 cst (c.mm²/s) a 40 C
Caudal del aceite para el cojinete:
Cota extremidad principal del eje.- 8 litros
Cota extremidad opuesta del eje .- 8 litros.

El motor cuenta con un intercambiador de calor en la parte superior del mismo (Figura 3.4) y tiene los siguientes datos de placa:

Marca.- ERGE SPIRALE Fluido.- AGUA
Temperatura de entrada.- 34 grados centígrados.
Temperatura de salida .- 41 grados centígrados.
Caudal.- 2 X 10.5 DMS/s.
Presión de servicio del circuito.- 10 BAR.
Presión de prueba del circuito .- 15 BAR.
Capacidad.- 2 X 40 DMS Peso vacío.- 750 Kg

También cuenta con una Central de lubricación la cual proporciona aceite para la lubricación de los cojinetes del motor y de la bomba, esta central tiene un tanque de almacenamiento con capacidad para 600 litros de aceite en los equipos chicos y 800 litros en los equipos grandes, cuenta con una bomba de engranes accionada por un motor de corriente directa.

FIGURA 3.4 Motor de Induccion Jaula de ardilla de la
JEU-MONT-SCHNEIDER.



3.4 LA VALVULA ESFERICA.

Otra parte importante del equipo de bombeo es La Válvula Esférica. (figura 3.5) en el Sistema Cutzamala se cuenta con 35 Válvulas Esféricas de las cuales 29 son del tipo DN-1000 (Grandes) y las restantes del tipo DN-700 (Chicas).

La función de la Válvula Esférica - es evitar el golpe de ariete en el equipo de bombeo (impulsor de la - bomba) y también soportar la alta- presión que se tiene en la tubería- de descarga cuando el equipo esta - fuera de operación.

La válvula funciona con un sistema- Oleohidráulico. abre con presión de aceite y cierra con presión de agua de la misma tubería de descarga.



FIGURA 3.5
Válvula Esférica DN-1000

3.5 EL CONTROLADOR PROGRAMABLE .

Otra parte muy importante del equipo de bombeo es el Controlador programable. llamado también AUTOMATA. el cual contiene grabado en circuitos integrados (memorias) el programa de secuencia de arranque y paro del grupo motor-bomba-válvula esférica. y además un programa buscador de fallas en el proceso con presentación de variables con numero y descripción a través

del CRT (Tubo de Rayos Catodicos) que es una pantalla auxiliar en la operación del proceso. (Figura 3.6).

Las Características del Controlador son las siguientes:

Marca - Reliance Electric.

Modelo - Automate A-35.

Esta constituido principalmente por un microprocesador que es el controla todo el proceso, tarjetas de control, tarjetas de entrada y salida, cabezas de interface y un monitor con teclado (CRT) por medio del cual el operador puede tener acceso al proceso de operación del equipo de bombeo. El controlador funciona con energía de 127 V de C.A. y 48 V de C.D..

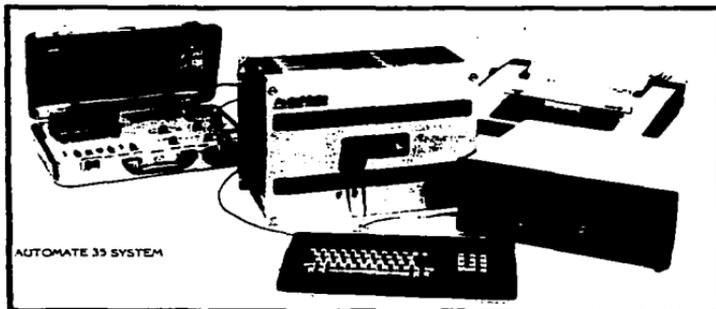


FIGURA 3.6 Controlador Programable

La Energía para accionar los motores de los equipos de bombeo y en general todas las instalaciones eléctricas, es suministrada por la Comisión Federal de Electricidad, (figura 3.7) de sus sistemas INFIERNILLO-NOPALA, existiendo una subestación principal denominada "DONATO GUERRA", que reduce la tensión de 400 KV a 115 KV, con dos bancos de transformación de donde se distribuye la energía a las subestaciones de cada una de las plantas de bombeo, utilizando 80 Kms de líneas de transmisión de 115 KV. En cada planta para alimentar los motores se requirió de equipo eléctrico especial, consistente en transformadores de potencia para reducir la tensión de 115 KV a 13.8 KV que es la tensión de trabajo de los motores grandes, tableros de media tensión T.M.T. (13.8 KV); tableros para servicios auxiliares en baja tensión (440 V, 220 V y 127 V en c.a. y 125 V y 48 V de C.C.); controladores programables electrónicos (autómatas) y cargadores de baterías .

En virtud de que la capacidad de los motores es muy grande y a fin de no provocar disturbios de importancia en los sistemas eléctricos al arranque de los mismos, se hizo necesaria la instalación de compensadores de potencia reactiva en las subestaciones de las plantas de bombeo 3, 4 y 5.

3.6 INSTALACIONES DE LA PLANTA POTABILIZADORA " LOS BERROS " .

Por último tenemos la Planta Potabilizadora de Los Berros que también forma parte del sistema, esta planta recibe los

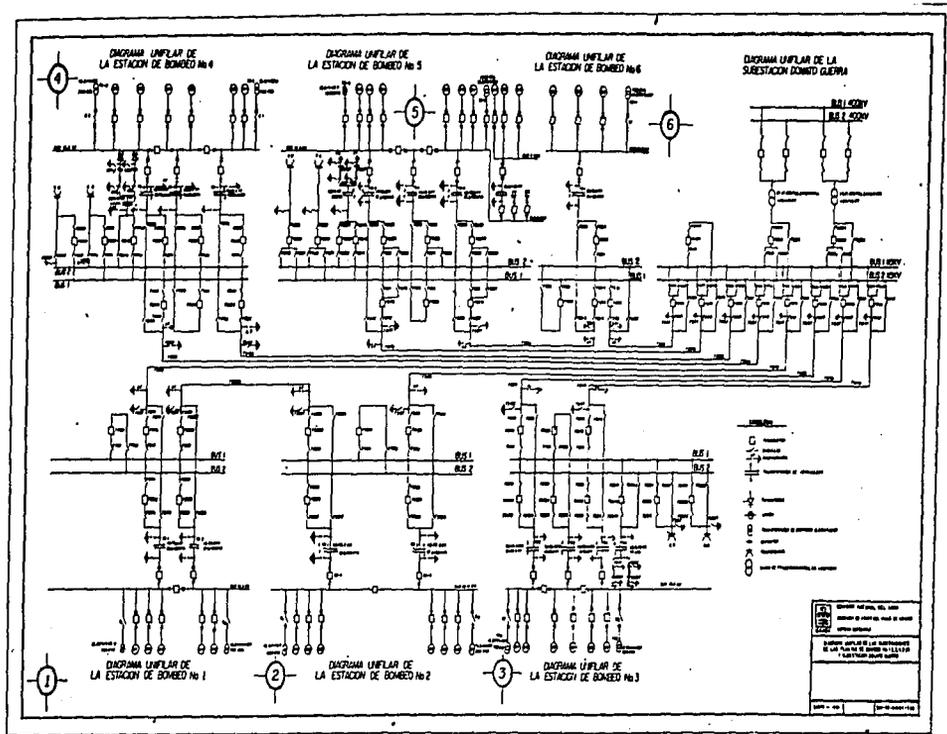


FIGURA 3.7 Diagrama unifilar de las Subestaciones de las -
 Plantas de Bombeo No. 1, 2, 3, 4, 5 y 6 del -
 Sistema Cutzamala y la Subestación Principal - -
 Donato Guerra.

caudales captados por este sistema y permite que el agua suministrada a la Zona Metropolitana de la Ciudad de Mexico, sea de alta calidad encontrandose dentro de las normas nacionales e internacionales de potabilidad. (figura 3.8)



FIGURA 3.8 Planta Potabilizadora " Los Berros ".

El proyecto integral de esta planta, cuenta con un Tanque de Recepción de Aguas Crudas, con capacidad de almacenamiento de

6450 metros cúbicos. seis canales Parshell, seis Módulos de Potabilización, cada módulo cuenta con cuatro Floculadores, cuatro Sedimentadores y seis Filtros.

La planta cuenta también con un Tanque de Recepción de Aguas Claras con una capacidad de 48000 metros cúbicos, un Edificio de Dosificación de Sulfato de Aluminio, el cual cuenta con nueve tanques de fibra de vidrio con capacidad de 50000 litros cada uno, una Planta de Cloración, que esta integrada por ocho evaporadores, 12 cloradores con capacidad de 4550 Kg. diarios cada uno y dos consolas de operación automática; un Sistema de Neutralización; un Sistema de Tratamiento de Lodos y un Laboratorio. La unidad de laboratorio, cuenta con los equipos y materiales necesarios para realizar los análisis físico-químicos y bacteriológicos que permitan determinar la calidad del agua que se entrega, cumpliendo con las normas dispuestas tanto nacional como internacionalmente en materia de agua potable, logrando con todo esto una capacidad para procesar hasta 24 metros cúbicos por segundo.

CAPITULO NUMERO 4.

OPERACION DE LAS PLANTAS Y DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO.

4.1.0 OPERACION DEL CONTROLADOR PROGRAMABLE (AUTOMATA).

El Controlador Programable AUTOMATE 35, está ligado al proceso a través de tarjetas digitales de entrada o salida. (Figura 4.1) Las de entrada reciben información discreta de las variables del proceso por medio de transmisores, transductores y relevadores (señales de 0 o 1 lógicos).

Las tarjetas de salida son el medio de acción del controlador sobre el proceso.

El Controlador contiene grabado en circuitos integrados el programa de secuencia de arranque y paro del grupo motobomba válvula esférica y además un programa buscador de fallas en el proceso con presentación de variables con número y descripción a través del CRT como un auxiliar en la operación del proceso.

De esta manera, el controlador sensa el proceso, interpreta la información y toma las acciones adecuadas.

Para que el grupo motobomba - válvula esférica, entre en operación, deberán de cumplirse las siguientes especificaciones:

- No exista condición de bloqueo.
- Cancelar condiciones de paro anterior.

4.1.1 CONDICIONES PARA EL ARRANQUE.

Algunas de las condiciones que nos pueden bloquear el arranque del equipo son las siguientes:

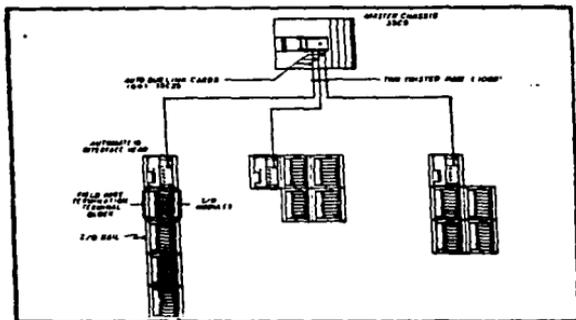


FIGURA 4.1 Configuración del AUTOMATE - 35.

- a) Que no haya presión suficiente de agua en la torre de sumergencia de la planta, la presión no debe de ser menor de 3.0 Kg/cm².
- b) Que haya también presión de agua suficiente en la tubería de descarga, ya que la válvula esférica cierra con presión de agua.
- c) La válvula de mariposa debe de estar completamente abierta y la válvula esférica debe de estar cerrada.
- d) La temperatura del aceite de lubricación debe de ser la adecuada entre 20 y 25 grados centígrados aproximadamente.

e) Que el interruptor alimentador del motor este en posición de operación y listo para operar.

f) Que este funcionando el sistema de agua de enfriamiento.

Existen dos modos de arranque como a continuación se indica:

En el Tablero Local de la Válvula Esférica, se tiene un selector para elegir LOCAL o REMOTO, este selector tiene una llave que tiene el operador para que no haya problema en el manejo de la misma.

a) LOCAL:

Estando el selector en posición LOCAL (Señal 200 = 1) y accionando el pulsador APERTURA, al controlador le llega la señal de mando de arranque (Señal 201 = 1) iniciando con esto la secuencia de arranque.

b) REMOTO:

Estando el selector en posición REMOTO (Señal 200 = 0), y recibiendo mando de arranque remoto que provenga de un tablero central o desde el gabinete del controlador (Señal 202 = 1) el controlador manda una señal de 1.5 segundos de duración (Señal de salida 402) suficiente para iniciar la secuencia de arranque en la relevación de la Válvula Esférica.

Se distinguen también dos tipos básicos de decisión en la acción de paro.

a) Paro por decisión del operador.

b) Paro por detección de falla.

En el paro por decisión del operador este puede ser del tipo local o remoto, siendo local cuando el operador presiona el botón de cierre montado en el tablero local de la válvula esférica y remoto va sea que provenga de un tablero central o de el mismo gabinete del controlador.

Para el caso (b) existen variables en el proceso que provocan el mando automático de paro del grupo, este mando de paro puede ser normal o de emergencia, según la variable específica que lo opere.

4.1.2 DESCRIPCION DE LA SECUENCIA DE ARRANQUE DEL AUTOMATE-35.

El arranque ya sea remoto o local, pone en marcha el control de mando de la Válvula Esférica, el controlador da un pulso de 1.5 seg. en la salida 402 tiempo suficiente para accionar el relevador dl.

En cuanto se da el mando de arranque, se activa el temporizador $T_e = 60$ seg., y se pone en marcha el sistema de lubricación (señal de salida 400).

Si $T_e = 60$ seg., se pregunta si hay agua de enfriamiento. Si no hay agua de enfriamiento será condición de bloqueo de arranque, pero si hay agua de enfriamiento, se activa el temporizador $T_o = 30$ seg., que es el tiempo permitido para que desaparezcan condiciones de bloqueo, si existe alguna será condición de bloqueo de arranque.

