



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGON

**“CÁLCULO DE UNA SUBESTACIÓN DE MEDIA TENSIÓN
PARA UNA PLANTA DE TRATAMIENTO Y REUSO DE AGUA
A NIVEL SECUNDARIO”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA
P R E S E N T A :

**MÁRQUEZ PÉREZ MIGUEL ÁNGEL.
MENDOZA LÓPEZ MIGUEL.**

ASESOR: ING. BENITO BARRANCO CASTELLANOS



Estado de México

2009.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Índice	I
Introducción	II
Capitulo I Generalidades	
1.1 Subestaciones	1
1.2 Partes	6
1.3 Sistema de tierra	33
Capitulo II Sistemas de control	
2.1 Introducción	47
2.2 Control local	49
2.3 Control remoto	57
2.4 Control automático	76
2.5 Aparatos registradores	87
2.6 Nomenclatura de los circuitos de corriente directa	90
2.7 Cables de control	91
Capitulo III Operación y mantenimiento para la planta de Tratamiento a nivel secundario san Juan de Aragón	99
3.1 Introducción	99
3.2 Objetivos	105
3.3 Caso de estudio	106
3.4 Condiciones de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales	108
3.5 Descripción de las condiciones físicas y de operación en la planta San Juan de Aragón	116
3.6 Parámetros de control	134
3.7 Balance de masa	142
3.8 Diagnostico de la obra civil	152
Conclusiones	154
Bibliografía	157

INTRODUCCIÓN.

Los grandes sistemas de distribución de energía eléctrica, son necesarios entre la planta generadora y la planta industrial.

Esto se debe a que en un país generalmente existen pocos lugares donde las riquezas naturales son suficientes para generar energía eléctrica en forma económica; como es el caso donde existe gran cantidad de energía hidráulica o combustible natural de bajo costo para impulsar los generadores eléctricos.

La energía eléctrica es siempre transmitida a tensiones muy altas, desde la planta generadora, hasta la periferia del area de consumo.

En general, la energía eléctrica trifásica proveniente de la planta generadora es elevada a 85,000; 230,000 ó 400,000 volts y enviada mediante una “línea de distribución” a una subestación ubicada en el area del consumidor.

El usuario puede recibir la energía en baja tensión, si en esa condición se establece en el contrato, o en alta tensión, necesitando el usuario tener su propia subestación eléctrica industrial.

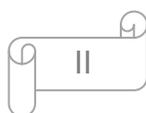
A los conductores que sirven para transmitir la energía eléctrica del sistema general de abastecimiento a la propiedad servida se le llama acometida. Cuando el usuario cuenta con su propia subestación, esta reduce la tensión a 440, 220/127 volts, dicha tensión es transmitida al interior del edificio para su utilización.

También se utilizan otras combinaciones de transmisión de distribución, pero la instalación que ha sido mencionada es una de las más utilizadas.

De todo este sistema de distribución de energía daremos mayor importancia al conocimiento de la subestación eléctrica industrial.

En nuestro caso hablaremos de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) San Juan de Aragón (SJDA), Esta se encuentra ubicada en el Distrito Federal en la delegación Gustavo A. Madero, y fue diseñada para tratar un caudal de 500 l/s, bajo el proceso de lodos activados en la modalidad convencional, e inició su operación en 1964.

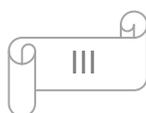
Esta planta cuyo tratamiento es a nivel secundario, está conformada por: pre tratamiento (rejillas), cárcamo de bombeo, sedimentador primario, tanque de



aireación (por difusión de aire comprimido), sedimentador secundario y desinfección con cloro.

El objetivo del presente trabajo son: evaluar la problemática que representa el consumo de carga del equipo para la operación de la misma y sus repercusiones en la situación actual de la planta de tratamiento de aguas residuales, proponer las acciones y trabajos a realizar para su correcto funcionamiento. En la primera etapa del proyecto se realizaron búsquedas y análisis de información. Se llevaron a cabo visitas de reconocimiento y visitas técnicas en las que, para elaborar el diagnóstico físico general, se realizó un trabajo de campo, generándose los planos actualizados del sistema. Con respecto a la primera parte del diagnóstico se tiene que: los planos de diseño difieren de lo construido, por lo que se actualizaron. Son muy recientes los datos del monitoreo y análisis del agua en el proceso y tratada que se tienen, pero no se tienen suficientes datos históricos. Durante la realización de este estudio la PTAR no estuvo funcionando en forma continua, recibió mantenimiento, desazolve de tanques y limpieza de tuberías y difusores; sólo la opera una persona; nada más se trata el agua, no se da tratamiento a los lodos que se producen, y se carece de equipo de repuesto. Las acciones requeridas son: rediseñar y construir el sistema de pretratamiento, renivelar el sedimentador primario, corregir el diseño del tanque de cloración, proponer un sistema de tratamiento de lodos e incrementar el número de trabajadores.

Con el objeto de evaluar su funcionamiento se realizó la caracterización de las aguas residuales en el influente y efluente mediante muestreos compuestos a lo largo de 24 horas durante seis meses en días aleatorios; se tomaron en cuenta los parámetros de diseño y los parámetros indicados en las normas NOM-001SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997. Las características del influente a la planta representaron un agua residual de concentración baja (DQO de 270mg/L, SST de 743 mg/L, sólidos sedimentables de 7~5ml/L, grasas y aceites de 73mg/L) y difieren a los valores utilizados en el diseño.



CAPITULO 1. GENERALIDADES

1.1. Subestaciones.

Subestación eléctrica es el conjunto de elementos integrados que transforman, protegen, controlan, distribuyen y miden la energía eléctrica proveniente de las plantas generadoras, líneas de transmisión o líneas de distribución en media o alta tensión transformando su tensión a valores de utilización.

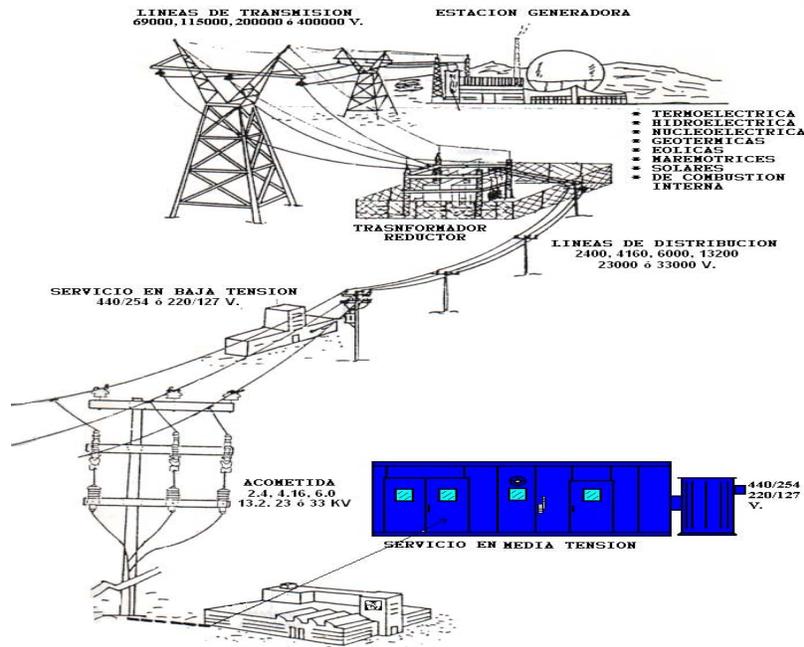


FIG 1.1

Tipos de subestaciones.

Por su servicio:

a) *Subestación tipo intemperie*. Éstas subestaciones se construyen en terrenos expuestos a la intemperie y requieren de un diseño y equipo especial capaz de soportar condiciones atmosféricas adversas (lluvia, viento, nieve e inclemencias ambientales diversas).



FIG 1.2

b) *Subestaciones de tipo interior*. En este tipo de subestaciones el equipo y diseño de la subestación estarán adaptados para operar en lugares protegidos de los cambios climatológicos.



FIG 1.3

Por su construcción:

a) *Subestaciones compactas*. También llamadas unitarias. Para operación en seco alojadas en gabinetes de lámina. En estas subestaciones el equipo se encuentra protegido por gabinete y el espacio necesario es muy reducido. Pueden construirse para servicio interior o para servicio exterior.

b) *Subestaciones convencionales o abierta*. Para operación a prueba de goteo, se colocan en una estructura metálica y se aíslan tan solo por una malla de alambre. El equipo que se instala en este tipo de subestaciones también llamadas abiertas se coloca en estructuras metálicas, se aíslan tan sólo por una malla de alambre, es decir, no van en gabinetes. Pueden construirse para servicio interior o exterior.

c) *Tipo poste*. Para operación a prueba de goteo instalada en poste (intemperie).

d) *Tipo jardín*. Para operación en seco alojada en gabinetes de lámina a prueba de goteo (intemperie).

Por su tensión de suministro:

Clase de aislamiento.

2.4 KV	2.5
4.16 KV	5.0
6.0 KV	8.7
13.2 KV	15.0
23.0 KV	25.0
33.0 KV	34.5

Por su función:

a) Primaria o receptora.

b) Secundaria o derivada.

Características generales de la subestación tipo intemperie.

Las subestaciones compactas SELMEC se construyen bajo especificaciones de la última revisión de la norma ANSI C 37, 20, la cual cumple ampliamente con los requerimientos establecidos por el Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas.

Gabinetes autosoportados, provistos de puertas embisagradas, contruídos con láminas de acero roladas en frío calibre 14 USG (1.89mm) para puertas, cubiertas y techo, y calibre 12 USG (2.65mm) para uniones de módulos y elementos estructurales o de soporte, mismos que aportan la rigidez mecánica necesaria para soportar los esfuerzos estáticos y dinámicos inherentes a la operación de los elementos de la subestación, evitando con esto deformaciones permanentes, a pesar de la presencia de cortocircuitos severos.

Base perimetral de canal estructural de acero de 120 x 50 x 50mm (3.41mm de espesor).

La subestación para servicio intemperie está provista de elementos calefactores para evitar la condensación de humedad. Está terminada con 2 capas de esmalte gris ASA 61, previa limpieza, desoxidación y banderizado epóxico.

Las juntas entre secciones son metálicas y están selladas con un compuesto plástico a prueba de intemperie; el cierre de las puertas está diseñado de tal forma que impide la entrada de agua (goteo).

Subestación convencional servicio intemperie. Construída con una estructura de hierro canal y angular galvanizado de alta resistencia mecánica en la cual se montan las barras, cuchillas seccionadoras, interruptores, cortacircuitos fusibles y apartarrayos, utilizando aisladores de soporte de porcelana.

Características generales de la subestación interior.

Las subestaciones compactas SELMEC se construyen bajo especificaciones de la última revisión de la norma ANSI C 37, 20, la cual cumple ampliamente con los requerimientos establecidos por el Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas.

Gabinetes autosoportados, provistos de puertas embisagradas, construídos con láminas de acero roladas en frío calibre 14 USG (1.89mm) para puertas, cubiertas y techo, y calibre 12 USG (2.65mm) para uniones de módulos y elementos estructurales o de soporte, mismos que aportan la rigidez mecánica necesaria para soportar los esfuerzos estáticos y dinámicos inherentes a la operación de los elementos de la subestación, evitando con esto deformaciones permanentes, a pesar de la presencia de cortocircuitos severos.

Base perimetral de canal estructural de acero de 120 x 50 x 50mm (3.41mm de espesor).

Acabado con dos capas de esmalte gris ASA 61, previa limpieza, desoxidación y bonderizado.

1.2. Partes.

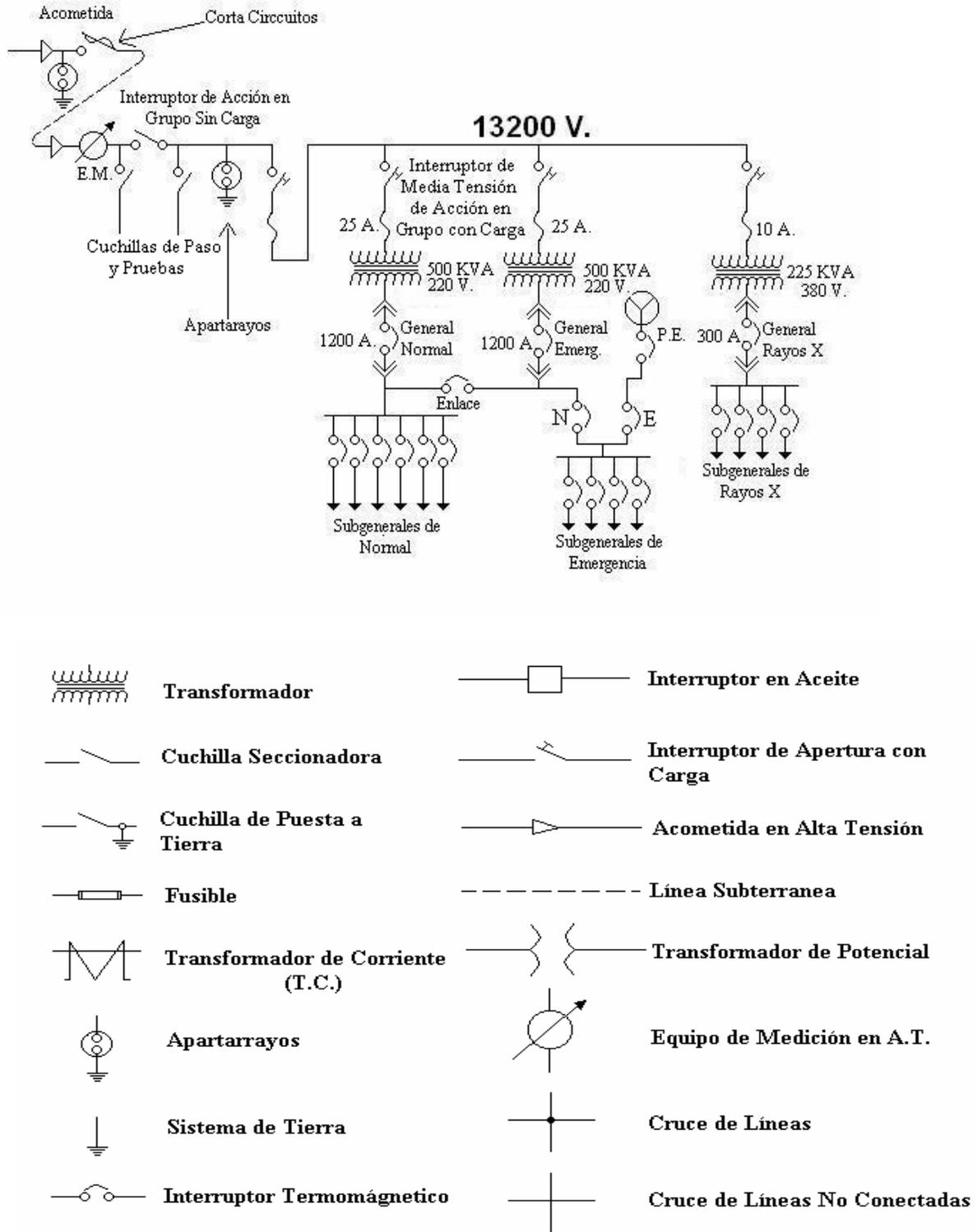


FIG 1.4

a) *Acometida.*

Existen dos clases de acometida:

Acometida aérea. Es la parte de los conductores de una línea aérea de servicio, comprendida desde las líneas o equipos inmediatos del sistema general de abastecimiento, hasta el primer punto de sujeción de dichos conductores en la propiedad servida.

Las acometidas aéreas son usadas según convenio con la compañía suministradora y por lo general están constituidas por aisladores tipo suspensión 10S ó 6S de porcelana, vidrio vitex o resina epoxi, usando remates preformados si se usa aluminio, instalándose en una estructura de hierro galvanizado tipo canal, tipo angular o en postes con este mismo tipo de herrajes según se requiera. En ocasiones se pueden utilizar aisladores de alfiler o pasamuros según lo que pida el tipo de acometida que satisfaga la necesidad.

Las acometidas aéreas se instalan en subestaciones convencionales tipo intemperie que principalmente se usan en zonas rurales y en complejos industriales.

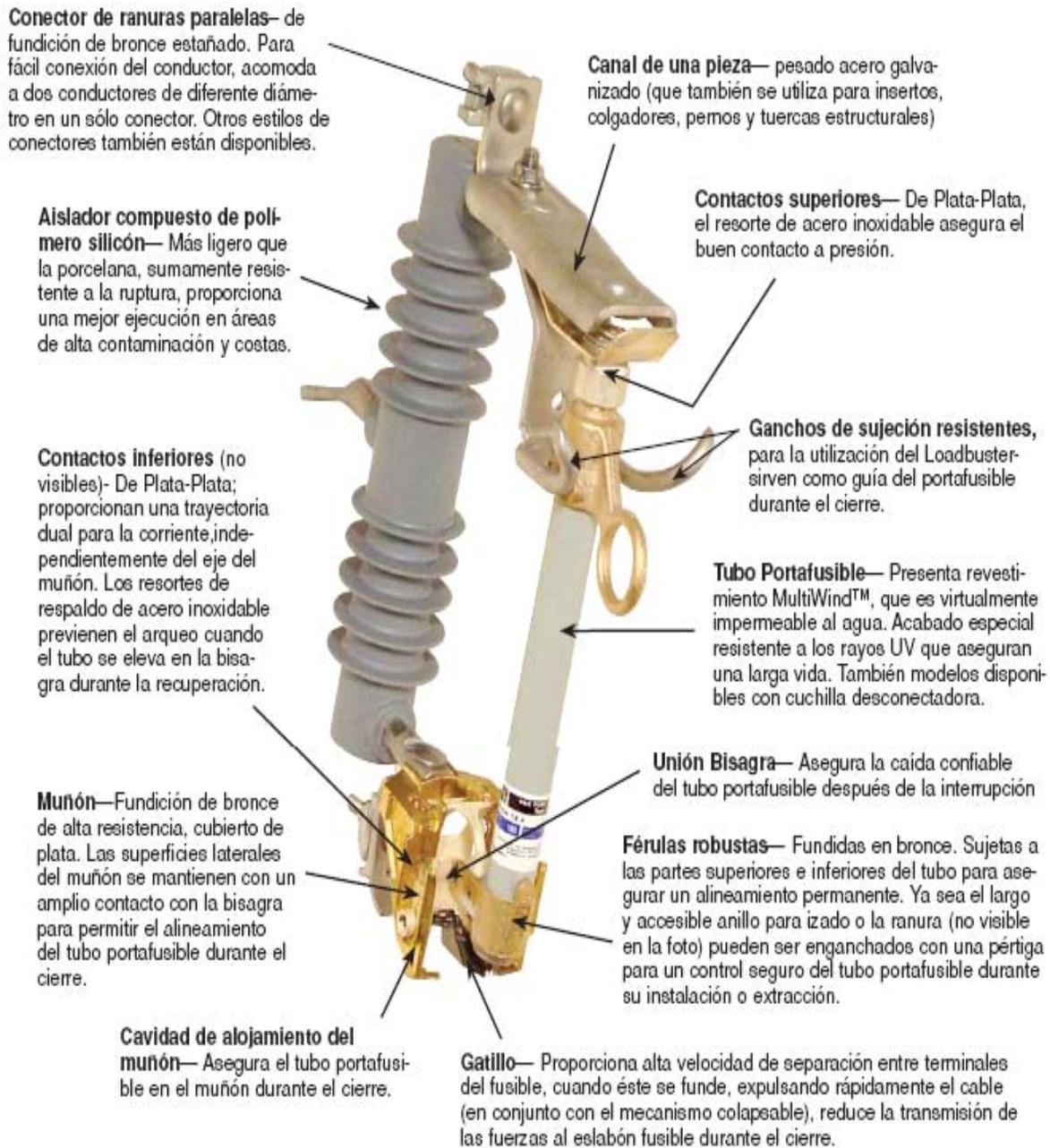


FIG 1.5

Acometida subterránea. Es la parte de los conductores de una línea subterránea de servicio comprendida desde las líneas o equipos inmediatos del sistema general de abastecimiento hasta el límite de la propiedad servida.

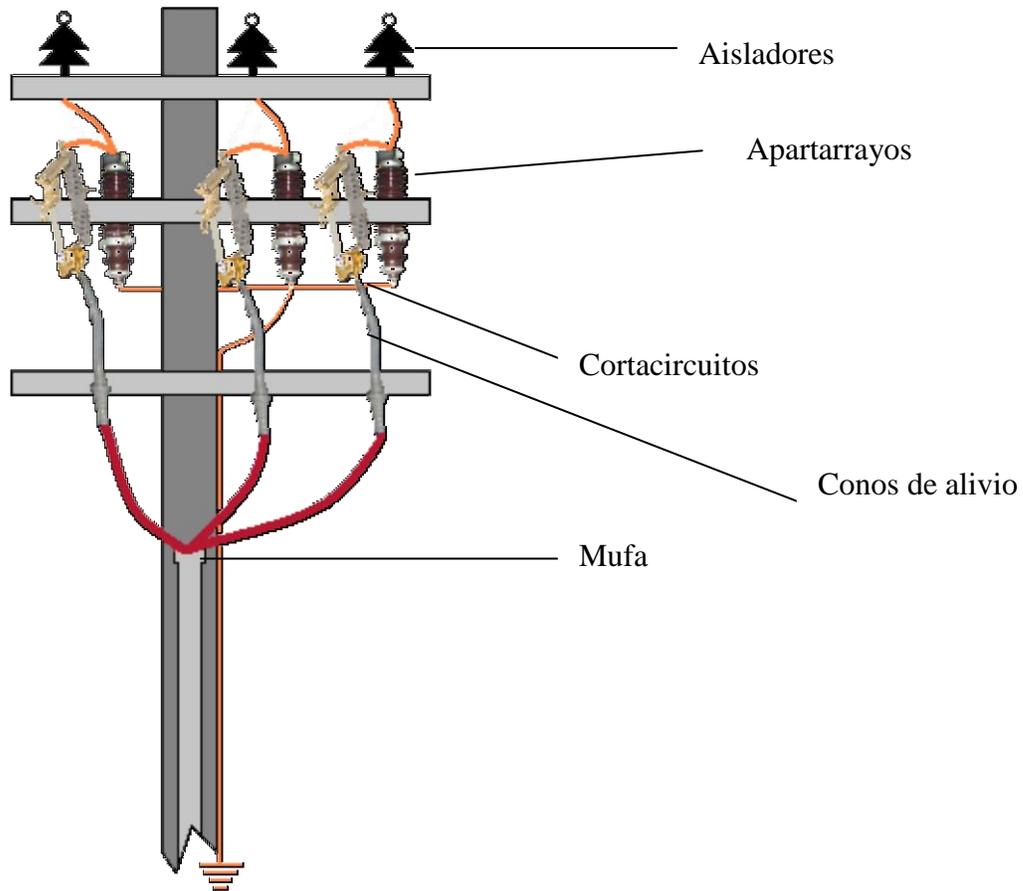


FIG 1.6

Ampliamente utilizadas para subestaciones industriales compactas, están formadas principalmente por aisladores, apartarrayos, cortacircuitos, mufa o terminales y varilla de tierra, todo esto sobre herrajes de hierro canal galvanizado montado en poste de concreto.

Este tipo de acometidas es la que se usa normalmente en subestaciones industriales compactas localizadas en zonas urbanas.

En la instalación de acometidas subterráneas se utilizan diferentes tipos de terminales, como las siguientes:

- Terminal Interior Premoldeada (TIP).



FIG 1.7

Esta terminal (TIP) ha sido diseñada para uso interior, en sistemas con voltaje de operación hasta 34.5 KV entre fases, neutro a tierra. El cono ha sido diseñado para operar adecuadamente a cualquier voltaje hasta 34.5 KV en cables de energía con pantalla eléctrica y aislamiento extruído (EP, XLP, PVC). La única

diferencia entre terminales de diferentes voltajes será la distancia de fuga que se deje al preparar el cable.

El cono de alivio, instructivo, lubricante y accesorios para la preparación de la terminal vienen todos integrados en un práctico empaque.

- Terminal Modular Intemperie (TMI).

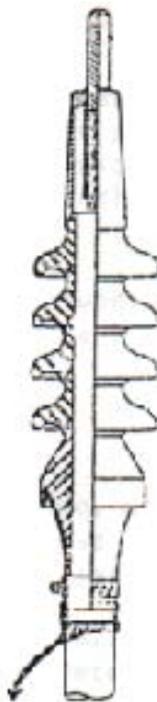


FIG 1.8

El sistema modular de terminales intemperie está diseñado para proporcionar una instalación rápida, confiable y versátil en cables de energía de media tensión (5-35 KV) con aislamiento extruído (EP, XLP, PVC).

Esta terminal modular es adecuada para cables con aislamiento extruído hasta 34.5 KV. Aunque diseñada para cables monofásicos, puede utilizarse en cables trifásicos, sellando la trifurcación con resina epóxica, cintas auto fundentes o “guantes” termo contráctiles.

La formulación de los compuestos elastomérico resistentes al tracking la hacen ideal para uso intemperie. Pero también pueden utilizarse las campanas para uso interior, donde se tenga limitaciones de espacio. En este caso (uso interior), no se instala el sello semiconductor superior, ni el conductor universal, sino una zapata convencional de compresión.

- Terminal Tipo Bayoneta (TTB).

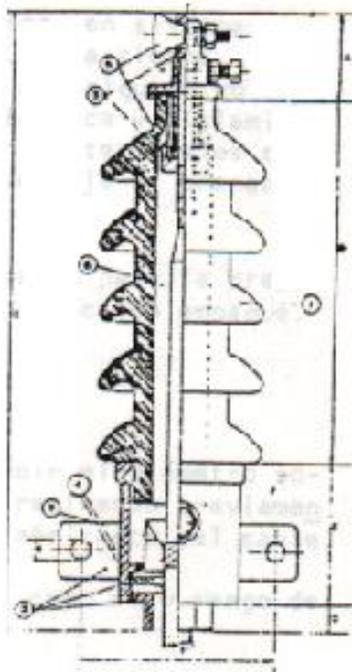


FIG 1.9

Las terminales TTB pueden ser utilizadas desde 5 hasta 35 KV con cables con conductor de cobre o aluminio, aislamiento de papel impregnado en aceite y forro de plomo, o cables con aislamiento extruído (XLP, EP, PVC, etc.).

- Cono de Alivio Prefabricado Tipo Banderola.

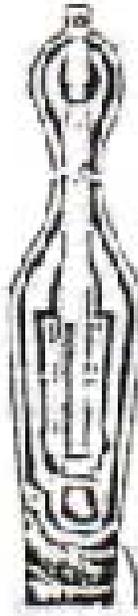


FIG 1.10

Descripción.

1.- Cinta No. 13, semiconductor que reduce los esfuerzos eléctricos, sumamente conformable y con respaldo de protección de seguridad.

2.- Cinta No. 23, para alto voltaje, autofusible, para prevención de fenómeno corona, resistente al ozono y solventes.

3.- Cinta No. 33, de cloruro de polivinilo, conformable, autoextinguible, excelente resistencia a la abrasión, álcalis, solventes e intemperie.

Tela tratada especialmente para no dejar residuos. Solvente para una perfecta limpieza del cable. Tela abrasiva de grano, no conductor. Cinturón de cobre con salida aislada para conexión a tierra, que le evita poner soldaduras. Compatibilidad con todos los materiales entre sí y para con los aislamientos existentes.