Si no existe condición de bloqueo, se manda cerrar el contactor (señal de salida 406) y se activa el temporizador $T_{mb} = 10$ seg., que es el tiempo permitido para que cierre el contactor, si el contactor no cierra en este intervalo se señaliza y se manda a parar el sistema de lubricación.

Si el contactor cerró se señaliza y se activa el temporizador $T_1 = 25$ seg., que es el intervalo de tiempo permitido para que alcance el motor el 100 % de velocidad y la presión se shut-off.

Si al término de T_1 , no se alcanza alguna de las dos condiciones, se señaliza y se manda paro de emergencia.

Una vez alcanzada la velocidad del 100 % (señal 205 = 1), el controlador activa el mando de apertura (señal 405 = 1) y espera que alcance la presión de shut-off (señal 206 = 1) y por relevación del Tablero de la Válvula Esférica se lleva a cabo la apertura de la Válvula.

Alcanzada la presión de shut-off, se desbloquea el presostato de la bomba de aceite (señal 401 = 1 y dejando la señal 400 = 1) para que la central de lubricación opere automáticamente en función de la presión de aceite que se tenga en el circuito de lubricación con la bomba de arrastre, se activan los temporizadores $T_2 = 30$ seg., y $T_3 = 90$ seg.

T_2 es el tiempo permitido para que la válvula abra el 30%, en caso contrario se señaliza y se manda paro de emergencia.

T_3 es el tiempo permitido para que la válvula abra al 100%, en caso contrario se señaliza y se manda paro normal.

Si la válvula abre durante los intervalos de tiempo especificados, se señaliza y se da por terminada la secuencia de arranque.

4.1.3 DESCRIPCION DE LA SECUENCIA DE PARO NORMAL DEL AUTOMATE-35.

La secuencia de paro normal se inicia desde el mismo instante en que se detecta una falla o se mande parar voluntariamente.

La secuencia se inicia con el mando de cierre de la Válvula esférica por parte del controlador (señal 403 = 1) se activan los temporizadores T4 = 30 seg. y T5 = 15 seg.

Donde T4 es el tiempo permitido para que la Válvula cierre hasta el 70%.

T5 es el tiempo permitido para que la válvula empiece a cerrar, en caso contrario se conmuta el paro de emergencia.

Si la válvula cerró al 70% en el tiempo permitido, se manda la apertura del contactor (señal 407 = 0) y se activa el temporizador Tmb = 10 seg., T5 = 15 seg. y TL = 5 min., se bloquea el presostato de la bomba de arrastre y entra en operación la central de lubricación.

Tmb es el tiempo permitido para que el interruptor abra, en caso contrario se señaliza.

T5 es el tiempo permitido para que la válvula cierre del 70% al 100%.

Si la válvula cierra al 100% en los intervalos de tiempo especificados, se señala el 100% de cierre.

TL es el tiempo en que opera la bomba P2, desde el momento en que se manda la apertura del contactor, cuando la válvula cerró al 100%. desconecto el contactor y P2 dejó de operar al término de TL, entonces queda completa la secuencia de paro normal.

4.1.4 DESCRIPCION DE SECUENCIA DE PARO DE EMERGENCIA DEL AUTOMATE

La secuencia de paro de emergencia se inicia en el mismo instante en que se detecta falla que nos provoque el mismo.

La secuencia se inicia desconectando el contactor (señal 407 = 0) y mandando el cierre de emergencia de la válvula (señal 404 = 0), se bloquea el presostato de la bomba de arrastre (señal 401 = 0), y se pone en marcha la central de lubricación, se activan los temporizadores Tmb y TL.

4.1.5. DETECCION DE FALLAS.

El programa del Controlador Programable está constituido para dos secciones básicas: una de ellas es la secuencia de control del proceso y la otra parte la constituye un programa desarrollado en enunciados de control denominados " Statements " y por medio de las cuales se habilita la presentación de información a través del CRT.

En el diagrama de control las señales clasificadas de acuerdo a su acción se conectan en forma paralela para activar una señal común que puede ser Bloqueo, Alarma, Paro Normal o Paro de Emergencia. Simultáneamente el programa buscador de fallas detecta las señales activadas y las presenta en el desplegado de la pantalla del usuario, asociando así la acción del programa de control con el estado del proceso.

Tenemos la clasificación funcional de las señales del proceso, haciendo notar lo siguiente:

BLOQUEO: Se considera bloqueo de arranque todas aquellas señales del tipo eléctrico e hidráulicas que no desaparecen con el comportamiento dinámico del proceso al iniciar la secuencia de arranque.

ALARMA: Son todas aquellas señales que indican que las variables del proceso se están saliendo de control.

SEÑALIZACIÓN: Son señales que indican la operación o no operación de elementos del proceso.

PARO NORMAL: Son señales del tipo hidráulico, mecánico o térmicas que al hacerse presentes implican un gran esfuerzo sobre el equipo.

PARO

EMERGENCIA: Son todas aquellas señales del tipo eléctrico que implican la apertura del contactor cuando se presentan.

Por otra parte existen señales con mas de una clasificación funcional y cuya acción depende del estado de operación del proceso.

4.2.0 DESCRIPCION DE LA SECUENCIA DE ARRANQUE DEL GRUPO MOTOR-BOMBA-VALVULA ESFERICA.

El programa implementado esta hecho respetando los criterios aplicados en la primera etapa de puesta en marcha en las Plantas de Bombeo # 2, 3 y 4 .

LOCAL : d 1 b1 (Señales 200 - 201)

MANDO DE ARRANQUE

REMOTO : b 1 (Señal 202)

El arranque remoto ó local pone en marcha el control de mando de la valvula esférica. cada válvula dispone de un grupo de mando electrohidráulico (figuras 4.2 y 4.3) el controlador da un pulso de 1.5 segundos en la señal de salida 402. tiempo suficiente para accionar el relevador d1. accionando todos los contactos señalados asimismo con d1.

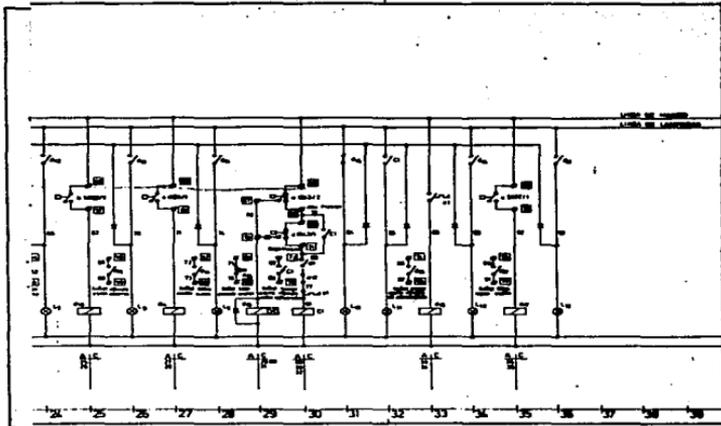
El grupo motobomba 1000/m1000 es arrancado mediante su correspondiente contactor C1 y estará en funcionamiento o se detendrá automáticamente. siguiendo las ordenes del presostato e 1043/1/2. que mantendrá la presión de aceite en el circuito en los limites fijados previamente. (figura 4.3)

Los relés d3 y d7 a través de las terminales 15-16 y 30-31 envían al autómata las informaciones de sello de revisión operado y válvula esférica cerrada respectivamente, necesarias para la puesta en marcha de la bomba CCM-Paris. El sello de revisión no deberá estar operado (Lámpara L1) y la válvula esférica deberá estar cerrada (Lámpara L2). (figura 4.2)

Alcanzada la presión de arranque de la bomba CCM, contra válvula cerrada, el presostato diferencial e 5004 junto a la indicación de velocidad de giro de la bomba CCM proporcionada por el autómata, excita el relé d4, el cual si no hay ordenes de cierre normal o de emergencia (Contactos de los relés d2 y d9 actuados), excita a su vez al relé d5 uno de cuyos contactos actúa sobre la electroválvula s 5020 que deja pasar el aceite de mando a presión hacia el servomotor, efectuándose la apertura de la válvula esférica, señalada por la lámpara LB (b 5000/9).

4.2.1 PARO NORMAL DEL GRUPO MOTOR-BOMBA-VALVULA ESFERICA.

Se efectúa al presionar el pulsador b3, rotulado CERRAR VALVULA. El relé d2 es excitado actuando sus contactos sobre el relé d5, eliminando la orden de apertura sobre la electroválvula s 5020, y a continuación sobre la misma electroválvula que hace descargar el aceite del servomotor al depósito 1080 del grupo de mando, con lo cual la válvula esférica inicia el cierre.



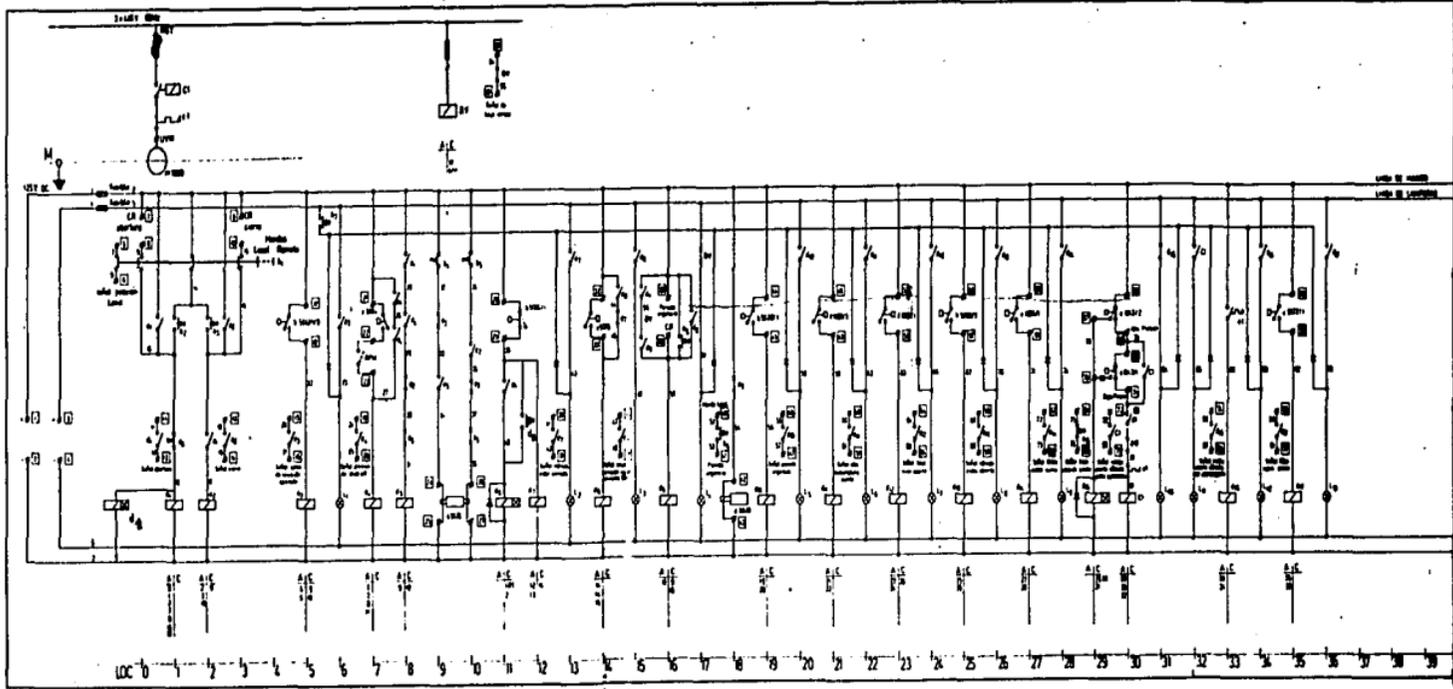
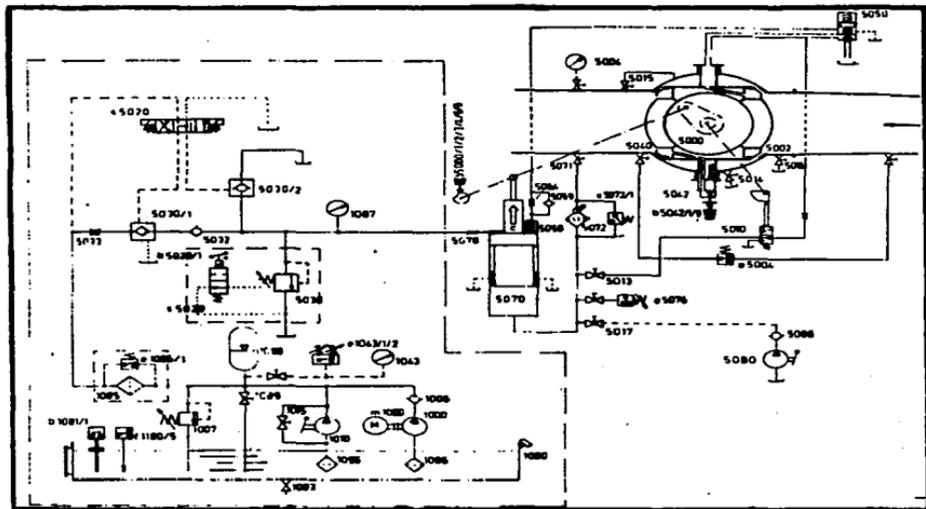


Diagram illustrating the electrical control system for a motor, showing the connection of various components (switches, relays, contactors) to the power source (M) and the motor (M).