- Terminales de Porcelana Serie 5900.

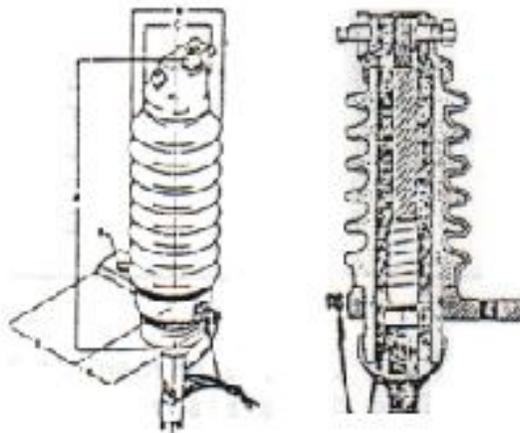


FIG 1.11

Existen 3 tamaños, en 5, 15 ó 25 KV que pueden ser utilizados para terminar cables desde 33.6 a 380mm² (2AWG a 750MCM) con pantalla o neutro concéntrico.

Una alta calidad en aislante de porcelana de proceso húmedo asegura la máxima confiabilidad para una superficie contra “arqueos” y al “paso conductor carbonizado”.

Los aislantes de porcelana son de material azul cielo, a fin de combinar contra el horizonte. Están hechas conforme a las especificaciones Munsell 589-7.0/04.

3M ha diseñado una tapa superior y especial en sello de metal, que no sólo asegura el sello permanente, sino que también elimina la necesidad de conectores internos o externos a los conductores de cobre. El contacto a presión es realizado por una cuña, que es dirigida contra el conductor por un tornillo de ajuste. Pruebas en diferentes ciclos de cargas han demostrado que este sistema de contacto por presión previene los sobrecalentamientos en la terminal. El contacto queda sellado cuando el compuesto elastomérico es vertido y se fragua. La conexión aérea del alambre se hace en la misma forma, teniendo las ventajas de ser fácilmente desconectable.

A fin de acomodar un mayor rango de cable con diferentes medidas y manejar fácilmente el blindado, el neutro concéntrico se vierte para moldear un aislante hecho a base de un compuesto elastomérico, el que se fragua alrededor del cable. Las instrucciones para ser instaladas son incluidas dentro de cada juego.

b) *Sección de medición.*



FIG 1.12



FIG 1.13

La sección de medición consta de un gabinete blindado con dimensiones adecuadas según el valor de la tensión, diseñado y provisto para recibir y alojar el equipo de medición de la compañía suministradora. Este gabinete tiene dos puertas con ventana de inspección, de material transparente e inastillable con manija y dispositivo para candado, además:

- Un bus trifásico de cobre electrolítico.
- Un sistema de tierras con capacidad adecuada.
- Conectores del tipo mecánico, tres para el bus principal y uno para conexión a tierra.

c) *Cuchillas de paso y prueba.*



FIG 1.14



FIG 1.15



FIG 1.16

La sección de cuchillas de paso y pruebas es un gabinete blindado con equipo adecuado según el valor de la tensión. Este gabinete tiene dos puertas con ventana para inspección y dispositivo para candado y en su interior aloja:

- Un juego de tres cuchillas trifásicas desconectadas para operar en grupo sin carga, tiro sencillo con dispositivo de apertura y cierre rápido.
- Un juego de tres accionamientos independientes por medio de volante y dispositivo de señalamiento (Abierto-Cerrado) y seguro mecánico con portacandado.
- Sistema de tierra con capacidad adecuada.

El objetivo de esta sección es proporcionar un medio de desconexión visible de la sección de transformación y distribución para efectos de mantenimiento, reposición de fusibles o la conexión del equipo patrón de medición de los equipos de medición de la propia subestación, sin interrumpir el suministro de energía eléctrica.

Las cuchillas tradicionales para alta tensión no pueden cerrarse en un circuito eléctrico sin el peligro para el operador, ni mucho menos abrirse con carga. Al separarse sus contactos no se interrumpe la corriente de inmediato, puesto que se forma un arco voltaico, a través del cual sigue fluyendo la corriente, esto representa un problema y una inseguridad en el punto de seccionamiento ya que el arco puede llegar a saltar a tierra o a fase adyacente originando un cortocircuito en el sistema, en el caso menos grave, el arco (en proceso de extinguirse) se restablece repetitivamente, dando origen a voltajes transitorios de recuperación (VTR), que son perjudiciales a los demás equipos instalados en el sistema. Por tal motivo, las cuchillas tradicionales tienen limitaciones de operación y de montaje, aún las que van provistas con cuernos de arqueado ya que sólo pueden interrumpir corrientes muy reducidas.

d) *Interruptor de apertura con carga a apartarrayos.*



FIG 1.17



FIG 1.18

La sección de interruptor, fusibles y apartarrayos, también es un gabinete blindado con dimensiones y equipo adecuado según el valor de la tensión.

El gabinete tiene una puerta con ventana de inspección de vidrio transparente e inastillable y manija con dispositivo para candado y en su interior aloja:

- Interruptor de carga de simple apertura, servicio interior, montaje vertical, 3 polos, operación en grupo por medio de palanca tipo recíprocante, con mecanismo de energía almacenada para la apertura y cierre rápido y disparo simultáneo en las tres fases en caso de operar algún fusible.
- Fusibles, tres de potencia.
- Juego de tres apartarrayos autovalvulares monopolares con el neutro conectado sólidamente a tierra.
- Accionamiento por medio de disco y palanca por el frente del tablero para la apertura y cierre manual de cortacircuitos, con bloqueo mecánico el cual

impide la apertura de la puerta si el interruptor está en la posición de "CERRADO".

- Bus trifásico de cobre electrolítico soportado por medio de aisladores de resina epóxica.
- Sistema de tierra con capacidad adecuada.
-

En las subestaciones compactas se utilizan normalmente 2 tipos de interruptores para abrir con carga:

- Interruptores de carga Alduti.
- Interruptores de carga Wickman.

Los interruptores de carga tipo *Alduti* tienen una gran versatilidad en aplicaciones físicas, reportando importantes ventajas para el usuario, ya que como no producen arco externo, pueden ser montados en subestaciones o en gabinetes metálicos en cualquier posición sin el peligro de las cuchillas convencionales. También como la interrupción del circuito se logra en el primer ciclo, cuando la corriente pasa por cero extinguiéndose el arco instantáneamente en el interior de la cámara.

En virtud de que los interruptores Alduti no están limitados por su operación y montaje, la selección de los mismos resulta sumamente sencilla, ya que solamente se toman en cuenta sus características de aplicación.

Para la selección de los interruptores son necesarias las características siguientes:

1º. Tipo de servicio.

- a) Servicio interior.
- b) Servicio intemperie.

2°. Tensión del sistema.

a) Servicio interior.

- 14.4 KV.

- 25 KV.

b) Servicio intemperie.

- 14.4 KV.

- 25 KV

- 34.5 KV

3°. Corriente del sistema.

- 600 Amp.

- 1, 200 Amp.

4°. Montaje.

- Horizontal.

- Vertical.

Aplicación.

Como ya se ha mencionado, los interruptores de carga tipo Alduti, hacen posible la conmutación de corriente de carga, en líneas alimentadoras de distribución, en subestaciones y en puntos de seccionamiento, teniendo una gran variedad de aplicaciones:

1.- Desconexión de transformadores.

- a) En paralelo.
- b) Con corrientes de carga.
- c) Con corrientes magnetizantes.

2.- Desconexión de líneas.

- a) Para dividir cargas.
- b) Con corrientes de carga.
- c) Con corrientes de la línea.

3.- Desconexión de cables.

- a) Para dividir cargas.
- b) Con corrientes de carga.
- c) Con corriente del cable.

4.- Desconexión en bancos de capacitares sencillos.

Montaje.

A diferencia de las cuchillas con cuernos de arqueado que requieren de un montaje horizontal con apertura hacia arriba, por la naturaleza ascendente del arco, al irse extinguendo; los interruptores de carga tipo Alduti pueden montarse en cualquier posición: horizontal hacia arriba, horizontal hacia abajo, en forma lateral o bien en forma vertical.

Los interruptores de carga tipo Alduti servicio interior, generalmente van montados en gabinetes en forma vertical hacia el frente o hacia los costados y en forma horizontal hacia abajo.

Los de servicio intemperie van montados en un poste, dos postes o en estructura en forma horizontal o vertical.

Para realizar el montaje de los interruptores se debe seguir cuidadosamente con el instructivo de instalación que se proporciona junto con el equipo.

El interruptor en aire *Wickman*, de operación en grupo bajo carga, tripolar de accionamiento vertical es usado para protección de circuitos de alto voltaje.

Son adecuados para instalarse en Subestaciones Unitarias, Compactas y Centros de carga ya sean para servicio interior o intemperie, para capacidades hasta de 3, 000 KVA, y voltajes que pueden variar desde 2, 400 hasta 24, 000 volts.

Características.

- 1.- Operación en grupo bajo carga, tripolar, de accionamiento vertical.
- 2.- Capacidad de hasta 3, 000 KVA y voltajes de 2, 400 a 24, 000 V.
- 3.- Equipados con portafusibles de alta capacidad interruptiva, con mecanismo de accionamiento en grupo en caso de falla de uno de ellos.
- 4.- Para desconectar basta oprimir un botón de disparo que opera mecánicamente o bien a través de una bobina de disparo.

Operación.

El desplazamiento de sus contactos se realiza en forma vertical por medio de un sencillo y robusto mecanismo de energía almacenada que provee el cierre y la apertura de los mismos en forma rápida y positiva, independientemente de la velocidad del operario.

Otros tipos de interruptores y sus características que de manera remota se usan en el IMSS son:

a) Interruptores Alstom tipo L-TRI 5.

Características.

- 1.- Cámaras planas para extinción del arco eléctrico.
- 2.- Dimensiones reducidas, simple y robusta construcción mecánica.
- 3.- Mecanismo de disparo manual y automático por medio de energía almacenada.
- 4.- El disparo siempre es tripolar, nunca queda operando en una fase.
- 5.- Apertura y cierre rápido, independiente de la velocidad de operación de interruptor.
- 6.- Operación confiable, mantenimiento reducido, colocación sencilla.

b) Interruptores Energomex (26 vueltas).

Características.

- 1.- Cámaras para extinción del arco eléctrico.
- 2.- Robusta construcción mecánica.
- 3.- Mecanismo de disparo manual y automático por medio de energía almacenada.
- 4.- El disparo siempre es tripolar, nunca queda operando en una fase.
- 5.- Cierre por medio de una manivela a la cual hay que dar vueltas (aprox. 26 veces).
- 6.- Relevadores de protección de sobrecorrientes.

c) Interruptores Driescher.

Características.

- 1.- Cámaras para extinción del arco eléctrico.
- 2.- Robusta construcción mecánica.
- 3.- Mecanismo de disparo manual y automático por medio de energía almacenada.
- 4.- El disparo siempre es tripolar, nunca queda operando en una fase.
- 5.- Apertura y cierre por medio de palanca.
- 6.- Apertura y cierre rápido, independiente de la velocidad de operación del interruptor.
- 7.- Operación confiable, mantenimiento reducido y colocación sencilla.

Los fusibles y cortacircuitos forman parte del grupo de dispositivos destinados a realizar la protección e interrupción de circuitos eléctricos de alta tensión, proporcionando a su vez, seguridad y confiabilidad en su operación y mantenimiento, facilidad de montaje, economía en su funcionamiento y, sobre todo, excelentes características eléctricas tanto para la conducción como para la interrupción de la corriente eléctrica dentro del rango para el cual han sido diseñados.

La unidad fusible y el elemento fusible para cada tipo de circuito están fabricados con plata. El elemento de plata, gracias a su muy alta temperatura de fusión, no pierde sus propiedades en caso de sobrecargas momentáneas, de esta manera conserva sus características de fusión, permitiendo una coordinación confiable con todo y cada uno de los dispositivos de protección del sistema.

Características de los cortacircuitos.

- 1.- Sin cámaras para extinción del arco eléctrico.
- 2.- La conexión y desconexión no es tripolar, es de acción individual por medio de pértiga.
- 3.- Su accionamiento siempre debe ser sin carga.
- 4.- Fusibles de protección integrados en la propia canilla que al accionarse desconecta sólo esa fase.

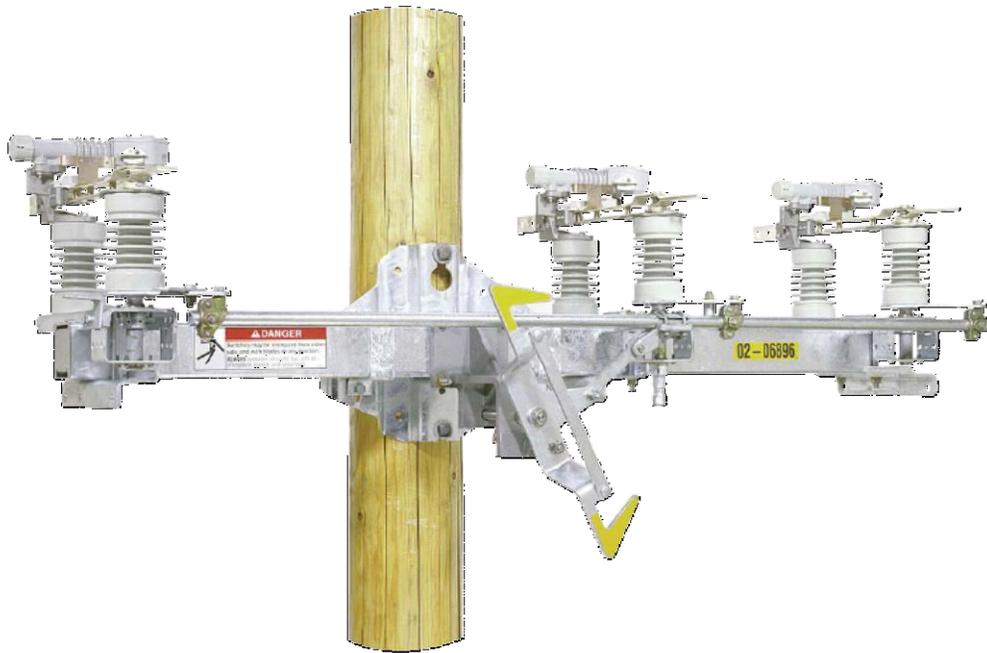


FIG 1.19

Apartarrayos.**FIG 1.20**

La función básica del apartarrayos es proteger las instalaciones eléctricas y equipo de subestaciones, principalmente los transformadores eléctricos, cuando en la línea se produce una sobretensión que puede ser debida a una caída de rayos en puntos cercanos u operación de interruptores también cercanos a las instalaciones; dicha sobretensión se deriva a tierra en forma de corrientes transitorias muy elevadas que pasan a través de las distancias de arqueo de los cilindros autovalvulares hasta la terminal de tierra, pasando por el indicador de fallas.