. FIGURA 4.3 Esquema de Mando Electrohidraulico de la Válvula Esférica.

Cuando esta llega al 30% de abertura (70 % del cierre), el final de carrera b 5000/2 manda una señal al automata para que este ordene parar la bomba CCM, mientras que la válvula esférica

continúa cerrando hasta la posición cero señalada por los relés d6 (temporizado) y d7 (excitados ambos por b 5000/1). El relé temporizado d6 es utilizado para desconectar todo el sistema eléctrico, que queda así preparado para realizar otra maniobra.

4.2.2 CIERRE DE EMERGENCIA DE LA VALVULA ESFERICA.

Se produce tal tipo de cierre tras la actuación de los siguientes elementos:

- Presostato para vigilancia de la presión del agua de cierre del servomotor, e 5076. La baja de presión que este elemento puede detectar estaría causada bien por un descenso de presión de agua en la tubería de descarga, bien por un atascamiento del filtro de agua 5072. Esta calibrado de 5 a 7 bar por debajo de la presión de servicio de la bomba CCM.

- Relé de vigilancia de tensión (Bajo Voltaje, BV) en la alimentación del motor.

- Pulsador del Tablero de la Válvula Esferica de PARADA DE URGENCIA.

- Final de carrera b 5000/4. Detecta un indeseable cierre lento de la válvula esférica debido a la pérdida paulatina de presión de aceite, bien por avería en el grupo moto-bomba o por fugas de aceite en el circuito superiores al caudal de la bomba m 1000.

Cada uno de estos aparatos influye sobre el relé d7 que es el previsto para accionar la electroválvula de cierre de emergencia

emergencia s 5028. Un final de carrera b 5028/1 indica mediante la lampara L5 tal movimiento.

4.3.0 OPERACION DE LAS PLANTAS DE BOMBEO Nos. 1, 2, 3, 4, 5, 6 y LA PLANTA POTABILIZADORA.

El Sistema Cutzamala esta constituido por dos tramos principales. El primero, por bombeo, va de la PBI hasta la Torre de Oscilación # 5 e incluye las PBs. 2, 3, 4, 5 y 5A, las cuales operan en forma de cascada; esto significa que la variación de un parámetro hidráulico en una de ellas se refleja en las otras (hacia adelante o hacia atrás) que forman parte de dicha cascada . En el segundo tramo el escurrimiento es por gravedad y va desde la Torre de Oscilación # 5 hasta la Ciudad de México y su zona conurbada. (figura 4.4)

En el primer tramo el bombeo se realiza mediante seis plantas de bombeo, cada una forma parte de un modulo que tiene ademas un Tanque o Torre de Sumergencia y una Torre de Oscilación, el primero garantiza la sumergencia de las bombas y el volumen necesario por tiempo de respuesta para arranque y paros, y el segundo para disminuir las sobrepresiones originadas por fenómenos transitorios. Dada la configuración del Sistema Cutzamala las plantas de bombeo 1, 2, 3 y 4 forman un subsistema que funciona en cascada, aun cuando la PBI no siempre forma parte de dicha cascada. Su funcionamiento es de la siguiente forma:

cual también según tenga el nivel en su tanque de sumergencia iniciara el bombeo hacia la torre de Oscilación 4 hasta aquí se ha vencido un desnivel de 980 m. de aquí el agua escurre por gravedad hacia el vaso de Donato Guerra. Por otra parte, si llegara a ocurrir la suspensión del bombeo en alguna de las plantas 2, 3 o 4, se deberá de suspender el bombeo en las otras dos plantas, esto para evitar el derrame de agua o que se quede alguna de las plantas sin agua en el tanque de sumergencia.

4.3.1 VASO Y ESTRUCTURA DONATO GUERRA.

Debido a la situación de las horas pico, en la demanda de energía eléctrica, en el trayecto de bombeo entre la presa Valle de Bravo y la Planta Potabilizadora (PB 2, 3 y 4), se construyeron el Vaso Regulador y la estructura distribuidora Donato Guerra con objeto de almacenar, en el primero, una cantidad del gasto bombeado para alimentar a la Planta Potabilizadora durante las 4 horas pico de la demanda eléctrica, en que las plantas 2, 3 y 4 quedan fuera de servicio. Por lo tanto, la forma óptima de operar las plantas indicadas es la de satisfacer la demanda del gasto. De ahí que resulta necesario llenar el Vaso Donato Guerra con el excedente, para después alimentar la Planta Potabilizadora con el gasto procedente del vaso.

4.3.2 PLANTA DE BOMBEO # 6.

Esta planta permite la regulacion del gasto que maneja la Planta Potabilizadora. al captar las aguas del Rio San Jose Malacatepec mediante la presa derivadora Chilesdo. lo que ademas, ahorra los costos de operacion, ya que evita que las aguas del rio bajen hasta la presa Colorines.

Mediante esta planta y la presa de Villa Victoria. se regula el gasto a la Planta Potabilizadora en caso de contingencia en alguna de las plantas correspondientes a la cascada formada por las PBs. 1, 2, 3 y 4.

4.3.3 PLANTA POTABILIZADORA " LOS BERROS ".

La Planta Potabilizadora " Los Berros " que forma parte del Sistema Cutzamala. recibe los caudales captados por este y permite que el agua suministrada a la Zona Metropolitana de la Ciudad de Mexico. sea de alta calidad.

El Agua proveniente de la presa de Villa Victoria llega a través del canal Martinez de Meza. pasa a una caja de control. por una caja de transición y llega al Tanque de Recepcion de Aguas Crudas. donde convergen también las aguas de la Presa Valle de Bravo y de la Presa Chilesdo hasta este momento. la estructura del tanque es de concreto formado por dos cámaras. donde se mezclan las aguas crudas homogeneizandose su calidad.

Del tanque de recepción de aguas crudas. las aguas crudas se conducen a través de los Canales Parshall. donde se mide el

caudal y se inicia el proceso de potabilización al adicionar sulfato de aluminio como coagulante y cloro para controlar el desarrollo de algas en las siguientes etapas del mismo.

Una vez que el agua ha pasado por los medidores parshall, se conduce a través de una tubería de 2.5 metros de diámetro hasta los seis módulos de potabilización que tienen capacidad para tratar 4 m³/s. cada uno, continuándose el proceso en la sección de Floculación, donde el agua se agita mediante paletas de eje horizontal accionadas por motores de 20 y 10 H.P., para alcanzar velocidades de 70 y 30 R.P.M. a medida que el floculo se hace mas pesado.

Al terminar la floculación, el agua pasa a la sección de Sedimentación integrada por 4 tanques con capacidad de 1 m³/s. cada uno, su estructura es de concreto reforzado y reciben un volumen total de 17590 metros cúbicos, están equipados con placas de asbesto-cemento separadas 5 centímetros una de otra e inclinadas 60 grados, estas propician la precipitación de los grumos en suspensión, para que se depositen en forma de lodo en el fondo de los tanques, de donde se extrae mediante un succionador llamado " Clarivac " suspendido de un flotador que recorre los tanques longitudinalmente y lo descarga a una canal lateral para finalmente llevarlo a la planta de tratamiento de lodos.

Después de la sedimentación de lodos, el agua se conduce al área de Filtración que consiste en ocho tanques con filtros de

tasa constantes y capacidad de 500 litros por segundo cada uno, conformados por lechos de grava y arena silica, con un fondo falso de losas con boquillas microrranuradas, por las que pasa el agua.

Posteriormente, a esta agua filtrada se le adiciona cal para neutralizar la corrosión propiciada por los coagulantes inicialmente suministrados.

Los lechos de grava y arena silica se lavan periódicamente a través de una consola que acciona a control remoto la inyección de aire a la entrada y salida del agua utilizada para lavarlos.

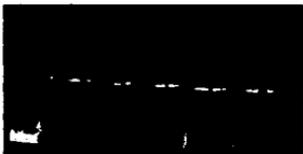
Concluida la Potabilización, el agua se conduce al Tanque de Recepción de Aguas Claras, con estructura de concreto reforzado

dividida en dos cámaras y con capacidad de 48,000 m³, diseñado -- para funcionar como Tanque de Emergencia de la Planta de Bombeo # 5, de donde se envía el agua -- potabilizada hasta la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

La Unidad de Laboratorio (figura- 4.4) cuenta con los equipos y materiales necesarios para realizar

FIGURA 4.4 Unidad de Laboratorio

los análisis físico-químicos y bacteriológicos que permiten determinar la calidad del agua que se entrega.



El Agua desechada del lavado de filtros, así como los lodos extraídos de los sedimentadores, se conducen por gravedad a los concentradores, agregándoles anticipadamente polímero para acelerar su compactación; de aquí, el lodo se bombea a una presa para almacenarlo y el agua decantada se envía por bombeo a la entrada de la Planta Potabilizadora. Con estas acciones se coadyuva a la conservación del ecosistema y se aprovechan al máximo los caudales captados para potabilizarlos.

CAPITULO NUMERO 5

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE LAS PLANTAS DE BOMBEO Y DE LA PLANTA POTABILIZADORA.

5.01 MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DE LAS PLANTAS DE BOMBEO EN GENERAL.

En cada Planta de Bombeo se tiene un proceso de operación continuo las 24 horas del día durante todo el año, incluyendo sábados y domingos y días festivos, es por eso que se ha implementado un programa de mantenimiento de rutina ó de emergencia que se requiera en cualquier momento y adicionalmente mantenimiento programado en forma continua.

Los trabajos de mantenimiento por lo general se llevan a cabo los sábados y domingos, y adicionalmente durante el transcurso de la semana, según se puedan programar las libranzas. Para esto hay brigadas de personal mecánico y eléctrico, encargado de dichos trabajos, bajo la supervisión de los ingenieros de mantenimiento.

El programa de mantenimiento comprende básicamente los siguientes equipos de las plantas de bombeo:

- 1.- Motores 13.8 Kv, de 5000 a 22000 H.P.
- 2.- Bombas centrifugas de 4.2 m³/seg.
- 3.- Válvulas Esféricas DN 700 y DN 1000.
- 4.- Valvulas de Mariposa.

- 5.- Sistema de Enfriamiento.
- 6.- Sistema de Lubricación.
- 7.- Sistemas de Cargadores y Bancos de Baterías.
- 8.- Tableros Dúplex de Control y Protección de la Subestación de 115 Kv.
- 9.- Tableros T.M.C.L. y T.V.E.
- 10.- Tablero Blindado de 13.8 Kv.
- 11.- Tableros Auxiliares 440 V, 220 V y 127 V de C.A. y 125 V y 48 V de C.D..
- 12.- Controladores Programables.
- 13.- Equipos de la Subestación Eléctrica de 115 Kv.

5.02 EQUIPO EMPLEADO EN LOS TRABAJOS DE MANTENIMIENTO.

Para dar el mantenimiento preventivo a los equipos se cuenta con los siguientes aparatos.

- a) Fuente de Poder de 300/600 amperes, regulado a pasos de 6 amperes.
- b) Equipo de Pruebas de Relevadores MULTIAMP. de rango de 5 a 200 amperes y medición en milisegundos.
- c) Equipo de Medición de Resistencia de Aislamiento, motorizado, MEGGER de 5000 Volts, 20000 Megohms y factor 5.
- d) Medidor de Resistencia de Contactos en micro-ohms DUCTER.
- e) Medidor de Ciclos de Apertura y Cierre de Contactos para los Interruptores.
- f) Equipo de Alto Potencial de 69. Kv.

- g) Medidor de Factor de Potencia de 5000 Volts. (figura 5.1)
- h) Medidor de Relación de Transformación T.T.R. (figura 5.2)
- i) Medidor de Resistencias. PUENTE DE WHEATSTONE.
- j) Voltmetros, Ampermetros, Analizadores, Multímetros, etc.
- k) Soldadoras de 400 amperes y Equipo de Oxi-acetileno.

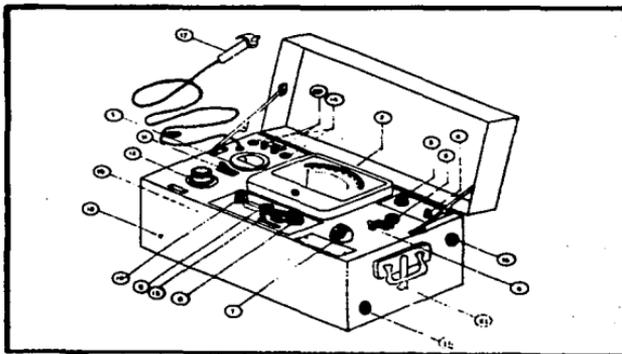
5.03 TRABAJOS DE MANTENIMIENTO DE LA SUBESTACION ELECTRICA.

A continuación enumeraremos las pruebas que se realizan a los distintos equipos que se localizan en la Subestación Eléctrica de cada Planta de Bombeo.

INTERRUPTORES DE POTENCIA de 115 Kv, 1250 amperes, 3 fases, 60 Hz se les realizan las siguientes pruebas:

- a) Pruebas de Resistencia de Aislamiento en abierto y cerrado, esto es con el MEGGER .
- b) Pruebas de Factor de Potencia.
- c) Pruebas de Collar Caliente a boquillas.
- d) Pruebas de Velocidad de Apertura y Cierre de contactos.
- e) Pruebas de Resistencia de Contactos con el DUCTER.
- f) Verificación de la señalización y de los circuitos de control.
- g) Determinación de las fugas de aire de los compresores.
- h) Verificación de la presión y fugas del gas SF-6.
- i) Verificación y Calibración de los Relevadores de Protección.

j) Verificación de la operación del mando local y remoto.