El apartarrayos debe ser capaz de descargar las sobretensiones y de interrumpir la corriente permanente cuando termine el primer medio ciclo de la frecuencia normal de la línea donde se presenta la sobretensión.

Esto significa la extinción completa del fenómeno en 1/120 de segundo a 60 c.p.s.

Características de diseño.

1) Capuchón aislante.

Todo apartarrayos lleva en la terminal de alta tensión, un capuchón aislante. Este capuchón es moldeado en PVC, el cual es resistente al aceite, agua, alcaloides, ácidos e intemperie. Adicionalmente de proteger a los cilindros contra descargas de alta tensión, este capuchón es excelente contra el daño de pájaros y ardillas. Se instala fácilmente presionándolo fácilmente en el perno de la terminal superior y en cambio, requiere 4.5 kgs. para removerlo.

Todos los capuchones llevan una ranura para la entrada del cable y un recorte marcado para el caso de instalación con cable continuado.

2) Terminal superior y conector.

Construída con una alta resistencia de aleación no ferrosa, esta terminal así como la tapa superior, van estañadas electrolíticamente para que puedan conectarse conductores de cobre o aluminio desde el número 14 de alambre sólido, hasta el número 2 en cable.

Para asegurar un agarre efectivo, la tapa de la terminal tiene realces con crestas agudas formando anillos concéntricos que se encajan en el conductor durante la instalación. La grapa estañada de la terminal con su tuerca de 12.7 mm. (1/2") con 20 hilos, son a prueba de corrosión. En la parte lateral de la tapa superior, tiene marcada la tensión nominal de operación en cada apartarrayos.

3) Conjunto de cámaras de arqueo.

Los apartarrayos tienen la característica de un diseño especial de cámaras de arqueo, consistente de varias distancias de fuga, conectadas en serie y formadas por electrodos cilíndricos y anillos de latón. Estas cámaras de arqueo están arregladas en forma que alargan por sí solas el arco de descarga. La onda de corriente formada por los electrodos dan origen a un flujo magnético que separa el arco y lo amplía, alejándolo de su punto de iniciación. Este arrastre del arco evita que se flameen y quemen los electrodos, con lo que se reduce la radiointerferencia, se uniformizan las características de descarga y se prolonga la vida del apartarrayos. Adicionalmente, el arco queda limitado entre placas frías de cerámica que permiten al apartarrayos mejorar los valores de corriente de extinción.

4) Resorte de contacto con derivador.

Un resorte a compresión mantiene todas las partes internas, con un buen contacto eléctrico y mecánico, para evitar daños por desacomodo de piezas durante el manejo o transporte de las unidades. El derivador de cobre elimina los efectos inductivos del resorte en espiral y hace una conducción más efectiva, que en otra forma alteraría las características de protección.

5) Cilindros autovalvulares.

Los cilindros autovalvulares en los apartarrayos de distribución, son usados para limitar la corriente de extinción a un valor que pueda ser manejado por las cámaras de arqueo.

Estos cilindros de nuevo diseño, son formados por cristales de carburo de silicio y amalgamados en cerámica por medio de un moldeado a grandes presiones. Cada cilindro va revestido exteriormente con un material aislante y posteriormente

cocido en hornos a alta temperatura durante la cual se realiza la vitrificación. En este proceso, el material aislante exterior se integra al cuerpo de carburo de silicio, para protegerlo de arcos externos superficiales. El proceso de cocimiento aumenta considerablemente la capacidad térmica del cilindro. Posteriormente, a los cilindros se les aplica una capa de pintura de aluminio en ambos extremos transversales para garantizar una buena conexión eléctrica entre cilindros.

Los cristales de carburo de silicio que son el elemento básico para la operación del apartarrayos, tienen la propiedad de poseer una baja resistencia a las descargas transitorias de alta frecuencia, así como una alta resistencia a las tensiones de baja frecuencia, usuales en las líneas de transmisión. Las características de resistividad no proporcional, limitan la corriente de extinción a valores que pueden ser controlados por las cámaras de arqueo.

6) Porcelana fabricada bajo proceso húmedo.

Esta es de color chocolate formando un aislador de alta resistencia, resultado de un proceso húmedo perfeccionado, revestido con esmalte de compresión. Mientras es más pequeño y ligero, el cuerpo de porcelana está formado por faldas profundas para obtener una máxima distancia de fuga.

7) Abrazadera galvanizada de sujeción.

Se logra una sujeción sencilla a la cruceta, según normas NEMA, con la abrazadera de hierro galvanizada en caliente, que se proporciona con cada apartarrayos.

8) Indicador de fallas.

Está formado por una copa de baquelita de alta resistencia y a prueba de intemperie, que funciona instantáneamente asegurando una protección positiva, evitando que se sostenga la falla a tierra y dando una indicación visual de cual apartarrayos está fuera de servicio.

9) Sello soldado.

El adelanto más importante como medio de un perfecto sello, no depende de ningún empaque que estaría sujeto a deterioro a través del tiempo. Este sistema primero se usó hace tiempo, en la técnica del sello de aisladores para capacitores Westinghouse, el cual asegura una permanente unión entre la porcelana y la parte metálica, que no envejece ni se deteriora en el servicio a la intemperie. El sello no puede ser dañado físicamente sin fracturar primero la porcelana.

Construcción.

El cuerpo exterior está hecho de baquelita de alta resistencia, dentro de la cual van: el elemento de control, la distancia de fuga y el perno terminal de tierra. Este cuerpo es sellado independientemente del apartarrayos por medio de sellos anulares de neopreno y fueron elegidos por su excelente resistencia a deformaciones.

El elemento de control consiste de una bobina de calentamiento y de un cartucho de pólvora a prueba de humedad. La característica de tiempo-temperatura del conjunto de bobina y cartucho, se ha coordinado cuidadosamente para asegurar que el cartucho nunca opere cuando las funciones del apartarrayos son normales y en cambio, siempre operará si el apartarrayos deja de interrumpir el arco. En paralelo con la bobina y el cartucho, queda localizada la distancia de fuga. La función de esta distancia es puntear las descargas a tierra, durante las altas

frecuencias de impulso, evitando así que operen la bobina y el cartucho cuando las condiciones son normales.

Este indicador de fallas es libre del efecto de radiofrecuencia, ya que la distancia de fuga es puentada por la bobina, descargando cualquier corriente de fuga que pase por el apartarrayos. El arreglo de la bobina protege la copa moldeada de baquelita de cualquier descarga externa, debido a la corriente de fuga que se origina sobre la superficie exterior de los apartarrayos cuando se contaminan, también manteniendo el cartucho fuera de cualquier trayectoria de corriente de fuga.

Operación.

La descarga de un rayo cae sobre una línea y pasa por el interior del apartarrayos hacia tierra. Al llegar al indicador de fallas, esta descarga tiene que elegir entre dos caminos: a través de la bobina o a través de la distancia de fuga. Como la inductancia de la bobina resulta alta al cociente dA/dt de la descarga, se origina una caída de tensión ($E=ZdA/dt$) a través de la bobina que excede la tensión de fuga de la distancia.

Por lo tanto, la corriente pasa a través de la distancia de fuga y de ahí a tierra. Una vez que la descarga ha terminado, la corriente remanente es la de extinción y en estas condiciones la frecuencia es cercana a la normal de la línea de transmisión, por lo que dejará pasar la corriente por la distancia de fuga y se irá por la bobina a tierra. La bobina está hecha de alambre de suficiente sección para poder manejar la corriente normal de extinción, que no dura más de medio ciclo debido a la actuación de las cámaras de arqueo. Ahora bien, si el apartarrayos se daña, el indicador de fallas queda sujeto a una corriente de extinción de mayor duración, lo cual calentará dicha bobina y ésta a su vez, originará la explosión del cartucho. El cartucho al explotar, rompe la baquelita a lo largo de la sección más débil, y por lo tanto, la terminal de tierra se separará del apartarrayos instantáneamente.

Indicador de fallas.

El indicador de fallas tiene como objeto desconectar la terminal de tierra, en caso de una remota falla del apartarrayos. Es factible que un apartarrayos falle bajo condiciones adversas y anormales, tales como corrientes excesivas por descargas de rayos, tensiones anormales en el sistema o combinaciones de los dos casos anteriores.

Junto con el indicador de fallas, el apartarrayos tiene, en la tapa inferior, un agujero de ventilación que opera únicamente cuando el apartarrayos falla, liberando cualquier presión interna. En caso de que el indicador de fallas opere, basta una pequeña corriente de falla para fundir la soldadura que tapa el agujero de ventilación. A corrientes mayores de falla, se origina un arco entre la parte rota del indicador de fallas y el extremo de la tapa inferior. Este arco produce suficiente calor para perforar la tapa, permitiendo la liberación total de la presión interna. Ninguna otra condición origina suficiente calor para fundir la soldadura.

Tensión nominal del apartarrayos.

La tensión nominal del apartarrayos es el valor efectivo de la tensión alterna de frecuencia fundamental (60Hz) a la cual se efectúa la prueba de trabajo, y que puede aparecer en forma permanente en el apartarrayos sin dañarlo.

A esta tensión del apartarrayos se extingue la corriente de frecuencia fundamental, por lo que se conoce también como “tensión de extinción del apartarrayos”

Tensión de arqueo.

La tensión de arqueo es la magnitud de la tensión a la cual se produce el arqueo en el apartarrayos.

Corriente nominal de descarga.

Es la magnitud de la corriente que el apartarrayos descarga a tierra sin que opere el indicador de falla. La tensión residual del apartarrayos depende de la corriente de descarga.

1.3 Sistema de tierra.

Las instalaciones eléctricas deben estar diseñadas para prevenir el peligro de cualquier contacto accidental de las partes metálicas que rodean a los elementos que se encuentran bajo tensión, los cuales deben estar provistos de los apoyos y aisladores adecuados. Aún con estas medidas de seguridad permanece el peligro de que estas partes normalmente aisladas tengan contacto con las partes que no están a tensión y se tenga una diferencia de voltaje con respecto al suelo (tierra) que podría causar algún accidente.

Este peligro se puede reducir y eventualmente eliminar estableciendo una conexión a tierra conveniente que se denomina "sistema de tierra".

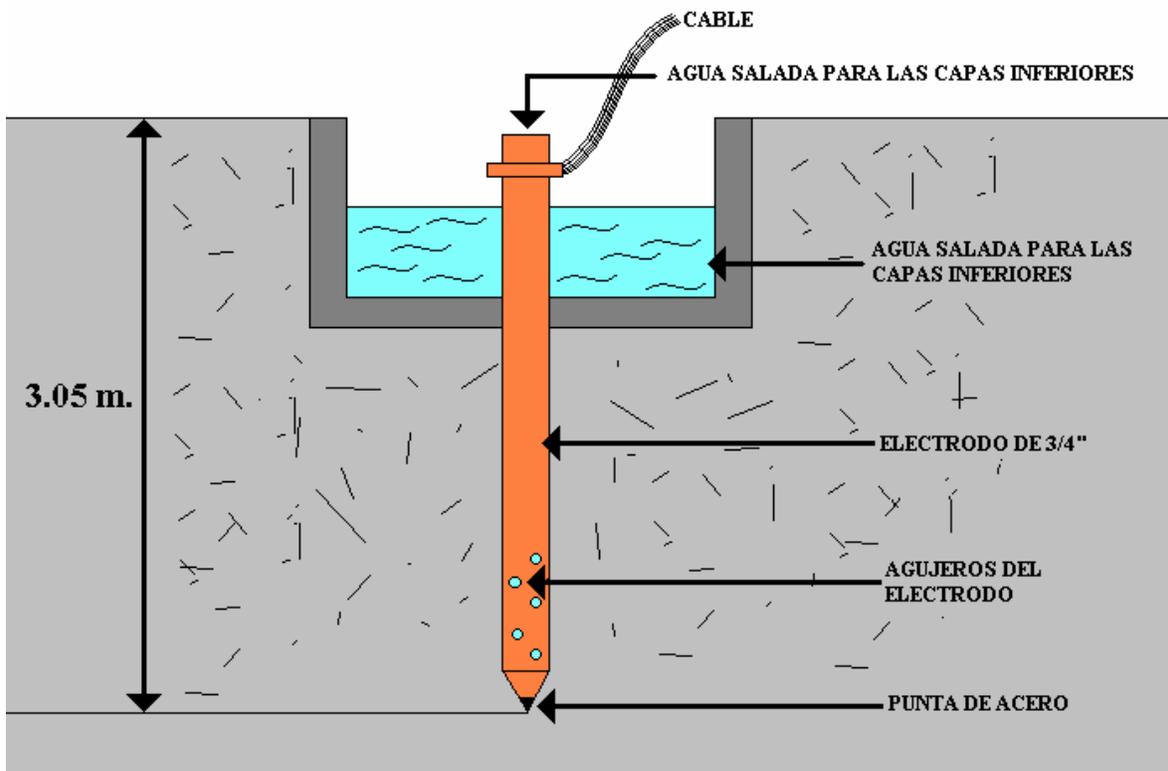


FIG 1.21

1) Conexión a tierra para protección.