- | | |
|--|---|
| 1.- Voltmetro. | 13.- Switch selector. |
| 2.- Indicador de mVA y mW. | 14.- Focos piloto. |
| 3.- Perilla para ajuste de medición. | 15.- Entrada para cable de entrada de alta tensión. |
| 4.- L.V. switch (ground, guard, y ust). | 16.- Entrada para cable de prueba, guarda o bajo voltaje. |
| 5.- Perilla de ajuste de polaridad. | 17.- Switch de seguridad |
| 6.- Rev. switch para comprobación de lecturas. | 18.- Entrada para conectar switch de seguridad. |
| 7.- Ajuste de miliwats. | |
| 8.- Perilla para rangos de mW. | |
| 9.- Perilla para rangos de mVA. | |
| 10.- Perilla para rangos de medida. | |
| 11.- Switch de encendido. | |
| 12.- Perilla para rangos de voltaje. | |
| 19.- Clavija para alimentación de C.A. | |
| 20.- Fusibles de protección. | |
| 21.- Punto de conexión a tierra del aparato. | |

FIGURA 5.1 Probador de Factor de Potencia tipo MEU 2500 V y sus partes.

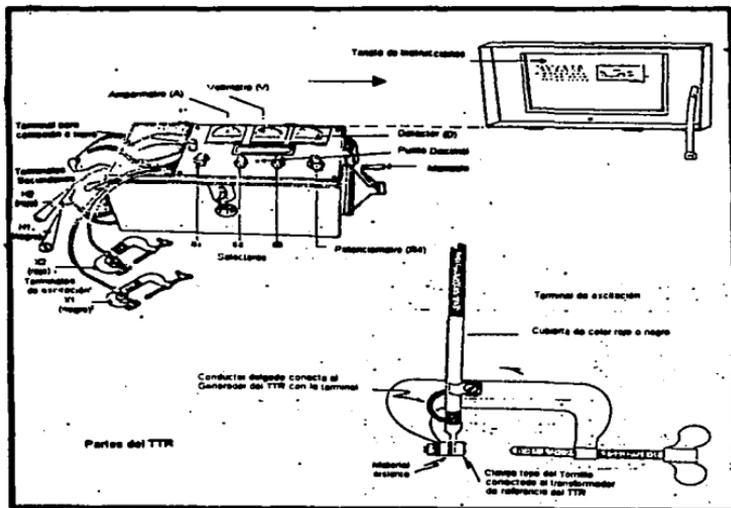


FIGURA 5.2 El T.T.R. y sus partes.

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y DE POTENCIAL de 115 Kv.

a) Prueba de Resistencia de Aislamiento .

b) Pruebas de Relación con equipo de puentes de cargas de 600 amperes para los transformadores de corriente y TTR para los transformadores de potencial.

c) Limpieza de las boquillas.

TRANSFORMADORES DE POTENCIA de 115000/13800 Volts, 3 fases, 60 Hz. 37500/50000 Kva.

a) Pruebas de resistencia de aislamiento en alta y baja tensión.

b) Pruebas de factor de potencia del aislamiento de alta y baja tensión, con el medidor de factor de potencia.

c) Pruebas de relación de transformación con el T.T.R.

d) Pruebas de corriente de excitación en 3 puntos y por fase con el medidor de factor de potencia.

e) Pruebas de collar caliente a las boquillas de alta y baja tensión.

f) Pruebas de factor de potencia, rigidez dieléctrica y análisis químicos del aceite aislante.

i) Verificación y corrección de las fugas de aceite.

TABLERO TIPO DUPLEX DE CONTROL Y PROTECCION de la Subestación Eléctrica de 115 Kv.

a) Revisión del estado de los cables de fuerza y control, verificación y prueba de continuidad de los circuitos de control, protección y medición del tablero.

b) Limpieza interior y exterior de los relevadores de protección así como pruebas de verificación y calibración de 3

puntos de operación de las curvas de funcionamiento de los mismos.

c) Pruebas de operación de los relevadores auxiliares, de los conmutadores, etc.

d) Inyección de corrientes primarias desde las terminales de los transformadores de corriente de 115 Kv. para probar los esquemas de operación y de medición, y protecciones de los interruptores de 115 Kv.

e) Prueba de operación de todas las alarmas.

5.04 TRABAJOS DE MANTENIMIENTO QUE SE REALIZAN EN LA CASA DE MAQUINAS.

Los Trabajos de mantenimiento que se realizan dentro de la casa de maquinas, son para el equipo instalado y se describen a continuación.

TABLERO BLINDADO de 13.8 Kv, 3000 amperes. (figura 5.3)

a) Verificación y prueba de continuidad de los circuitos de control, protección y medición del tablero.

b) Limpieza y revisión de los cuadros de alarmas.

c) Limpieza interior y exterior, pruebas de verificación y calibración de 3 puntos de operación de las curvas de funcionamiento y calibración de disparo de los relevadores de protección.

d) Prueba de operación de cada una de las alarmas.

e) Revisión del mecanismo de barreras protectoras de entrelaces mecanismos y switches de celda.

f) Prueba de resistencia de aislamiento a los buses.

INTERRUPTORES 13.8 Kv. 1200 y 3000 amperes del Tablero Blindado. (figura 5.4)

a) Desensamble de las barreras de protección y desconexión de las cámaras de arqueo del interruptor.

b) Revisión de contactos principales fijos y móviles.



FIGURA 5.3 Tablero Blindado de 13.8 KV, 3000 Amperes de la Planta de Bombeo # 2.

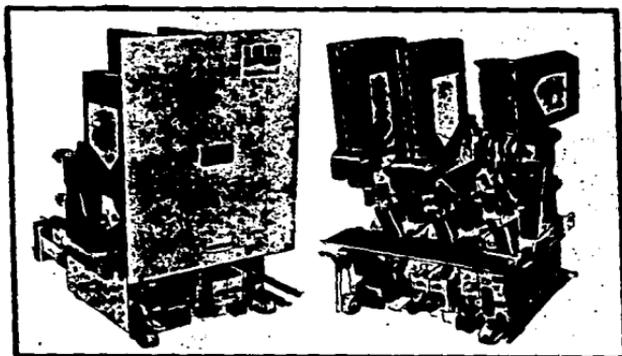


FIGURA 5.4 Interruptor en aire tipo 50-DHEP.

c) Verificación y ajuste de la simultaneidad de cierre, penetración, ajuste de brío de dedos de los contactos móviles y estacionarios del interruptor.

d) Verificación del funcionamiento del mecanismo de energía almacenada y de los tubos de soplo para la extinción del arco en los tres polos.

e) Medición del tiempo de cierre y apertura en ciclos de los contactos principales.

f) Prueba de resistencia de contactos.

g) Reacondicionamiento y secado de las cámaras de arqueo.

h) Pruebas de resistencia de aislamiento.

TABLERO DE MANDO Y CONTROL LOCAL T.M.C.L.

En cada uno de los tableros se efectúan los siguientes trabajos.

a) Verificación y prueba de continuidad de los circuitos de control, protección y medición del tablero.

b) Desconectar, desmontar del tablero y desensamblar 40 relevadores y contactores por cada gabinete. Limpiar contactos fijos y móviles, núcleo y bobinas. Ensamblar los relevadores y efectuar pruebas de resistividad, dieléctricas y operacionales. Montar y conectar en el tablero nuevamente.

c) Limpieza, revisión y pruebas de la caja de señalización, del gabinete de control BENTLY-NEVADA, de los indicadores de medidas tipo estático SCHLUMBERGER y de los 18 elementos estáticos de dos umbrales (MODUMATS) , incluyendo los transductores.

d) Revisión y prueba de los indicadores de:

- 1.- Presión de succión y descarga de la bomba.
- 2.- Temperatura de agua de enfriamiento del motor.
- 3.- Temperatura de agua de enfriamiento del aceite.
- 4.- Presiones del aceite de lubricación.
- 5.- Relevadores de circulación del aceite.

e) Verificación de las interconexiones de este tablero con el Controlador Programable, con el Tablero de Válvula Esférica.

con el Tablero Blindado de 13.8 Kv y con los instrumentos del equipo.

TABLERO DE LA VALVULA ESFERICA T.V.E.

a) Verificación y prueba de continuidad de los circuitos de control, protección y medición del tablero.

b) Desconectar, desmontar del tablero y desensamblar 20 relevadores y 3 electroválvulas. Limpiar contactos fijos y móviles, núcleo y bobinas, así como las agujas y elementos de las electroválvulas. Ensamblar y efectuar pruebas de resistividad, dieléctricas y operacionales, calibrar, montar en el tablero y conectar.

c) Limpieza, revisión, pruebas y ajustes de los siguientes elementos:

06 Presostatos diferenciales

12 Válvulas reguladoras, de retención, normales, etc.

04 Termostatos con sus transductores.

2 Equipos de filtros.

2 Bombas de aceite.

2 Flotadores.

1 Motor de 10 H.P.

Manómetros, indicadores, etc.

1 SERVOMOTOR con sus elementos.

1 Sistema de engranes para la carrera de la Válvula Esférica.

d) Pruebas y revisión del aceite del tablero.

e) Verificación de las interconexiones de este tablero con los demás tableros y con los instrumentos del equipo.

MOTORES ELECTRICOS PRINCIPALES 16500 Kw. 13200 V. 60 Hz.

PRUEBAS QUE SE REALIZAN.

1.- Medición de Resistencia de Aislamiento, esta se realiza entre fase y tierra.

2.- Medición y determinación del índice de polarización.

3.- Medición de Aislamiento.

Mantenimiento de los Intercambiadores de Calor. Se realizaran labores de mantenimiento de los intercambiadores según la calidad del agua de enfriamiento.

En caso de que el motor no pase estas pruebas se procedera a un mantenimiento mayor, desarmando el motor siguiendo estos pasos.

a) Desacoplar el motor de la bomba y transportar el motor hacia el área de desmontaje.

b) Se desarman los detectores de los cojinetes, las dos cubiertas superiores de los cojinetes y las mitades superiores de los mismos, los anillos de engrase y los sellos de estanqueidad de las bridas del eje, las mitad inferior de los cojinetes, las bridas, se desarman los ductos de aire.

c) Se extrae el rotor. (Figura 5.5)

d) Se iza el rotor y se almacena hasta el armado.

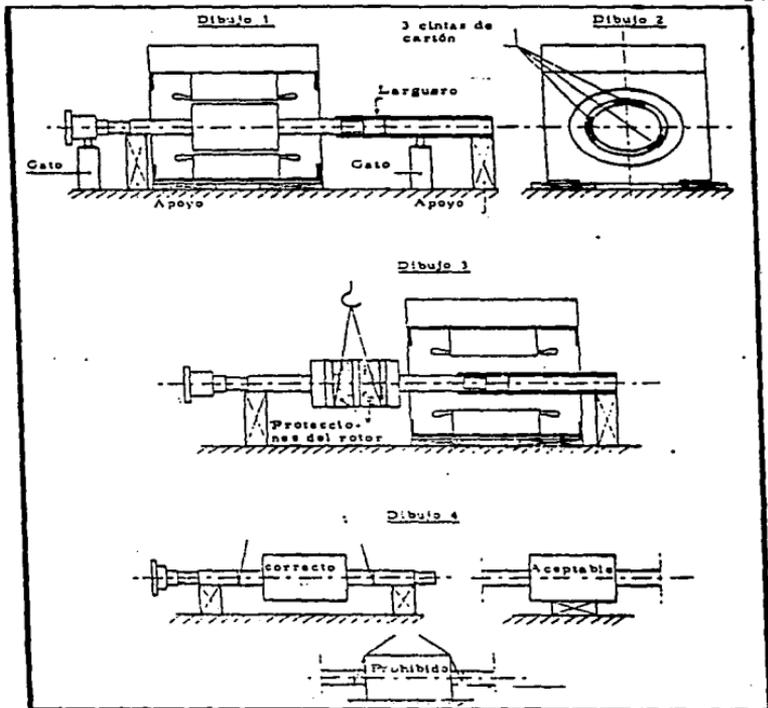


FIGURA 5.5 Pasos que se siguen para la extracción del rotor del motor.

e) Desmontaje y armado de los intercambiadores y cubierta.

DEVANADO.- Se operara sobre el devanado en caso de absoluta necesidad. Los defectos que justifican operación se registran despues de tomar las medidas de aislamiento, o después de las inspecciones sistematicas realizadas un año de la puesta en servicio y durante cada tres años de servicio.

BOMBAS CENTRIFUGAS tipo HPDM 750-945 d/37. 4 m3/s.

Descripción del mantenimiento:

a) Se desmonta la bomba de aceite y su acoplamiento, se hace una revisión de la misma.

b) Se aflojan las fijaciones entre la tapa del cojinete lado cople y lado libre, se desmonta el conjunto compuesto de tapa de cojinete, junta, anillo de bloqueo y anillo flotante.

c) Se desmontan las tapas de los prensaestopas, lado cople y lado libre.

d) Se retira tornilleria y cuerpo superior de la bomba con su junta en dos partes.

e) Se retira la tapa y parte superior del cojinete del lado motor y la tapa con el medio anillo de bloqueo y el medio cojinete del lado libre, también se retira el cojinete de empuje axial.

f) Se levanta la flecha e impulsor y se quitan los anillos de estanqueidad, se deposita la flecha con el impulsor completo fuera de la bomba para su desarme total.

o) Se desarma la flecha y el impulsor completamente.

n) Se inspecciona cada una de las piezas sujetas a desgaste, se toman medidas y se comparan con las tolerancias máximas admisibles, se reemplazan las que no cumplan las especificaciones. Se reemplazan totalmente las juntas toricas de neopreno.

l) Se arma el impulsor y se deja centrado.

j) Se coloca el conjunto flecha-impulsor en el cuerpo de la bomba y se centra la flecha.

k) Se coloca el cojinete axial con su fijación para tomar lectura del juego axial y lecturas de alineamiento del motor-bomba. Se empaqueta la bomba.

l) Se coloca la bomba auxiliar de lubricación y tubería correspondiente, se acopla, engrasa y se coloca la guarda.

m) Se presuriza la bomba y se ajusta la empaquetadura, quedando lista la bomba para su operación.