Es necesario conectar eléctricamente al suelo aquellas partes de las instalaciones eléctricas que no se encuentran sujetas a voltaje normalmente, pero que pueden tener diferencias de voltaje a causa de fallas accidentales, tales como pueden ser: los tableros eléctricos, el tanque de los transformadores o interruptores, la carcasa de las máquinas eléctricas, la estructura metálica de las subestaciones o de las líneas de transmisión y en general todos los soportes metálicos de equipos y aparatos.

2) Conexión a tierra para funcionamiento.

Con el fin de mejorar el funcionamiento, tener mayor seguridad y mejorar la regularidad de operación es necesario establecer una conexión a tierra en determinados puntos de una instalación eléctrica, como por ejemplo los neutros de los alternadores, de los transformadores, en los devanados conectados en estrella, la conexión a tierra de los apartarrayos, de los hilos de guarda, de los transformadores de potencial y algunos otros.

3) Factores que determinan la resistencia de las conexiones a tierra.

I.- Factores del terreno.

- 1.- Clase de terreno.
- 2.- Humedad del terreno.
- 3.- Salinidad del terreno.
- 4.- Temperatura del terreno.

II.- Factores de los electrodos.

- 1.- Profundidad de los electrodos.
- 2.- Diámetro de los electrodos.
- 3.- Separación de los electrodos.
- 4.- Número de los electrodos.
- 5.- Material de los electrodos.

A continuación se explica como influye cada uno de los factores anteriores.

I.- Factores del terreno.

1.- Clase del terreno. La clase del terreno es de primerísimo importancia para un buen sistema de tierras. Para dar una idea de la resistencia eléctrica que tiene cada tipo de terreno, se compara la resistencia del cobre contra la resistencia del terreno que es mucho mayor.

Clase de terreno	Resistencia (ohm)	Comparación con el cobre
Suelo pantanoso	50	29 veces la del cobre
Tierra de labor	100	57 veces la del cobre
Tierra de arcilla	100	57 veces la del cobre
Tierra arenosa	600	342 veces la del cobre
Suelo guijarroso	1, 000	570 veces la del cobre
Suelo rocoso	3, 000	1, 710 veces la del cobre

2.- Humedad del terreno. Cuanto mayor sea la humedad del terreno, se reducirá la resistencia eléctrica del terreno, especialmente cuando la humedad es superior al 15%. Para un buen sistema de tierras se elegirá un terreno suficientemente húmedo.

3.- Salinidad del terreno. Al aumentar la salinidad del terreno, la resistencia eléctrica del terreno disminuye. Para un mejor resultado conviene tratar el terreno con sal común, además ayuda a conservar la humedad del terreno.

4.- Temperatura del terreno. Las temperaturas de cero grados centígrados o menores, congelan el agua contenida en el terreno su resistencia eléctrica. La temperatura deseable es no menor de 10°C pero como no es práctico calentar el terreno, surge la necesidad de enterrar los electrodos hasta una profundidad que alcance capas menos frías de la tierra y por ello fuera de la zona de congelación del agua. Cuanto más alta sea la temperatura del terreno, menos será su resistencia eléctrica.

II.- Factores de los electrodos.

1.- Profundidad de los electrodos. La profundidad mínima de los electrodos de $\frac{3}{4}$ de pulgada es de 2.5 metros, pero cuanto mayor profundidad tenga es mejor. A mayor profundidad alcanzada por los electrodos, menor será la resistencia eléctrica del sistema de tierras.

2.- Diámetro de los electrodos. El diámetro del electrodo puede ser de $\frac{3}{4}$ de pulgada o mayor si es necesario, pero cuanto mayor sea el diámetro del electrodo, se aumenta la superficie de contacto entre el electrodo y el terreno y por ello la resistencia eléctrica de contacto disminuye. Cuanto mayor sea el diámetro del electrodo, menor será la resistencia eléctrica del sistema de tierras.

3.- Separación de los electrodos. Para electrodos de $\frac{3}{4}$ de pulgada, enterrados a 3 metros, se ha observado que a partir de 2 metros de separación de los electrodos, la resistencia eléctrica de la toma de tierras ya no disminuye notablemente. Para separaciones menores de 2 metros, la resistencia eléctrica se eleva mucho. La separación mínima aceptable entre los electrodos será de 2 metros y a separaciones mayores y razonables, la resistencia eléctrica del sistema de tierras disminuye. Para fines prácticos se tomará una separación entre electrodos de 3 metros.

4.- Número de electrodos. A medida que se ponen más electrodos, por el hecho de que la resistencia eléctrica de cada uno de ellos quede conectada en paralelo, la resistencia eléctrica total disminuye. Cuanto mayor sea el número de electrodos interconectados, menor será la resistencia eléctrica de la toma de tierras.

5.- Material de los electrodos. Para una buena conductividad de conexiones a tierra el material utilizado es normalmente cobre electrolítico con una pureza de 99.9%. La conductividad de la varilla aumenta considerablemente cuando tiene alma de acero de bajo contenido de carbón.

e) *Acoplamiento.*

Esta sección sin puertas resguarda los buses de conexión de los fusibles de potencia del módulo anterior y los bornes primarios del transformador, conservando las distancias mínimas de Norma.

f) Transformación.



FIG 1.22

La sección de transformación de una subestación eléctrica es la más importante porque es en ella en donde se transfiere la energía eléctrica cambiando el valor de la tensión a los valores de utilización.

Contiene un transformador de distribución o potencia, marca IESA, sumergido en aceite, auto enfriado, 3 fases, 60c.p.s., adecuado para operar a 2,300m.s.n.m., con una elevación de temperatura de 65°C sobre la del ambiente, 4 derivaciones de $\pm 2.5\%$ c/u en el primario, excepto el de 23Kv, 150Kv BIL., con conexión Delta que está provisto con 5 derivaciones de capacidad plena de 1, 000V c/u, 1 arriba y 4 abajo de 23Kv.

Con estas derivaciones, el transformador puede operar satisfactoriamente.

En los transformadores eléctricos industriales, las terminales de alto voltaje están marcadas con H1, H2 y H3 y las de bajo voltaje con X1, X2, X3 y X0.

El devanado secundario es de 220/127 V ó 440/254 V, conexión estrella con el neutro accesible.

Los bornes primarios y secundarios del transformador, irán dentro de una cámara de terminales, para permitir el acoplamiento directo a la subestación y al tablero de baja tensión, o conexión a este último.

Complementado con los accesorios normales y aceite aislante necesario.

Construido cumpliendo con lo establecido por las normas ANSI.

Tipos de transformadores.

- Transformadores de distribución tipo pedestal. Conjunto formado por un transformador de distribución con un gabinete integrado en el cual se incluyen accesorios para conectarse en sistemas de distribución subterránea, éste conjunto está destinado para instalarse en un pedestal y para servicio en intemperie (NOM-002-SEDE-1999).



FIG 1.23



FIG. 1.24

- Transformadores de distribución tipo poste. Es aquel transformador de distribución que por su configuración externa esta dispuesto en forma adecuada para sujetarse o instalarse en un poste o en alguna estructura similar (NOM-002-SEDE-1999).



FIG 1.25

- Transformadores de distribución tipo subestación. Es aquel transformador de distribución que por su configuración externa está dispuesto en forma adecuada para ser instalado en una plataforma, cimentación o estructura y su acceso está limitado por un área restrictiva (NOM-002-SEDE-1999).



FIG 1.26

-Transformadores de distribución tipo sumergible. Es aquel transformador de distribución que por su configuración externa está dispuesto en forma adecuada para ser instalado en un pozo o bóveda y que estará expuesto a sufrir inundaciones (NOM-002-SEDE-1999).

Cambiador de derivaciones.

Por lo general se manejan en el IMSS dos tipos de cambiador de derivaciones:

- Externo. El cual se acciona desde el exterior y el cambio es en las tres fases con un solo movimiento.
- Interno. El cual se acciona dentro del transformador y el cambio es individual en cada una de las fases.

En ambos casos la variación de tensión es en el lado primario del transformador y se debe de realizar sin energía y aterrizado.

g) *Media tensión.*

Para la sección de media tensión se utilizan como terminales subterráneas conector de codo para corte de sistemas de potencia, el cual es una terminación de enchufe completamente blindada y aislada para la conexión de cable subterráneo en transformadores, gabinetes de conmutación y uniones equipadas con boquillas de corte. El conector de codo y la boquilla comprenden las componentes esenciales en todas las conexiones de corte.



FIG 1.27

h) *Baja tensión.*

FIG 1.28

Finalidad.

Agrupar en gabinetes compactos autosoportados, dispositivos de distribución y control de la energía eléctrica en baja tensión (hasta 600 volts), así como elementos para la protección de los conductores y equipos eléctricos de las instalaciones para obtener un medio seguro y eficiente de distribución, control y medición de la energía eléctrica utilizada.

Está constituida por los siguientes elementos:

a) Gabinete. Son las cajas metálicas que tienen por objeto formar el soporte de los equipos eléctricos de control y protección protegiéndolos del medio ambiente y evitando el contacto accidental de la persona con las partes energizadas, pueden ser de tipo interior o intemperie.

b) Barras. Son los elementos de conexión entre el interruptor general y los derivados, en los sistemas trifásicos son tres barras rectangulares de aluminio o cobre electrolítico.

c) Interruptores. Parte principal del tablero de baja tensión, pueden ser de fusibles limitadores de alta capacidad, interruptores termomagnéticos o interruptores electromagnéticos individuales o agrupados en interruptor general y derivados.

Los componentes principales en esta sección son los interruptores el cual es un elemento de operación con carga que además sirve de protección a tiempo de retardo en sobrecorrientes instantáneas en cortocircuitos.

Los interruptores están formados básicamente por tres componentes:

- El mecanismo de operación. El mecanismo de apertura puede ser operado en forma manual, mediante el uso de la palanca o manija de operación o

automáticamente mediante la acción de soltar el sujetador del gatillo de disparo.

- Elementos de disparo. La función de cada elemento de disparo es la de accionar el mecanismo en caso de una sobrecorriente prolongada o de cortocircuito. Para efectuar esta operación, se ha provisto de una acción térmica y magnética combinada.

- Los supresores de arco. La extinción del arco se efectúa en $\frac{1}{2}$ ciclo aproximadamente.

Tipos de interruptores usados en el IMSS.

- Interruptores termomagnéticos en caja moldeada.



FIG 1.29

- Interruptores termomagnéticos H-2 y HL-2 de Federal Pacific.



FIG 1.30

- Interruptores electromagnéticos.



Interruptor general de baja tensión. De navajas o termomagnético en subestaciones con transformadores de 15 a 150 KVA y 220/127 V. En subestaciones de 225 a 2, 500 KVA se instalan los interruptores de potencia en aire tipo H-3.

Interruptores derivados de baja tensión. Pueden ser de navajas, termomagnéticos, arrancadores o centros de control de motores y tableros de alumbrado según sea necesario.

Los interruptores electromagnéticos para bajo voltaje tipo H - 2 y HL – 2, están diseñados para controlar y proteger circuitos eléctricos de fuerza que operan a tensiones máximas de 250 V C.D. ó 600 V C.A.

Estos aparatos operan de manera segura conectando o desconectando manualmente la carga de los circuitos de fuerza y automáticamente cuando se presentan condiciones que provocan sobre intensidades de corriente en cualquiera de las fases que protegen. El montaje de estos interruptores es fijo o removible.

En los primeros, las terminales de línea y carga han sido diseñados para atornillar firmemente a zapatas de conexión o a las barras conductoras del tablero

Todos los interruptores H – 2 y HL – 2, efectúan su cierre mediante la energía almacenada en un resorte y están equipados con una palanca para comprimir o cargar manualmente dicho resorte. Los interruptores de operación eléctrica llevan instalado un equipo adicional operado por un motor para cargar automáticamente el resorte.

Los interruptores tipo HL – 2 son similares a los H – 2, pero están equipados con fusibles limitadores de alta capacidad interruptiva montados en la parte posterior y del lado de la línea del aparato. Todos los interruptores HL – 2, son de montaje removible.

i) Aisladores.

Tipos

Los aisladores en las subestaciones eléctricas se emplean como elementos de montaje y sujeción de barras y conductores, existen básicamente dos tipos:

- Tipo soporte
- Tipo suspensión.

El empleo de cada uno de estos tipos está sujeto al elemento conductor usado en el sistema de barras de la instalación, así por ejemplo si se emplea barra sólida, el aislador será de soporte; pero si se emplea cable, entonces es común el empleo de aisladores tipo suspensión formado por cadenas montadas generalmente en posición horizontal.

Se fabrican para uso interior y exterior por lo general de vidrio vides y porcelana, aunque para instalaciones interiores también se fabrican de resinas fundidas.

Selección.

Los aisladores tipo soporte se usan para instalaciones de alta tensión y por la alta resistencia de la resina sintética contra influencias climatológicas, y de tipo suspensión se puede usar en ambientes de aire húmedo y en climas tropicales de temperatura ambiente de hasta 90°C.

Para la selección de las dimensiones de los aisladores depende de la tensión nominal del sistema, los fabricantes recomiendan en sus catálogos, los adecuados basados en pruebas de laboratorio que cumplen con las normas establecidas.

CAPITULO 2. SISTEMAS DE CONTROL.

2.1 Introducción

El sistema de control de una subestación es el conjunto de instalaciones en baja tensión necesarias para controlar en forma manual o automática las instalaciones de alta tensión y comprenden lo siguiente:

- Dispositivos de mando para la operación del equipo de alta tensión (apertura y cierre de interruptores y cuchillas desconectadoras motorizadas) y el equipo auxiliar necesario para la correcta ejecución de las maniobras (diagrama mímico e indicadores luminosos de posición).
- Dispositivos de control automáticos tales como recierre automático de interruptores, sincronización automática, cambiador automático de derivaciones de transformadores, transferencia automática de potenciales, etcétera.
- Dispositivos de alarma sonoros y luminosos, que permiten indicar al operador el funcionamiento de una protección por relevadores o de alguna condición anormal en la subestación.
- Aparatos registradores (Sección 2.5) tales como los osciloperturbógrafos, o los registradores de eventos y de disturbios, destinados a suministrar información sobre los mismos que afecten a la subestación, la operación de los relevadores e interruptores y a la aparición de condiciones anormales de funcionamiento en el equipo de la subestación.
- Los sistemas de control de las subestaciones se pueden clasificar por su localización o por el tipo de operación:

Por su ubicación:

- Control local
- Control remoto

Por el tipo de operación:

- Control manual
- Control automático.

2.2 Control local

Los sistemas de control local son utilizados por el operador para realizar las maniobras en forma manual del equipo de la subestación, desde el tablero de control localizado en el salón de tableros de la propia subestación.

En subestaciones no telecontroladas solo se tiene control local por lo cual es necesario que permanentemente se encuentre un operador para vigilar el correcto funcionamiento de la subestación y realizar las maniobras que se requieran desde el tablero de control, auxiliándose de los sistemas automáticos de control y protección para ciertos eventos.

El sistema de control local de las subestaciones, se encuentra montado en un tablero que contiene básicamente conmutadores, elementos de señalización, cuadro de alarmas, diagrama mímico y equipo de medición.

2.2.1. Conmutadores

La operación de los diferentes equipos de la subestación se realiza por medio de conmutadores y de acuerdo con la función que vayan a efectuar, pueden ser básicamente los siguientes:

- Los conmutadores de control que se utilizan para el control de los interruptores y cuchillas motorizadas.
- Los conmutadores para equipos de medición se emplean para la medición de corriente o de tensión de un circuito trifásico, permitiendo utilizar únicamente un ampérmetro o un voltmetro según sea el caso.
- Los conmutadores de sincronización que se requieren para poder efectuar en forma manual o automática la sincronización de dos secciones del sistema en la subestación.
- Los conmutadores de transferencia de potenciales que se requieren para realizar la transferencia en forma manual, de la carga de los transformadores de potencial de uno de los juegos barras colectoras, a los transformadores del otro juego de barras colectoras. Este tipo de conmutador se ha ido sustituyendo por la transferencia automática de potenciales en las subestaciones no telecontroladas.

2.2.2 Tipos de señalización

La señalización que se utiliza para el control local de las subestaciones en conjunto con los conmutadores de control para la operación de los interruptores y cuchillas motorizadas.

2.2.2.1 Luz roja y verde

La luz roja que supervisa al circuito de disparo del interruptor de potencia, se mantiene encendida cuando el interruptor está cerrado. La supervisión del circuito de disparo no es muy confiable debido a que, aun estando el interruptor cerrado, el circuito de disparo se puede abrir al ocurrir una falla del propio circuito por lo que se apaga la lámpara. El operador puede no percatarse de que tanto la lámpara roja como la verde están apagadas y especialmente en tableros de subestaciones grandes, en donde se localizan gran número de lámparas indicadoras de las cuales más de la mitad se encuentran encendidas

Para evitar que el circuito de disparo del interruptor se abra debido a una falla en el propio circuito, las bobinas de disparo son alimentadas por medio de un circuito llamado *no protegido (NP)*, que está conectado a través de unas cuchillas desconectadoras y sin protección a las barras generales de corriente directa del tablero de servicio de estación, como se muestra en la Fig. 2.1. Con lo que se asegura la alimentación constante del circuito de disparo, ya que el interruptor termomagnético, que conecta a las barras principales de corriente directa a las terminales de la batería, solo operará instantáneamente para una falla próxima a las barras, pero se tiene el riesgo de que al presentarse una falla en el circuito *no protegido* no será librada sino hasta un tiempo después, con lo que se provoca el abatimiento de la tensión de la batería. Esta condición es preferible, para evitar que el interruptor termomagnético dispare antes de que la tensión de la batería descienda por debajo del valor mínimo de operación de los interruptores de potencia, como también es preferible que se llegue a dañar el circuito de alimentación posteriormente al disparo del interruptor. Cuando el interruptor de potencia se abre se enciende la luz verde.

El circuito de cierre del interruptor de potencia y el de control de las cuchillas

motorizadas se alimentan por otro circuito denominado *protegido (P)* como se puede observar en la Fig. 2.1. Este circuito *protegido* está conectado a las barras generales de corriente directa del servicio de estación a través de un interruptor termomagnético.

2.2.2.2 Luz fija e intermitente

La Fig. 2.2 muestra el diagrama de control de un interruptor de potencia con dos bobinas de disparo, una de las bobinas se emplea para el disparo del interruptor por la operación de los relevadores de protección y la otra bobina para la apertura del interruptor por control manual

La lámpara indicadora está integrada al conmutador de control para la operación de los interruptores y de las cuchillas desconectadoras motorizadas. Cuando existe concordancia entre la posición en campo del interruptor o la cuchilla y la posición del conmutador de control correspondiente, la lámpara indicadora permanece apagada. Al haber discordancia, como puede ser el caso de que la protección haya disparado al interruptor, la lámpara indicadora se enciende y empieza a titilar hasta que el operador restablece manualmente la concordancia en el tablero de control. Para comprobar que todas las lámparas indicadoras se encuentran en buen estado se cuenta con un conmutador, montado en el tablero de control, que permite encender todas las lámparas.

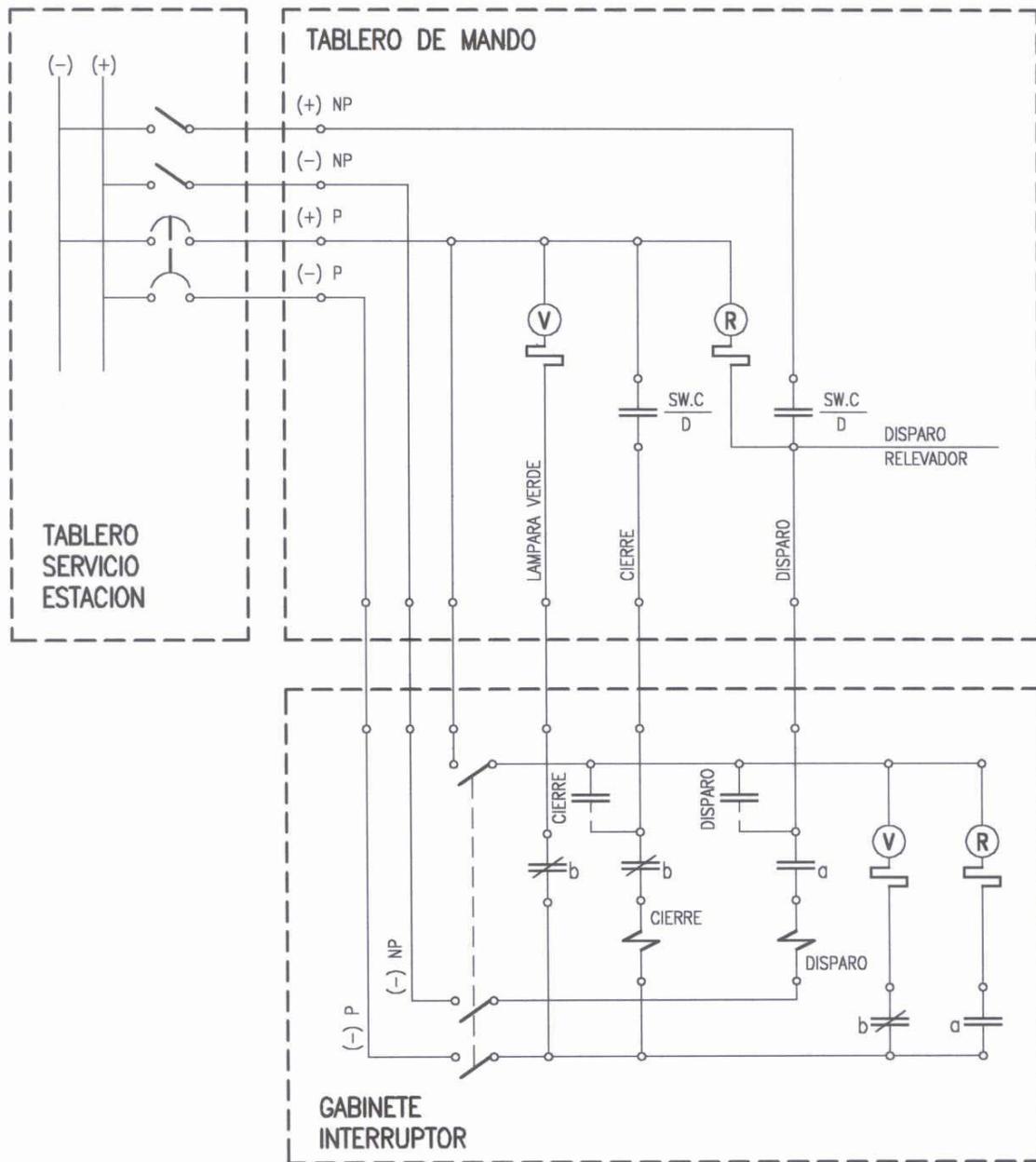


FIG. 2.1 SISTEMA DE MANDO DE LÁMPARAS DE LUZ ROJA Y VERDE

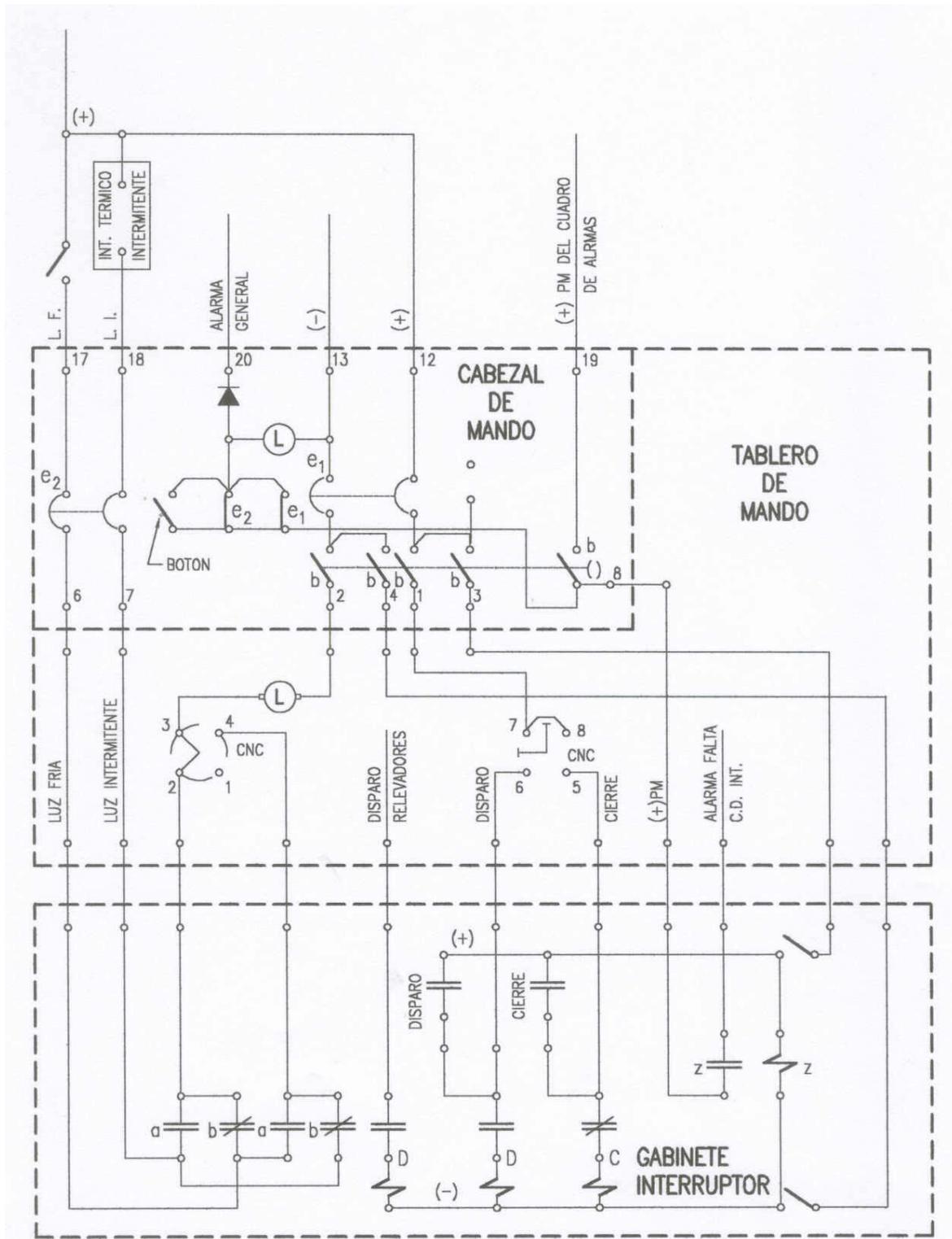


FIG., 2.2 SISTEMA DE MANDO DE LÁMPARA DE LUZ FIJA E INTERMITENTE

2.2.3 Diagrama mímico

Para el control local de una subestación es necesario que el operador pueda darse cuenta del estado que guardan los interruptores de potencia y cuchillas desconectadoras de la subestación para poder realizar las maniobras necesarias. Para esto, se utiliza el diagrama mímico que representa sobre el tablero de control el diagrama unifilar de la subestación, cuyas líneas y detalles están formados por listones de acrílico de colores. El diagrama mímico debe estar de acuerdo al código de colores indicado en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Código de colores.