LA VALVULA ESFERICA DN 1000 y DN 700.

a) Revisión y limpieza de electroválvulas de premando.

b) Revisión y limpieza de válvulas de mando piloteadas.

c) Revisión y limpieza de electroválvulas de cierre de emergencia.

d) Limpieza de filtros de aceite, bombas principal y manual y de las válvulas de seguridad.

e) Chequeo de la vejiga del acumulador y verificación del contenido de nitrógeno.

f) Hermeticidad del sistema hidráulico y pruebas.

g) Limpieza del tanque de aceite y filtrado del aceite.

SERVOMOTOR.

- Revisión mecánica e hidráulica de empaques, camisa y pistón, válvulas, filtros de agua y líneas de aceite y agua, verificación de fugas de agua y aceite.

CENTRAL DE LUBRICACION.

a) Desarmar y revisar el intercambiador de calor de la central, limpieza y pruebas del mismo.

b) Se destapa la central y se saca el aceite; limpieza de sedimentos y filtros de succión; prueba de los diferentes sensores, manómetros, termómetros, presostatos e indicadores de nivel; verificación del estado del aceite.

c) Revisión de las resistencias de calefacción.

d) Desarmado y limpieza de la bomba eléctrica; revisión del motor de C.D.; armado del grupo motor-bomba y prueba de estanqueidad.

e) Limpieza de filtros de circulación, mirillas de inspección de circulación, reguladores de gasto y tubería de circulación de aceite.

f) Armado de la tapa de la central de lubricación y colocación de los sensores desacoplados.

g) Revisión de la bomba de arrastre.

5.05 MANTENIMIENTO A LA PLANTA POTABILIZADORA.

El Mantenimiento en la Planta Potabilizadora comienza en la obra de toma del Canal Martínez de Meza con la revisión y engrase de los vástagos de las compuertas, limpieza y pintura de las rejillas.

TANQUE DE RECEPCION DE AGUAS CRUDAS.

Revisión y engrase de los vástagos de las compuertas.

Limpieza de las camaras.

Purga de los tanques.

Reparación y ajuste de las compuertas.

CANALES PARSHALL.

Limpieza de mallas y aplicación de pintura antioxidante.

Revisión de los difusores de cloro.

AREA DE DESINFECCION.

Revisión del sistema de alimentación eléctrica y cableado.

Verificación de las válvulas de los tanques de cloro.

Revisión de cloradores.

Limpieza de serpentines de evaporadores y sus controles eléctricos.

Revisión de equipos de bombeo de avuda y limpieza de rotametros.

Mantenimiento a tablero de control y a las consolas de mando.

AREA DE DOSIFICACION DE REACTIVOS.

Revisión de las tolvas de dilución.

Revisión de la torre de dosificación, de bombas, motores y agitadores.

Revisión del sistema de alimentación eléctrica, cableado y transformador.

Mantenimiento al generador de emergencia y revisión de equipos de bombeo.

AREA DE FLOCULACION.

Revisión de catarinas, cadenas de transmisión y engrase de las mismas.

Mantenimiento a motores eléctricos y reductores de velocidad.

Engrase de los vástaqos de las compuertas.

Cambio de cadenas y bandas de transmisión.

Rehabilitación de agitadores de los módulos.

Limpieza de los tanques.

AREA DE SEDIMENTACION.

Limpieza de los tanques sedimentadores.

Revisión de los extractores de lodos (Clarivac).

Engrase de los sifones flotantes deslizables.

Cambio de placas y separadores y nivelación de las canaletas.

AREA DE FILTRACION.

Engrase de los vástagos de las compuertas.

Verificación del funcionamiento de los actuadores y de los sopladores.

Rastrillero del medio filtrante.

Revisión y calibración de las consolas de operación de los filtros. revisión del falso fondo y boquillas. reposición de arena sílica.

Limpieza y/o cambio de espumas de los filtros de los módulos.

AREA DE TRATAMIENTO DE LODOS.

Esta área se divide a su vez en tres secciones y se les da mantenimiento como sigue:

Espesadores de Lodos: Revisión de motores, de equipos de bombeo, de bombas de polielectrolito, de los motores de

recolección de lodos y de los mecanismos recolectores de lodos.
Limpieza general de los espesadores.

Carcamo de Bombeo de Lodos.

Aquí se realiza la limpieza de las cámaras.

Revisión de los motores de las bombas, de los equipos de bombeo y del sistema de alimentación eléctrica.

Almacenamiento de Lodos.

Limpieza del canal influente.

Revisión de los equipos de bombeo, corte de maleza y pintura a la estación de bombeo.

Como se dijo anteriormente este plan de trabajo de mantenimiento se realiza durante todo el año en todas y cada una de las áreas que forman el Sistema Cutzamala, todo esto para un mejor funcionamiento del mismo y así evitar la suspensión del bombeo de agua a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

5.06 DESCRIPCIÓN DE ALGUNAS DE LAS PRUEBAS MÁS IMPORTANTES QUE SE REALIZAN A ALGUNOS DE LOS EQUIPOS.

5.06.1 PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO AL TRANSFORMADOR DE POTENCIA. (Aquí se utiliza el Megger)

La resistencia de aislamiento se debe medir:

- 1) Entre devanados de alta y baja tensión.
- 2) Entre el devanado de alta tensión y baja tensión + tierra.
- 3) Entre el devanado de baja tensión y alta tensión + tierra.

DESARROLLO DE LA PRUEBA:

- Verificar que el tanque del transformador esté conectado a tierra.
- Identificar las terminales de alta tensión del transformador y por medio de un puente conectelas en corto circuito, lo mismo que las terminales de baja tensión.
- Conectar el Megger a las terminales de alta y baja tensión según la figura 5.6 (A).
- Excite el Megger y tome la lectura.
- Conecte el Megger a las terminales de alta, baja tensión y tierra, según la figura 5.6 (B).
- Excite el Megger y tome la lectura.
- Conecte el Megger a las terminales de baja, alta tensión y tierra, según la figura 5.6 (C).
- ... Excite el Megger y tome la lectura.

NOTA.- Cuando se utiliza el Megger nunca debe hacerse con el transformador bajo vacío o sin aceite, pues con la tensión

aplicada por el Megger se pueden tener chispas o un arco directo a tierra.

Una vez hechas las mediciones, se desconecta el Megger y se procede a medir la temperatura del transformador con un termómetro de alcohol que se introduce en el aceite por la parte superior del mismo.

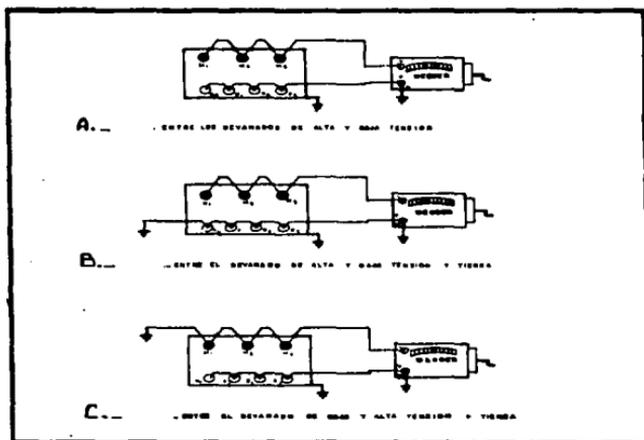


FIGURA 5.6 Diagrama de conexiones para prueba de resistencia de aislamiento a un transformador de dos devanados.

Esto se hace así, porque de acuerdo a las normas es válido considerar que la temperatura de los aislamientos es aproximadamente igual a la temperatura promedio del aceite del transformador.

Existen varios criterios para calificar el valor de resistencia de aislamientos como bueno o malo. Cada fabricante tiene ciertos valores que justifica como buenos, por ejemplo en la tabla 1 tenemos los valores que normalmente se consideran aceptables de acuerdo a la clase de aislamiento en KV para los cuales está diseñado un aparato.

RESISTENCIA MINIMA DE AISLAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR EN ACEITE A 20 GRADOS CENTIGRADOS VALOR A UN MINUTO. MEGGER DE 1000 VOLTS.

CLASE DE AISLAMIENTO		CLASE DE AISLAMIENTO	
KV	MEGADHMS	KV	MEGADHMS
1.2	32	92	2480
2.5	68	115	3100
5.0	135	138	3720
8.7	230	161	4350
15.0	410	196	5300
25.0	670	230	6200
34.5	930	287	7750
46.0	1000	345	9300
69.0	1240		

T A B L A 1

Otra manera de saber si el aislamiento está en malas o buenas condiciones es mediante el índice de ABSORCIÓN, que nos indica el grado de absorción de humedad que presenta el aislamiento.

Cuando se emplea un Megger manual las lecturas se toman a los 15 segundos y al minuto de estarlo operando (60 seg/ 15 seg) y cuando se emplea un Megger motorizado, las lecturas se toman al minuto y a los 10 minutos (10 min./ 1 min.). El valor se obtiene dividiendo la última lectura entre la primera.

Un índice de absorción mayor de 2 nos indica que el aislamiento es bueno y ha absorbido poca humedad. Un valor entre 1 y 2 es más o menos aceptable, sin embargo un valor menor que la unidad nos indica que el aparato presenta trastornos y que sería mejor que se procesará el aparato para aumentar la resistencia del aislamiento y reducir la humedad.

5.06.2 PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA DE LOS DEVANADOS DE UN TRANSFORMADOR. (Aqui utilizamos el equipo MEU 2500).

El probador de factor de potencia de la marca Doble Engineering tipo MEU-2500 V es un instrumento de C.A., diseñado para la prueba de aislamiento en el campo, a un potencial de prueba de 2500 volts, debe conectarse a una fuente de 110 v. 60 CPS.

El equipo de prueba tiene un rango de 100.000 mVA (40 miliamperes) a 2500 V., y es adecuado para la prueba de

boquillas, aisladores, mufas, interruptores, apartarrayos, aceite aislante, transformadores y cables cuya longitud no sea mayor de 100 metros.

Con este probador se obtienen lecturas de milivoltamperes y milliwatts, con las cuales basta únicamente dividirlos para obtener el factor de potencia correspondiente

mW = milliwatts

Factor de Potencia = $(mW/mVA) \times 100$ mVA = milivoltamperes

MANEJO DEL MEU-2500:

Para ejecutar la prueba de factor de potencia con el MEU-2500, primeramente deberá conectarsele sus puntas de prueba o terminales: la terminal de alta tensión, la terminal de tierra, que debiera de aterrizzarse firmemente y por último el cable de alimentación al equipo probador. Despues de esto se conectan las terminales de prueba al equipo bajo prueba. El gancho de la terminal de alta tensión al devanado por probar y la terminal de baja tensión al devanado por aterrizar o proteger (guard).

Deberán verificarse antes de proceder a efectuar la prueba que la perilla de control de tensión este en cero, el selector de rango en la escala mayor, el selector de prueba en la posición check, los selectores de mW y mVA en su máximo valor, el selector de baja tensión (LVS) en la posición "ground" (tierra) y el interruptor reversible en su posición dentro (on).

Una vez verificado lo anterior, se procede a energizar el equipo bajo prueba, para lo cual se accionará el relevador de control, al hacer esto, el piloto verde sobre el p nel debe apagarse y encender el piloto rojo, si esto no sucede, la polaridad del equipo esta invertida y bastará para corregirla, dejar de operar el relevador de control e invertir la clavija de la fuente de alimentación. Hecho esto, se inicia de nuevo la prueba operando el relevador de control y al instante deberá encender la lámpara roja. Inmediatamente después proceda a energizar el equipo bajo prueba gradualmente por medio de la perilla de control de tensión hasta el valor requerido. (el aparato proporciona un valor máximo de 2.5 KV).

Alcanzado el valor de voltaje requerido ajuste la escala del medidor mVA y mW a plena escala (100 divisiones) por medio de la perilla de ajuste.

El selector se lleva a la posición mVA y se selecciona el rango adecuado para poder leer una lectura clara, esta lectura deberá comprobarse con el interruptor reversible (Rev.switch) en ambas posiciones. Si la lectura obtenida, al cambiar de posición el interruptor reversible, se le observa una diferencia de valores se debe a la exposición del aparato a una interferencia electrostática debido a la cercanía del mismo a líneas energizadas, por lo cual se hace necesario obtener los dos valores de la lectura, sumarlos y dividirlos entre dos, con lo cual quedará establecido el valor de los mVA.

Hecho lo anterior el selector se pasa a la posición mW, el reostato de ajuste se gira en la dirección que produzca el mínimo valor. cuando se establece se verifica su polaridad con la perilla (polarity) con lo cual al girar ésta lentamente en el sentido de las manecillas del reloj, se deberá fijar la atención, hacia donde tiende a desviarse la indicación de los mW., si ésta sucede hacia la izquierda, la lectura obtenida se considerará positiva. Si la desviación de la aguja es hacia la derecha, la lectura se considerará negativa.

Deberá registrarse la lectura obtenida con su signo, inmediatamente después cambie el interruptor reversible a su segunda posición y ajuste de nuevo la mínima lectura, una vez establecida verifique su polaridad. Si las dos lecturas obtenidas son positivas, súmelas y divídalas entre dos y ésta será la lectura de mW. Si de lo contrario, una lectura es positiva y la otra negativa, haga la sustracción y divida el valor obtenido entre dos y esa será la lectura que registrará en su hoja de pruebas. Con esto queda terminada esta medición debiendo regresar todos los controles a su posición original.

El selector de baja tensión "LVS" que se encuentra sobre el panel del probador, tiene la ventaja por cuestiones de operación de servir como: Ground (aterrizar), Guard (proteger) y UST (prueba de no-tierra); este último término se aplica para medir el aislamiento entre dos devanados de un transformador.

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

79

El uso del "LVS" abrevia el tiempo necesario para simplificar ciertas pruebas de rutina, como es el caso del procedimiento de pruebas del factor de potencia a los devanados de un transformador como se describe a continuación.

DESARROLLO DE LA PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA A LOS DEVANADOS DE UN TRANSFORMADOR.

El aislamiento que interviene en un transformador de dos devanados, se muestra en la figura 5.7, donde se representa el aislamiento entre alto voltaje y tierra por Ch, entre bajo voltaje y tierra por Cl y el aislamiento entre alto y bajo voltaje por Ch1. El transformador para esta prueba debe cumplir con las siguientes condiciones.

- 1.- Aislar el transformador de la parte viva de la barra.
- 2.- Desconectar los neutros de cada devanado de tierra.
- 3.- Con todos los devanados en corto circuito.
- 4.- Desconectar todas las terminales externas de las boquillas.
- 5.- Conectar a tierra el tanque del transformador.

Se efectúan las siguientes pruebas:

PRUEBA	DEVANADO ENERGIZADO	DEVANADO ATERRIZADO	DEVANADO A GUARDA	PARA MEDIR
1	Alta	Baja	- - - -	
2	Alta	- - -	Baja	C h
3	Baja	Alta	- - - -	
4	Baja	- - -	Alta	C l

Prueba 1 menos Prueba 2 C h1 .

Prueba 3 menos Prueba 4 &

& Este valor de mVA y mW debe compararse con el obtenido para C h1.

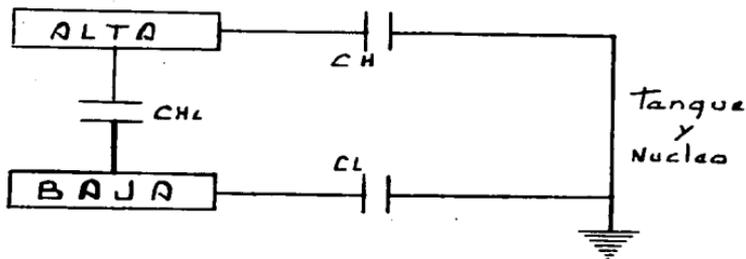


FIGURA 5.7 Aislamiento que interviene en un transformador de dos devanados.

PROCEDIMIENTO:

PRUEBA 2.- Energize con 2.5 KV el lado de alta tensión y conecte el cable de bajo voltaje al lado de baja tensión.

Ponga el "LVS" en la posición "Guard" y tome las lecturas de mVA y mW Ante la temperatura.

El aislamiento probado es C h.

PRUEBA 4.- Energize con 2.5 KV el lado de baja tensión y conecte el cable de bajo voltaje al lado de alta tensión.

Ponga el "LVS" en la posición "Guard" y tome las lecturas de mVA y mW anote la temperatura.

El aislamiento probado es C 1.

Para probar el aislamiento C h1 se procede de la siguiente manera:

Energize con 2.5 KV el lado de alta tensión y conecte el cable de bajo voltaje al lado de baja tensión.

Ponga el "LVS" en la posición "UST" (prueba no-tierra) y tome las lecturas de mVA y mW. Anote la temperatura.

Un valor en % del factor de potencia normal en transformadores con aislamiento clase "A" y llenos con aceite es aproximadamente entre 1.0 y 2.0 a 20 grados centígrados. Para transformadores nuevos deberá considerarse un valor de 0.5 %.

Cuando el factor de potencia es alto, la causa es, que el aceite del transformador contenga agua, esté oxidado, tenga lodos o sedimentos y entonces será necesario tratarlo o cambiarlo en caso de que no se pueda regenerar. Si no se trata del aceite el que genere unos valores altos de factor de potencia, tendrá que ser necesario probar las boquillas.

5.06.3 PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA A LAS BOQUILLAS DEL TRANSFORMADOR.

Este tipo de prueba consiste básicamente, en medir las corrientes de fuga, detectando así posibles fisuras y grietas en las porcelanas y humedad. Generalmente las boquillas traen en su placa de datos el % de Factor de Potencia obtenido en fábrica, por supuesto el % de Factor de Potencia, obtenido en el campo deberá compararse con éste y siempre son menores del 1 % corregido a 10 grados centigrados.

La prueba standar de % Factor de Potencia a boquillas consiste en energizar la parte superior del conector de la boquilla y el cable de bajo voltaje de la brida (figura 5.8 A).

El aparato debe estar en la posición "Ground" . Esta prueba es una información concerniente de la condición general de la boquilla.

Para un analisis más a fondo se emplea el método de collar caliente múltiple, el cual consiste en enrollar uno o más collares metálicos alrededor de todos los faldones de la boquilla y el conductor central aterrizado (figura 5.8 B).

Se debe tener cuidado que la banda metálica usada como collar, esté debidamente ajustada al rededor de la boquilla, asegurando un buen contacto a la porcelana, porque si el contacto entre el collar y la porcelana es deficiente, puede dar resultados desfavorables.

Si las pérdidas obtenidas no exceden de 9mW, los aislamientos se consideran en buen estado.

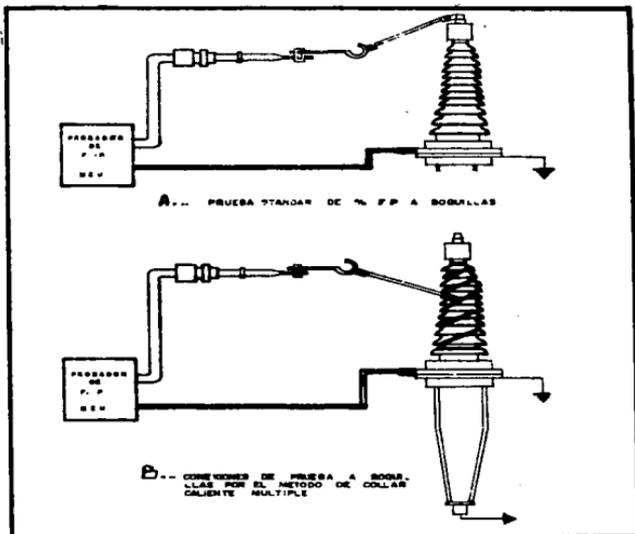


FIGURA 5.8 Conexiones de prueba de P.P. a boquillas.

Cuando las pérdidas son entre 9 y 19 mW, la boquilla se considera húmeda. Si las pérdidas son entre 19 y 31 mW, entonces el capuchón de la boquilla debe ser removido y hacer un examen

de humedad en lo alto de la cámara compound y en el compound mismo.

Cuando las pérdidas son arriba de 31 mW, es posible que exista un defecto en la porcelana (grietas) y por lo tanto deberá instalarse una nueva porcelana, deberá hacerse una revisión de limpieza y del estado en que se encuentren los empaques. Una boquilla nueva tipo condensador tendrá un factor de potencia de aproximadamente 1% ó menos a 20 grados C. Todas las pruebas deben corregirse a una temperatura de 20 grados C.

5.06.4 PRUEBA DE FACTOR DE POTENCIA AL ACEITE.

Para esta prueba se usa una celda especial que básicamente es un capacitor, cuyo dieléctrico es el aceite que se encuentra bajo prueba.

DESARROLLO DE LA PRUEBA.

La celda se deberá llenar 3/4 de pulgada arriba del tope del cilindro interior. La forma de conectar al probador a la celda es la siguiente: El gancho del cable de alta tensión debe ser conectado a la manija de la copa, el arillo del cilindro exterior se aterriza con la terminal de baja tensión y el aro de guarda del cable de alta tensión al tornillo de guarda de la celda como se muestra en la figura 5.9.

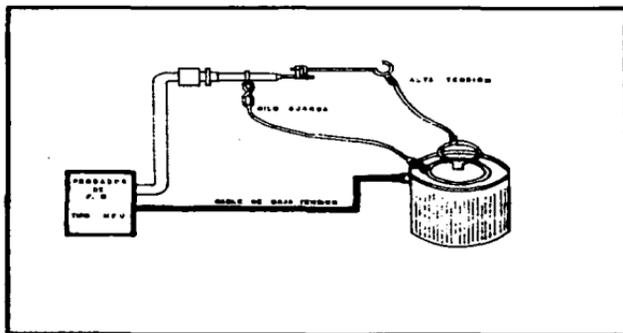


FIGURA 5.9 Conexiones de prueba para el F.P. al aceite.

Los valores que se obtienen se corrigen a 20 grados C. El voltaje de prueba debe aumentarse gradualmente a 2.5 KV. Como el espacio entre las placas de la celda es de aproximadamente tres dieciseisavos de una pulgada, la prueba no debe romper bajo esos voltajes, a menos que se encuentre en condiciones pésimas.

Un buen aceite aislante tiene un factor de potencia de 0.05% o menos a 20 grados C. El alto factor de potencia indica deterioro y/o contaminación.

Teniendo el aceite un factor de potencia de menos de 0.5% a 20 grados C., es usualmente considerado satisfactorio para servicio. Un factor de potencia entre 0.5 y 2% es dudoso.

5.06.5 PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA AL ACEITE.

La tensión de ruptura dieléctrica del aceite aislante es una medida de su habilidad para soportar un esfuerzo eléctrico, o sea que nos muestra el voltaje al que presenta la falla eléctrica una muestra de aceite.

El equipo utilizado para realizar esta prueba es el siguiente:

- 1.- TRANSFORMADOR.- La tensión de prueba deseada se obtiene de un transformador excitado por una fuente variable de baja tensión. La capacidad del mismo puede ser de 2 KVA para tensiones no mayores de 50 KV.
- 2.- INTERRUPTOR.- El transformador de prueba debe protegerse por medio de un dispositivo o interruptor automático capaz de abrir como máximo en 3 ciclos a partir de la ruptura del espécimen de prueba ó como máximo en 5 ciclos si la corriente de ruptura no excede de 200 mA.
- 3.- EQUIPO DE CONTROL DE TENSION.- Este equipo debe de asegurar un incremento de tensión constante de la tensión de prueba de 3 KV/seg + ó - 20 %.
- 4.- MEDIDOR DE TENSION.- Un voltmetro conectado al secundario del transformador de potencial.
- 5.- ELECTRODOS.- Los electrodos deben ser discos de bronce pulido de 2.54 cm. de diámetro y cuando menos 0.32 cm de espesor.

6.- COPA DE PRUEBA.- La copa debe tener los electrodos rigidamente montados con sus caras paralelas y sus ejes coincidiendo en una misma línea horizontal.

El material de construcción debe tener una constante dieléctrica alta, ser impermeable y resistente a los disolventes que se usan en la limpieza de la copa.

Debe ser construida en tal forma que ninguna parte de ella este a menos de 1.3 cm de cualquier punto de los electrodos y su parte superior debe estar a 3.8 cm de la parte superior de dichos electrodos.

La corriente total en la copa cuando está llena de aceite, debe ser menor de 200 microamperes cuando se energiza a 20 KV, 60 Hz.

Su diseño debe facilitar el poder quitar los electrodos para lavado y pulido así como el ajustar la distancia entre ellos.

7.- CALIBRADOR.- Un calibrador para verificar la separación entre los electrodos que debe ser de 2.54 mm.

En general se puede usar cualquier probador de rigidez dieléctrica, pero se dara preferencia a los operados con motor. En la figura 5.10 se muestra un diagrama esquemático del aparato y el formato de las tablas donde se registran los resultados de las pruebas.

DESARROLLO DE LA PRUEBA.

- 1.- LLENADO DE LA COPA.- Se llena la copa lentamente hasta un nivel de 2 cm arriba del borde superior de los electrodos evitando la inclusion de aire.
- 2.- TEMPERATURA DE PRUEBA.- Se debe hacer a temperatura ambiente siempre y cuando esta no sea menor de 20 grados C.

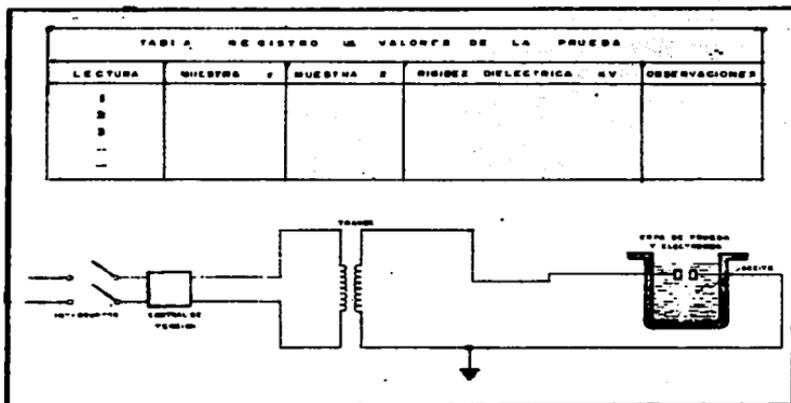


FIGURA 5.10 Diagrama esquemático del aparato para prueba de Rigidez Dieléctrica y formato del registro de la Prueba.