Tensión kV	Color
400	Azul
230	Amarillo
161 a 138	Verde
115 a 90	Morado magenta
85	Rojo
79 a 60	Morado magenta
44 a 13.2	Blanco
< 13.2 a 1.0	Naranja
< 1.0	Negro

Mediante este diagrama el operador se percata, por medio de los indicadores de posición, cuando un interruptor de potencia o cuchilla desconectadora está abierto o cerrado. Estos indicadores de posición son los mismos conmutadores de control adaptados al diagrama mímico, los cuales, en el caso de un interruptor o cuchilla cerrada coinciden en dirección con el trazo de la línea, mientras en el caso de interruptor o cuchilla abierta se encuentran en dirección perpendicular con el trazo de la línea. Para la correcta interpretación del diagrama mímico el operador se auxilia de las lámparas de indicación o señalización tratadas en la Sección 2.2.2.

Para el caso de las cuchillas no motorizadas, estas se simbolizan en el mímico de la misma forma que en el diagrama unifilar de la subestación, representando a su navaja con un listón de acrílico que permite indicar su posición de abierta o cerrada.

2.2.4 Cuadro de alarmas

El cuadro de alarmas está localizado en el tablero de control aunque también en subestaciones grandes está montado en una consola, este consiste en un conjunto de señales luminosas y una sonora, que le indican al operador el funcionamiento anormal de uno de los equipo de la subestación. Las alarmas utilizadas en las subestaciones se clasifican en las siguientes:

- a) Alarmas que indican cuando ha operado, para alguno de los elementos de la subestación (líneas de transmisión, bancos de potencia, bancos de capacitores, etcétera), su protección por relevadores.

La protección por relevadores de uno de los elementos de la subestación opera cuando ocurre una falla en este, al operar la protección cierra sus contactos, que se encuentran en serie con el circuito de disparo del interruptor que libra la falla, en serie con este circuito se encuentra también un relevador de alarma que se energiza al pasar la corriente de disparo del interruptor y cierra sus contactos activando una alarma sonora, la cual deja de sonar hasta que el operador la restablece manualmente.

Para que el operador se de cuenta rápidamente en que sección se presento la falla, se cuenta con un relevador de alarma para cada nivel de tensión de la subestación.

- b) Alarmas que permiten señalar alguna condición anormal en el funcionamiento del equipo. Los transformadores, interruptores y reguladores de tensión cuentan con una serie de dispositivos que indican la presencia de alguna anomalía en el equipo. Estos dispositivos envían una señal hasta el cuadro de alarmas activando a su vez la señal sonora y luminosa correspondiente. Normalmente se tienen para cada equipo las siguientes alarmas

Interruptores:

- Disparo bloqueado por baja presión
- Cierre bloqueado por baja presión
- Motor fuera por sobrecarga
- Falta de corriente directa
- Baja presión
- Alta presión
- Operación asincrónica de polos
- Apertura o cierre incompleto de polos

Transformadores:

- Buchholz
- Bajo nivel de aceite
- Alta temperatura de aceite
- Alta temperatura del devanado
- Operación de la válvula de sobrepresión
- Falta de corriente alterna en el enfriamiento
- Falta de corriente directa
- Falta de flujo de aceite
- Falta de corriente alterna en el cambiador de derivaciones
- Cambiador de derivaciones bloqueado
- Bajo nivel de aceite en el cambiador de derivaciones
- Sobrecarga en las bombas de aceite
- Sobrecarga en los ventiladores

Onda portadora

- Tensión de alimentación anormal
- Disparo por onda portadora

Hilo piloto

- Falla hilo piloto

Para el caso de los transformadores, normalmente se indican solo tres alarmas en el cuadro de alarmas: la de Buchholz, la de falta de corriente directa y la tercero que agrupa a las restantes. En el gabinete de control del transformador se instala un módulo de alarmas con lámparas piloto para cada alarma del transformador, que se encienden de acuerdo con el circuito que operó.

- c) Alarmas reservadas para determinar la existencia de alguna anomalía en los circuitos de control o en el servicio de estación.

Los circuitos de corriente directa utilizados para el control, así como para otras funciones, se protegen por medio de relevadores que detectan la falla de alimentación de corriente directa y envían una señal de alarma cuando se realiza la apertura de los termomagnéticos o la falla del cable del circuito de alimentación.

Además se cuenta con una alarma sonora para indicar una condición de baja tensión en las barras generales de corriente directa de la subestación. Esta alarma se alimenta por medio de un circuito de corriente alterna.

2.3 Control remoto

El control remoto es utilizado para operar a una subestación desde un centro de operación, comúnmente se le conoce como telecontrol. En las subestaciones con este tipo de sistema de control, normalmente la operación de su equipo se realiza con el telecontrol y solo en casos de emergencia se operan desde el tablero de control local de la subestación. Las subestaciones se diseñan con sistemas de control remoto con la finalidad de disminuir costos de operación y aumentar la

confiabilidad y eficiencia

Para el telecontrol de las subestaciones de LFC se utiliza el sistema denominado Control Remoto y Adquisición de Datos (CRAD). Este es un sistema en el cual la información obtenida, a través de la unidad terminal remota, sobre las condiciones de operación de la subestación, es transmitida por los medios de comunicación adecuados a las computadoras, ubicadas en el Centro de Operación y Control (COC). Esta información es procesada y presentada en las terminales de operación para que los operadores procedan a realizar las instrucciones necesarias, además de la información obtenida, las computadoras interpretan las acciones de control remoto indicadas por el operador, para poder ejecutar maniobras en el equipo de la subestación. En la Fig. 2.3 se indica la configuración del sistema CRAD cuyas funciones principales son las siguientes

- a) Telecontrol.- El operador puede realizar maniobras remotamente desde el centro de control, tales como:
 - Apertura y cierre de interruptores
 - Apertura y cierre de cuchillas
 - Reposición de relevadores auxiliares de disparo de protecciones
 - Subir y bajar la posición del cambiador de derivaciones de transformadores de potencia
 - Bloqueo de cierre de interruptores de enlace de 23 kV
 - Bloqueo individual de recierre
 - Cierre de interruptores con sincronización
- b) Teleseñalización.- El operador puede supervisar, por medio de esta función, el estado que guarda el equipo de la subestación como:
 - La posición de abierto o cerrado de interruptores y cuchillas
 - Estado de los sistemas automáticos de control
 - Operación de los relevadores de protección debido a fallas en las instalaciones.
 - Indicación de alguna condición anormal en el equipo de la subestación.
 - Señalización de las condiciones generales de la subestación, como por ejemplo: bajo voltaje de batería, opero sistema contra incendio, puerta

abierta de la subestación, etcétera.

Toda condición de alarma que ocurre en el equipo de la subestación, se presenta inmediatamente y el operador en el centro de control la recibe tanto en forma sonora como luminosa, así como también escrita.

Como las alarmas que indican alguna condición anormal en un equipo determinado de la subestación son varias, y no se dispone de la cantidad de puntos suficientes en la unidad terminal remota para poderlas enviar todas al centro de operación, las alarmas según su trascendencia se clasifican en:

- Alarma emergencia equipo: es un grupo de alarmas que indican averías que ponen en peligro inmediato a un equipo determinado, por lo que deben ser atendidas lo más rápido posible.

 - Alarma alerta equipo: es un conjunto de alarmas que indican situaciones anormales que no presentan un peligro inminente al equipo y que permiten disponer de un tiempo suficiente para corregir la falla. Las funciones requeridas de alarmas para los equipos de subestaciones telecontroladas se indican en la referencia
- c) Telemedición: el operador puede obtener desde el centro de operación la medición de las magnitudes eléctricas de las líneas de transmisión, de los bancos de potencia, de los alimentadores de distribución, etcétera. Por medio de transductores, las señales de medición analógicas se convierten en señales digitales o binarias antes de ser enviadas tanto a la unidad terminal remota como al equipo de medición del tablero miniaturizado.

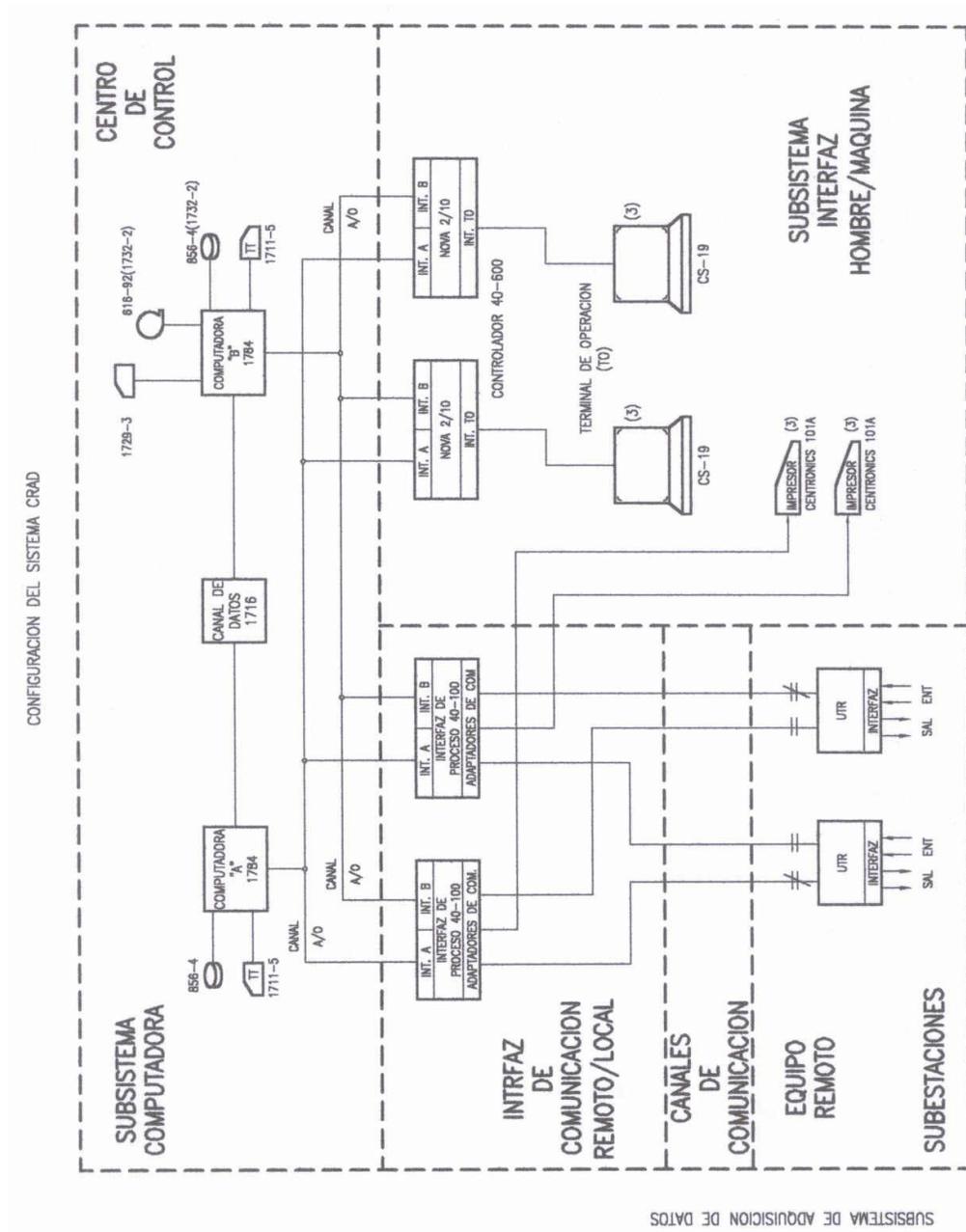


FIG. 2.3 SISTEMA DE CONTROL REMOTO Y ADQUISICION DE DATOS (CRAD)

Existen diversos componentes que permiten el control remoto de las subestaciones, los cuales se describen a continuación.

2.3.1 Transductores

Un transductor es un elemento que recibe una variable cualquiera y que produce una salida cuyo valor se relaciona con el de la entrada, según alguna regla específica de conversión. En la mayor parte de los casos, el valor de la salida es directamente proporcional al valor de la entrada. Los transductores empleados en la telemedición.

Un transductor eléctrico recibe una señal analógica eléctrica de corriente alterna como corriente, tensión, potencia activa o reactiva, frecuencia, etcétera, y produce una salida digital o binaria de corriente directa proporcional al valor de la variable de entrada.

2.3.2 Muro de conexiones

Las señales de control, medición y señalización de los elementos de la subestación (líneas, bancos de potencia, alimentadores de distribución, etcétera) provenientes de los tableros de control protección y medición, así como, de los gabinetes auxiliares de los interruptores, se agrupan en el muro de conexiones para enviarlas al registrador de eventos, al gabinete de relevadores intermedios, al tablero de control miniaturizado, y a la unidad terminal remota respectivamente.

2.3.3 Tablero de control miniaturizado

El tablero de control miniaturizado, realiza las mismas funciones que el tablero de control en subestaciones no telecontroladas, pero el tablero de control miniaturizado solo se utiliza para el control local de las subestaciones telecontroladas; se conforma por equipo de medición y conmutadores de control miniaturizados, utilizando el tipo de señalización de luz fija y luz intermitente, con la lámpara también integrada al conmutador de control.

En el tablero de control miniaturizado se encuentran colocados los conmutadores de sincronización, el de bloqueo de cierre de enlaces y el de bloqueo de recierres, así como también, los botones de reposición de relevadores auxiliares y el de prueba de lámparas. También en el tablero de control miniaturizado está

simbolizado el diagrama mímico con las mismas características y funciones que el de los tableros de control de subestaciones no telecontroladas.

2.3.4 Gabinete de relevadores intermedios (GRI's)

La unidad terminal remota opera con una tensión de 48 VCD, por otro lado, las señales tanto de alarmas como las de indicación de posición de interruptores y cuchillas están alimentadas con una tensión de 125 VCD. Por lo cual es necesario realizar un arreglo por medio de relevadores para hacer el cambio de tensión de 125 VCD a 48 VCD de las señales indicadas y poderlas hacer llegar a la UTR a la tensión requerida.