3.- APLICACION DE TENSION.- Después de un periodo de 2 a 3 minutos de haber llenado la copa se debe aplicar la tensión e incrementar desde cero a una velocidad uniforme de 3 KV/seg., hasta que ocurra la ruptura, la cual se conoce por una descarga continua entre los electrodos que hace operar el interruptor.

4.- DETERMINACION DE LA RUPTURA.- Para determinar la tensión de ruptura dieléctrica en una muestra se deben hacer 3 determinaciones cuando menos y luego sacar un promedio de estos valores; después se cambia la muestra de aceite y se procede de la misma forma que la anterior, si estos valores están dentro de los valores establecidos como buenos se concluye a informar el estado del aceite.

El valor mínimo de la tensión de ruptura dieléctrica de acuerdo a las normas debe ser de 30 KV.

5.- INFORME DE LA PRUEBA.- Se reporta lo siguiente:

- a) Temperatura del aceite en el momento de la prueba.
- b) Los valores individuales y promedio de la tensión de -
ruptura que se registran en las tablas. (Fig. 5.10)

CAPITULO NUMERO 4.

FALLAS MAS COMUNES Y SU SOLUCION.

En este capitulo veremos cuales son las fallas más comunes en los equipos de bombeo.

Por lo general estas fallas se presentan en los equipos y provocan un paro del mismo o un bloqueo en el arranque. Otras veces únicamente provocan alarma durante el funcionamiento del mismo.

6.01 BLOQUEO DE ARRANQUE.

Una falla que nos provoca un bloqueo en el arranque del equipo de bombeo es la baja temperatura del aceite de lubricación, esto se corrige poniendo a recircular el aceite unos 10 a 15 minutos antes de iniciar el arranque, con esto se normaliza la temperatura del aceite.

En la central de lubricación tenemos que el trabajo continuo del motor de corriente directa que acciona la bomba de engranes, que es la que proporciona la presión para la lubricación de los cojinetes de la bomba y motor en el proceso del arranque, provoca el desgaste de los carbones del colector de dicho motor de C.D., al desgastarse completamente estos carbones nos provocan una falla dentro del motor de C.D., y nos bloquean el arranque del equipo de bombeo al no haber la lubricación necesaria para el mismo. Esta falla se corrige chequeando periódicamente los carbones del motor de C.D., en el mantenimiento preventivo.

La central de lubricación cuenta también con dos resistencias calefactoras, las que sirven para tener el aceite de lubricación a la temperatura adecuada para una buena lubricación de los cojinetes, en varias ocasiones estas resistencias debido al uso continuo se abrían y esto ocasionaba que bajara la temperatura del aceite y que nos bloqueara el arranque del equipo de bombeo por baja temperatura del aceite. La solución el cambio de la resistencia dañada por una nueva y su verificación de rutina diaria.

6.02 FALLAS EN EL GRUPO DE LA VALVULA ESFERICA.

Una falla seria cuando el equipo al estar en operación manda la señal de " FILTRO DE ACEITE O DE AGUA SUCIO ", esta falla produce únicamente alarma y esta se corrige al hacer cambio de filtro. (esto es en el servomotor de la Valvula)

Otra falla en la Válvula Esférica es la corrosión en el balín de la válvula de llenado automático, esta válvula es la que proporciona presión a los sellos de la Válvula Esférica para que al cerrar quede bien sellada y no haya paso de agua del lado de alta al lado de baja presión. La solución de este problema es el cambio del balín y la rectificación del asiento del mismo dentro de la Válvula de llenado automático. De igual forma sucede con la válvula de descarga o válvula de aguja que se encuentra también en la Válvula Esférica, al haber corrosión en el asiento de la válvula hay fuga de presión y esto provoca que la Válvula

Esférica no selle bien, la solución es la misma, cambiar toda la Válvula de aguja y mandar a su reparación la válvula dañada.

Otra falla que se presentaba con frecuencia era en las bobinas de las electroválvulas del tablero de la válvula esférica, las cuales se energizan durante la operación del equipo. Estas bobinas se abrían debido a que su capacidad era menor o igual a la requerida por el equipo al estar operando. Se solucionó este problema consiguiendo bobinas de la capacidad requerida.

Otra falla que ocurre en algunas ocasiones, es la ruptura de la vejiga de hidrogeno del acumulador del Tablero de la Válvula Esférica, esto nos provoca que toda la presión del circuito de aceite se nos escapara por esa parte y que se nos bloqueara el arranque del equipo de bombeo al no abrir la Válvula Esférica. Lo anterior se corrige cambiando la vejiga del acumulador por una nueva.

Tenemos también otra falla que nos impide que la Válvula Esférica abra, después que la bomba a igualado la presión de descarga. Esta falla es el atascamiento de la tubería del censor de la presión de SHOOT-OFF, lo anterior se corrige con el mantenimiento preventivo, realizando la limpieza de la tubería y chequeando el censor.

En la Válvula Esférica cuando ocurría un paro de emergencia, sucedía que la electroválvula de paro de emergencia no operaba ó no abría la válvula pilotada del paro de emergencia por

atascamiento de esta y se tenía que operar en forma manual para que cerrara la válvula esférica y así evitar que se regresara toda la columna de agua de la descarga. La solución de esta falla se corrige también con el mantenimiento preventivo programado para tal efecto.

6.03 FALLAS EN EL GRUPO MOTOR-BOMBA.

Una falla de tipo mecánico es el desgaste de la empaquetadura de la flecha de la bomba esto nos provoca que haya demasiada fuga de agua a través de los prensaestopas y que esta agua caiga directamente sobre la flecha y pase a los cojinetes de la bomba y contamine el aceite de la central de lubricación con agua. Esto provoca que se pare el equipo para cambiar todo el aceite (algunos equipos tienen hasta 800 litros de aceite en la central de lubricación) y la empaquetadura desgastada. Lo anterior se evita teniendo cuidado con la calibración de los prensaestopas y checando los mismos periódicamente durante su funcionamiento y aun estando parado el equipo de bombeo.

El eje de la flecha del impulsor de la bomba centrífuga sufre desgaste con la operación continua del equipo de bombeo, esto provoca una mayor vibración al estar operando y nos provoca falla al sobrepasar los límites de calibración de los sensores de vibración y del tope de la bomba, esto como consecuencia provoca un paro ó un bloqueo en el arranque del equipo. Para corregir los anterior sera necesario un mantenimiento mayor, esto es se

desacopla el motor de la bomba, se destapa la misma, se le saca el impulsor, el cual se desarma completamente para cambiar o rellenar todas las partes de desgaste y poder dejar el equipo en condiciones de operación.

El Motor del equipo de bombeo cuenta con un radiador o intercambiador de calor, por el cual circula el agua de enfriamiento, esta agua proviene de la misma tubería de succión del equipo y no es potable, lo que provoca que también se atasquen los tubos del intercambiador de calor y provoquen el aumento de temperatura en el motor, lo cual nos provoca falla de operación en el equipo ó un paro del mismo. Esta falla también se corrige con el mantenimiento programado a los intercambiadores de calor.

Una falla del Tablero de Mando y Control Local (T.M.C.L.) es la que se presenta en las tarjetas electrónicas de dos umbrales llamadas MODUMATS las cuales abren o cierran un contacto mandando la señal al controlador del proceso de operación (Automata), el modumat manda señal errónea al fallar lo que provocaría también una falla en la operación del equipo. La Solución se realiza con el cambio de la tarjeta dañada.

Otra falla que puede ocurrir es ó son las fugas de aceite de los circuitos de lubricación del grupo Motor-Bomba, y del circuito del tablero de la Válvula Esférica ó del circuito de agua de enfriamiento, lo cual nos provocaría un paro en la operación del equipo al censar una baja de presión en la

lubricación ó en el servomotor y un aumento de la temperatura del motor o del aceite de lubricación. Lo anterior se corrige también con el mantenimiento programado y el chequeo constante de los equipos cuando están en operación.

6.04 FALLAS EN GENERAL.

Otro tipo de falla común es la descalibración de los sensores debido a la vibración que produce el equipo al momento de estar funcionando, estos sensores se corrigen o se revisan durante los trabajos de mantenimiento.

Una falla de tipo eléctrico es la que ocurre al momento en que se abre o se funde un fusible, esto nos puede provocar un paro ya sea normal o de emergencia, según se localice el fusible, para corregir esta falla se analiza la causa que provocó que se abriera dicho fusible y posteriormente se reemplaza.

Otra falla de tipo eléctrico pero en alta tensión sería la variación de voltaje en la línea de alimentación, por lo general estas variaciones ocurren en la época de lluvias y son ocasionadas por las descargas atmosféricas (Rayos), esto nos provoca paros de emergencia, suspendiendo el bombeo el cual se restablece al llegar nuevamente el voltaje a través de la línea.

Tenemos también las fallas que ocurren debido a los falsos contactos en sensores ó en los bornes ó terminales de las conexiones, las cuales son ocasionadas por la vibración de los

equipos al estar operando. Esto se corrige durante el mantenimiento con el reapriete de las conexiones de los mismos.

Una falla que antes era muy común en las moto-bombas del sistema de enfriamiento, consistía en el deterioro de los baleros tanto de la bomba como del motor, debido a que el cople del grupo motor-bomba era muy rígido. Esto aunado a la vibración, desalineamiento o desnivel, provocaba un rápido deterioro de los baleros del equipo en cuestión. Lo anterior se soluciono colocando coples mas flexibles y hasta la fecha quedo resuelto este problema.

Estas son las fallas mas comunes que pueden ocurrir al estar los equipos en operación. y cuando esto llega a suceder, se tienen los equipos de reserva, los cuales entran en operación al ocurrir un paro.

Cuando ocurre un paro se procede a arrancar un equipo de los que estan listos para operar (esto se hace en 4 o 5 minutos maximo) para no suspender el bombeo, despues de esto se revisa la causa que provoco el paro de el otro equipo, se corrige y se deja en condiciones de operación para cuando sea necesario meterlo a operar. Esto es para tener un servicio continuo en el bombeo y asi evitar el paro de todo el sistema.

CAPITULO NUMERO 7.

COSTOS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO.

7.01 COSTOS DE OPERACION.

Para la operación del Sistema Cutzamala se toman en cuenta diferentes factores que intervienen en esto, como son:

- FACTOR HUMANO - El cual designaremos con el concepto # 1 y comprende, sueldos compactados, salario compactados del personal eventual, prima quinquenal, prima vacacional y dominical, remuneración por horas extras, cuotas al ISSSTE, cuotas para la vivienda, estímulos al personal, ayuda para despensa y guardería, servicio de vigilancia del ejército mexicano y S.A.R. lo que representó para la operación del sistema el año pasado la cantidad de \$ 3 054,545.50 .

- MATERIALES - A este designaremos el concepto # 2 y comprende, material de oficina, material de limpieza, material didáctico, material y útiles de impresión, materiales de construcción, material eléctrico, alimentación del personal, materias primas, refacciones accesorios y herramienta menor, estructuras y manufacturas, sustancias químicas, medicinas y productos farmacéuticos, materiales y suministros de laboratorio, combustibles, lubricantes y aditivos y material de protección esto represento la cantidad de \$ 11 781,818.00 en 1995.

- SERVICIOS - Aquí aplicaremos el concepto # 3 el comprende, servicio telefónico, arrendamiento de edificios y locales, arrendamiento de maquinaria y equipo, asesoría y capacitación, fletes y maniobras, seguros, mantenimiento y conservación de maquinaria y equipo, pasajes y viáticos, importando la cantidad de \$ 327,272.30

En gastos de operación también se incluyen los gastos de consumo de energía eléctrica que fueron de \$ 180,000,000.00

El consumo de cloro y de sulfato de aluminio que son los productos que más se ocupan para la potabilización del agua fue de \$ 14,900,750.00

7.01 COSTOS DE MANTENIMIENTO.

Para el mantenimiento también se aplican los mismos conceptos así tenemos:

- Para el concepto # 1 tenemos \$ 2 509,090.90
- Para el concepto # 2 tenemos \$ 218,181.82
- Para el concepto # 3 tenemos \$ 2 727,272.70

Para la operación y el mantenimiento de las seis plantas de bombeo la compañía contratista cotizó la cantidad de \$ 10,800,000.00

Para poder tener bien el calculo de todos los gastos se necesita saber el costo de las refacciones de los equipos de bombeo, como estos son de importación el valor de los mismos se calcula en base a la paridad del dolar, en esto el fabricante

recomienda un lote de refacciones cuyo costo es de USA \$ 1 581.162.00 haciendo la conversión a pesos dándole un valor de \$ 7.50 por dolar tenemos la cantidad de \$ 11 858.715.00 .

7.03 CANTIDAD DE METROS CUBICOS BOMBREADOS DURANTE EL AÑO.

Para saber la cantidad de metros cúbicos bombeados durante el año de 1995, teniendo las horas de servicio de los equipos podemos sacar la cantidad de agua que se bombeo con cada uno de los equipos de la Planta de Bombeo # 5, además sabemos que cada uno de los equipos grandes da un gasto de 4 metros cúbicos/seg. y los equipos chicos dan un gasto de 1.7 metros cúbicos/seg.

A continuación tenemos un cuadro con los números de los equipos de la planta de bombeo 5, las horas de servicio de todo el año, la cantidad de metros cúbicos bombeados por cada equipo durante el año y el gasto por segundo de cada equipo, también el total de metros cúbicos que se bombearon.

EQUIPO	GASTO	HORAS DE	METROS CUBICOS
No.	m3/seg.	OPERACION	
1	4	4644.55	66 881.520
2	4	3848.30	55 415.520
3	4	3388.33	48 792.000
4	4	4930.29	70 996.315
5	4	4143.55	59 667.120
6	4	4441.45	63 956.881
7	1.7	1056.26	6 464.351.6

8	1.7	959.21	5 870,406.2
9	1.7	762.8	4 668,336.2
TOTAL DE METROS CUBICOS BOMBEADOS =			382 712,454 m ³

Sumando el total de los gastos de operación y de mantenimiento, y dividiendo entre el total de agua bombeada, podemos saber el costo de cada metro cubico de agua en el año de 1995, el cual viene siendo de:

COSTOS DE OPERACION	=	\$ 210 064,385.80
COSTOS DE MANTENIMIENTO	=	\$ 28 113,260.42
T O T A L	=	\$ 238 177,646.22

TOTAL DE GASTOS = \$ 238 177,646.22 - - - - (1)

TOTAL DE AGUA = 382 712,454.00 - - - - (2)

DIVIDIENDO 1/2 = \$ 0.622 POR METRO CUBICO

Esto representa el valor de lo que cuesta el agua que se procesa con el Sistema Cutzamala, a esto falta agregarle la conducción, almacenaje y la distribución domiciliaria, todo esto representa un gran esfuerzo.

Por otra parte tomando en cuenta las devaluaciones que a sufrido nuestra moneda, se debe analizar exactamente en cuanto esta saliendo el metro cubico de agua, ya que el ciudadano no paga realmente lo que cuesta el agua, ya que esta, está subsidiada por el gobierno, por lo tanto debemos de tomar en cuenta esto a la hora de dejar abierta una llave y tirar el agua.

CAPITULO NUMERO 8.
PERSPECTIVAS FUTURAS DEL SISTEMA .

8.01 CONTROL SUPERVISOR PARA OPERAR EL SISTEMA CUTZAMALA.

Debido a las características del sistema y a sus variables hidráulicas y eléctricas, se requiere de un sistema de control supervisor para hacer más expedita y segura su operación. El control proyectado es del tipo de operación centralizada mediante un equipo electrónico idóneo que garantizará la continuidad en el servicio y servirá para programar los mantenimientos preventivos y correctivos indispensables en el sistema.

El Sistema de Control Supervisor (CSC) tendrá un centro de control localizado en la Planta Potabilizadora, 11 Estaciones Periféricas (EP) y una estación satélite enlazada a la estación 2. Las EP transmiten los datos del sistema hacia el centro de control y ejecutan los mandos enviados desde dicho centro. Se localizan en: PB1; PB2 con su estación satélite; PB3; PB4; Vaso y Estructura Donato Guerra; PB6; Planta Potabilizadora; PB5; Presa Villa Victoria; Tanque Santa Isabel y Tanque Pericos.

En cada planta de bombeo se concentraran las señales y medidas comprendidas entre sus tanques de sumergencia y de oscilación, de tal forma que el tablero mimico muestre y registre localmente todo lo relativo a la succión y descarga.

El centro de control tiene los elementos necesarios para realizar los comandos y recibir las señales hacia y desde las plantas de bombeo y se ubica en la Planta Potabilizadora Los

Berros, ya que en esta es en ultima instancia donde se reflejan las acciones tomadas.

El sistema de computo del CS estará Constituido por dos computadoras de alta velocidad para aplicaciones de proceso y sus equipos auxiliares. En cuanto a su funcionamiento, una es activa y otra de respaldo; están enlazadas por un canal de comunicación paralelo de alta velocidad y vigiladas por un supervisor de intercambio de control. Este esquema permite compartir la información adquirida del proceso y su transferencia del control del CS en forma inmediata y automática a la computadora de respaldo cuando se presenta alguna falla en la primaria, evitando así interrupciones en la continuidad de la operación del sistema.

Una parte de los equipos periféricos lo constituyen las impresoras de servicio mediante las cuales se obtendrán los reportes estadísticos, que servirán para definir con precisión las operaciones automáticas o semiautomáticas del sistema, y también se incluirán los reportes de las alarmas generadas por fallas de los equipos.

El operador contara con dos tubos de rayos catódicos como elementos principales de comunicación con el sistema, cada uno contara con teclado y operaran independientemente con el fin de respaldarse mutuamente. En ellos se presentara la información del sistema a través de varias paginas en las que tendrán los diagramas hidráulicos y eléctricos de cada planta o instalación.

mostrándose en forma dinámica todas las alarmas, variaciones de estado y medidas.

En caso de falla del sistema de computo, el operador contara como respaldo con el tablero mimico del centro, en el que se presentaran las señales necesarias para el control del sistema mediante el mimico hidráulico del acueducto.

8.02 EQUIPOS PARA EL CONTROL SUPERVISORIO EN LAS PLANTAS DE BOMBEO.

En las plantas de bombeo se contara con los siguientes equipos para el control y señalización :

- Tablero Mimico
- Estación Periférica
- Impresor
- Transmisores de Presión, Nivel y Gasto

Sus características son las siguientes:

Tablero Mimico.- Se localizara en el cuarto de control de la planta de bombeo, su operación sera independiente de la estación periférica con el fin de que si se presentan fallas en el S.C.S., el operador de la planta no pierda la información de la misma y pueda controlar los equipos de bombeo y de la subestación eléctrica.

Estación Periférica (E.P.).- Este equipo sera el encargado de recibir, adecuar y transmitir las señales de alarma, medidas, estados y acumulaciones hacia el centro de control y de recibir y

ejecutar las ordenes enviadas por dicho centro; así mismo proporcionara las señales de alarma y cambios de estado a las internas del impresor de reportes.

Impresor.- Elaborara los reportes impresos instantáneos de las contingencias de alarma y/o cambios de estado que se presenten en la planta de bombeo con fecha y hora de ocurrencia. Los reportes estadísticos solo se elaboraran en el centro de control.

Transmisores de Nivel, Presión y Gasto.- Estos se refieren a los elementos primarios y transmisores de nivel en el tanque o presa de sumergencia y en el tanque de oscilación; a los medidores de presión en la succión y descarga de la planta y al medidor de gasto en la entrada o salida de la planta.

B.03 CONTROL DEL VASO Y ESTRUCTURA DONATO GUERRA.

Se cuenta con el Vaso y Estructura Donato Guerra para realizar el cambio de régimen de operación de 20 a 24 horas. La estructura cuenta con dos cámaras una para la llegada del agua bombeada durante 20 horas por las plantas de bombeo 1, 2, 3 y 4, las cuales generaran el gasto necesarios para la operación de la planta potabilizadora y el gasto suficiente a almacenar en el Vaso Donato Guerra para la operación de la Planta Potabilizadora las 4 horas restantes.

Puesto que el gasto de llegada a la cámara alta de la planta de bombeo es constante, por lo tanto el nivel en esta es

constante y la apertura de la (s) compuerta (s) sera a un nivel dado y en general no se debera ajustar a cada momento. Cuando el tiempo de paro de las plantas de bombeo ha llegado se comenzaran a abrir las compuertas de la cámara alta, de tal forma que la planta potabilizadora no se quede sin agua.

Para llevar a cabo el control de la estructura se contara con un controlador electrónico para cerrar ó abrir las compuertas en forma automática. El controlador tendrá la información necesaria para manejar el nivel de las cámaras alta y baja, gasto contra nivel, etc.

B.04 SISTEMA DE COMUNICACIONES PARA VOZ Y DATOS.

El acueducto contara con un sistema eficiente de comunicaciones de tal forma que cada instalación en donde se encuentre una estación periférica se contara con equipo telefónico y de transmisión de datos, para enlazar a las estaciones con el centro de control y telefónicamente a todas las plantas de bombeo e instalaciones del sistema. Seran dos tipos de enlace, uno de operación normal a través de la radio y otro de recalado mediante línea telefónica.

La operación del Sistema Cutzamala contempla el amalgamiento de técnica e infraestructura humana para realizar las acciones correspondientes a la operación satisfactoria de este. El aspecto humano es el mas importante para efectuar los comandos y movimientos requeridos para llevar a cabo las políticas de

operación. Por otro lado, se requiere de personal capacitado para mantener los equipos en condiciones optimas para la operación, ya que sin este factor se operaria (en caso de lograrse) en forma deficiente.

CONCLUSIONES.

El Sistema Cutzamala es el sistema de abastecimiento de agua de mayor magnitud que se ha construido en el país y el más ambicioso en su tipo debido al gran desnivel que tiene que vencer, el volumen de agua que se conducirá y la distancia de recorrido. Es por eso que debería de tener mejor apoyo, tanto en el aspecto económico como en el aspecto técnico.

Esto es ya que el agua representa un elemento indispensable en nuestra vida diaria, porque como hemos visto sin agua no hay vida en ningún lado. El agua es mas vital que la electricidad, el teléfono, incluso hasta la comida, ya que una persona puede estar algunos días sin comer, pero sin tomar agua solo sobreviviría algunas horas.

Por eso se necesita que los programas de mantenimiento se cumplan al pie de la letra, que cuando haya transcurrido el tiempo de operación de un equipo y sea hora de darle mantenimiento, este se lleve a cabo aunque el equipo en cuestión no presente falla alguna. Se debe de implementar mas el mantenimiento preventivo y no esperar a que un equipo falle para darle mantenimiento correctivo, ya que este tipo de mantenimiento nos resultara mas caro y nos llevara mas tiempo en repararlo si no se cuenta con las refacciones necesarias.

Por otra parte el personal que operara estas instalaciones debe ser personal capacitado, con una amplia experiencia en

operación de Plantas de Bombeo. Esto solo se logra a base de programas de capacitación continua para todo el personal que ahí labora o laborara. Y claro también es justo que dicho personal sea motivado en el desempeño de su trabajo y esto puede ser a través de una mejoría en el salario, ya que se ha visto que a pesar de que el agua es mucho más importante que la electricidad y el teléfono estas compañías tengan mejor sueldo que los trabajadores de la C.N.A.

También es necesario evitar el uso irracional de este elemento vital como lo es el agua, ya que la mayoría de la gente no toma en cuenta el enorme esfuerzo que se tiene que llevar a cabo para que ellos tengan agua potable en sus domicilios, con la única molestia o esfuerzo de abrir una llave. Tiene que quedar muy claro la convicción de que los recursos de la tierra no son ilimitados, en especial el agua, por otro lado se requiere implantar la obligación a las industrias de tratar sus aguas residuales y recircularlas en sus procesos, ya que el tratamiento de agua es una solución al abastecimiento, más económico para algunos usos que la importación de agua de fuentes externas.

Sin embargo, para su aprovechamiento se requiere de redes de distribución independientes de las de agua potable y sobre todo del cambio de actitud tanto del industrial como del agricultor para utilizarlas. En el Valle de México existen plantas tratadoras de agua construidas por el D.D.F. y el Estado

de Mexico de las cuales escasamente se utiliza la mitad del agua tratada.

Se requiere también desde luego, el cuidado de las zonas de captación y la preservación de la calidad del agua, efectuando obras que no solo eviten dañar el sistema ecológico, sino que tiendan a mejorarlo, pero fundamentalmente habrá que tomarse en cuenta los problemas socio-políticos que surjan motivados por la transferencia y/o cambio del uso del agua, entre habitantes de una misma entidad, o entre diversas entidades federativas y aun entre las dependencias que manejan distintos usos del agua, para su adecuada y oportuna solución.

Independientemente de los componentes extranjeros de importación directa como motores, válvulas esféricas, bombas centrífugas y algunos accesorios electromecánicos de las plantas de bombeo que solo representan el 5% de la inversión, los estudios, proyectos, obras, materiales y equipos que ha requerido la ejecución del Sistema Cutzamala, son el resultado de la tecnología nacional en donde la participación de instituciones publicas y empresas nacionales, junto con el esfuerzo compartido de profesionales, tecnicos y obreros mexicanos, han hecho posible esta magna realización de gran trascendencia y sentido social para esta y futuras generaciones.

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

- 1.- Manual Instructivo y de Características Técnicas de la Jeumont-Schneider. Francia
- 2.- Manual de Instrucciones de montaje, servicio y mantenimiento de la Valvula Esferica y Juntas de Compensación. Sulzer España S.A.
- 3.- Bombas Teoria, Diseño y Aplicaciones. Ing. Manuel Viejo Zubicaray Editorial Limusa México.
- 4.- Manual de Instrucciones de Montaje, servicio y mantenimiento de la Bomba Centrifuga C C M Sulzer Francia.
- 5.- Maquinas Electricas, Transformadores y Controles. Harold W. Gingrich. Prentice Hall-Hispanoamericana S.A.
- 6.- Manual de Bombas Iqor J. Karassik McGraww-Hill
- 7.- Tecnologia de los Sistemas Electricos de Potencia. Theodore Wildi Ed. Hispano-Europea S.A. Barcelona España
- 8.- Instructivo de operación y mantenimiento de cortacircuitos en aire, tipo DHEP. IEM Westhinghouse

- 9.- Instructivo de procedimientos para pruebas de factor de potencia de aislamientos en equipo electrico.
Gerencia General de Operación
Comisión Federal de Electricidad.
- 10.- Manual de operación y servicio del Automate-35
Reliance Electric.
- 11.- Publicación de la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidraulicos.
Editada por la Gerencia de Aguas del Valle de México
Diciembre de 1987.
- 12.- Manual de Transformadores
Gerencia de Generación y Transmisión
Comisión Federal de Electricidad.
- 13.- Revista de Ingeniería Hidraulica en México
Volumen III . Numero 3, II Epoca
Septiembre - Diciembre de 1988.