2.3.5 Unidad terminal remota (UTR)

La UTR es un equipo en el que se concentran y codifican las señales de control medición y señalización de la subestación, para convertirlas en información que se pueda transmitir al centro de control, donde por medio de computadoras es procesada para que el operador pueda tener una visión completa del funcionamiento de cada una de las subestaciones del sistema . En la Fig. 2.4 se muestra un diagrama simplificado de una terminal remota.

Las señales de control, medición y señalización provenientes del muro de conexiones se conectan en la UTR para enviarlas, a través de un medio de comunicación adecuado, al COC. En las Figs. 2.5 a 2.8, se indica el telecontrol para subestaciones con UTR concentrada.

Con la utilización de equipo multifunción y de las UTR's distribuidas, las conexiones con el gabinete auxiliar de los interruptores se siguen realizando pero se hacen llegar todas las funciones de control, señalización y medición al gabinete de control, protección y medición (CPM) del elemento respectivo, para conectarlas a la UTR distribuida que se encuentra montada en el mismo gabinete. De la UTR distribuida las señales se envían a un concentrador que a su vez las envía a la computadora maestra y al control local de la subestación, así también, por un sistema de comunicación adecuado las transmite al centro de control . En las Figs. 2.9 a 2.12 se muestra la automatización para el telecontrol de subestaciones con UTR distribuida.

La tendencia actual consiste en que en el gabinete, con el equipo de CPM y la

UTR distribuida, se hacen llegar todas las funciones de control medición, señalización y alarmas del equipo de potencia, para enviarlas a un concentrador que recibe las funciones de los gabinetes de los otros elementos de la subestación. El concentrador, por un lado envía estas señales al centro de operación y por otro lado a una computadora para realizar las funciones de comando local de la subestación y el monitoreo del registro de eventos, de mediciones de parámetros, así como, el conteo y magnitudes de fallas.

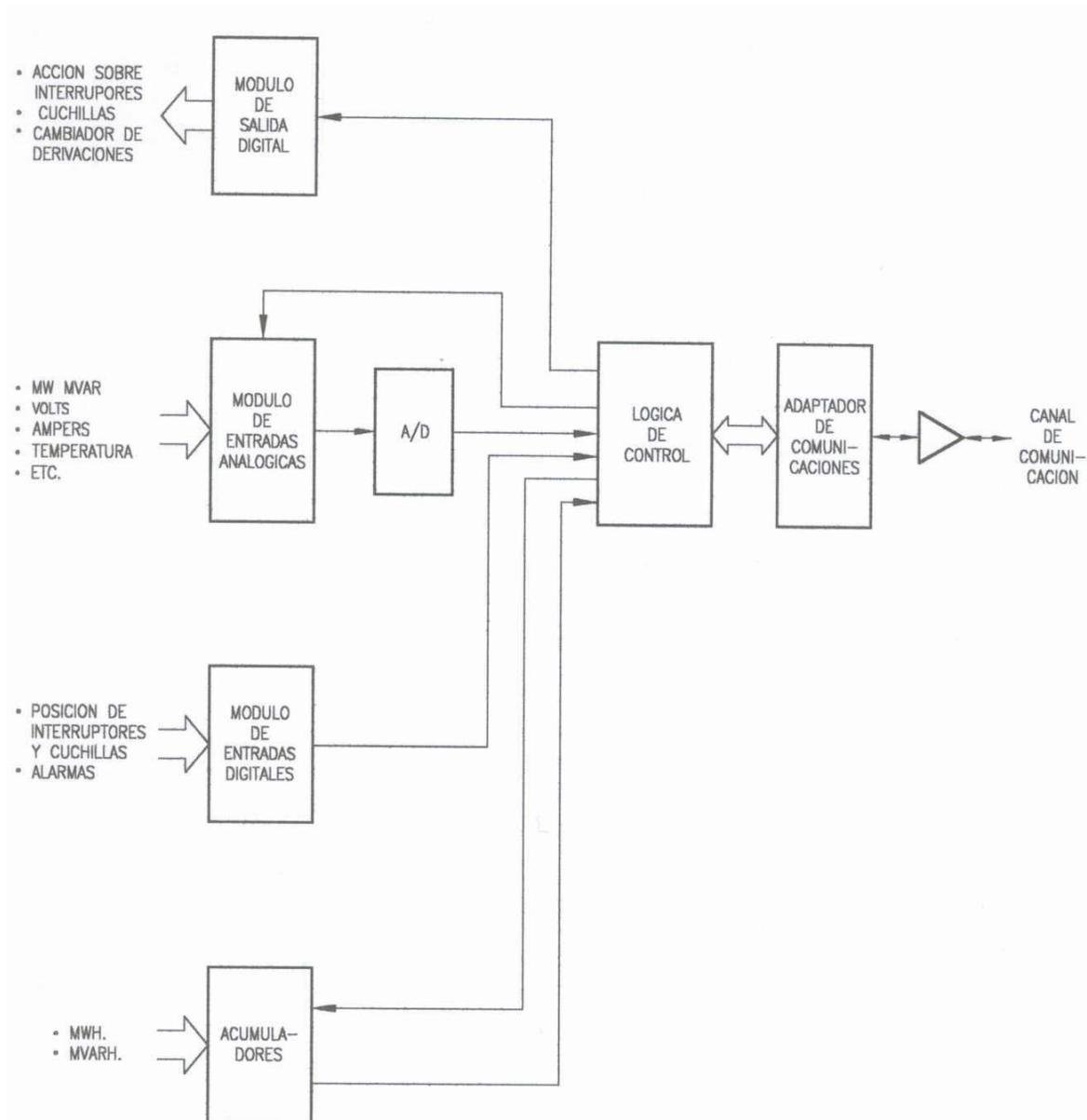


FIG. 2.4 DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE UNA TERMINAL REMOTA.

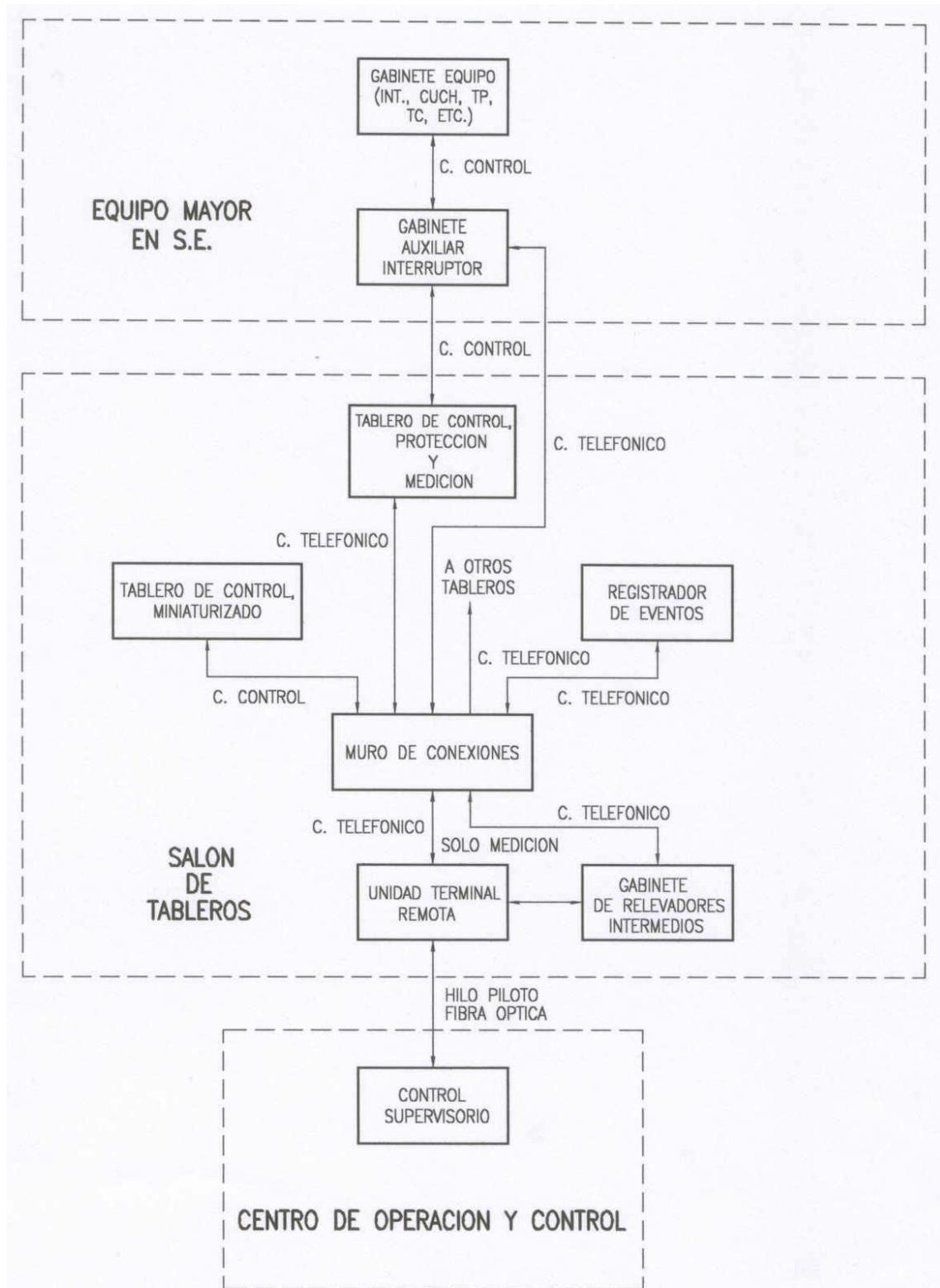


FIG. 2.5 TELECONTROL DE SUBESTACIONES CON UTR CONCENTRADA .

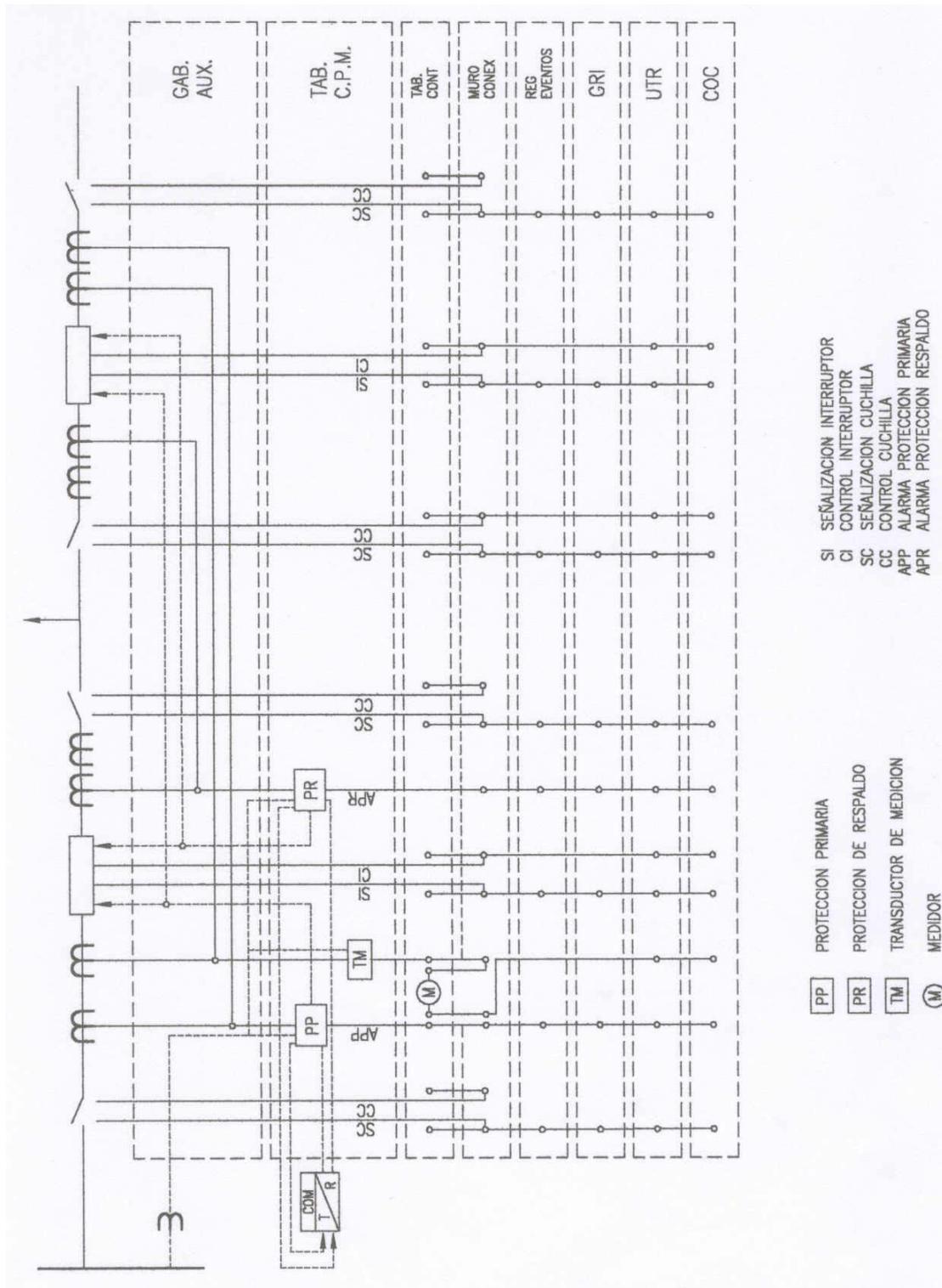


FIG. 2.6 DIAGRAMA DE CONTROL DE PROTECCIÓN Y MEDICIÓN CON LÍNEA UTR CONCENTRADA

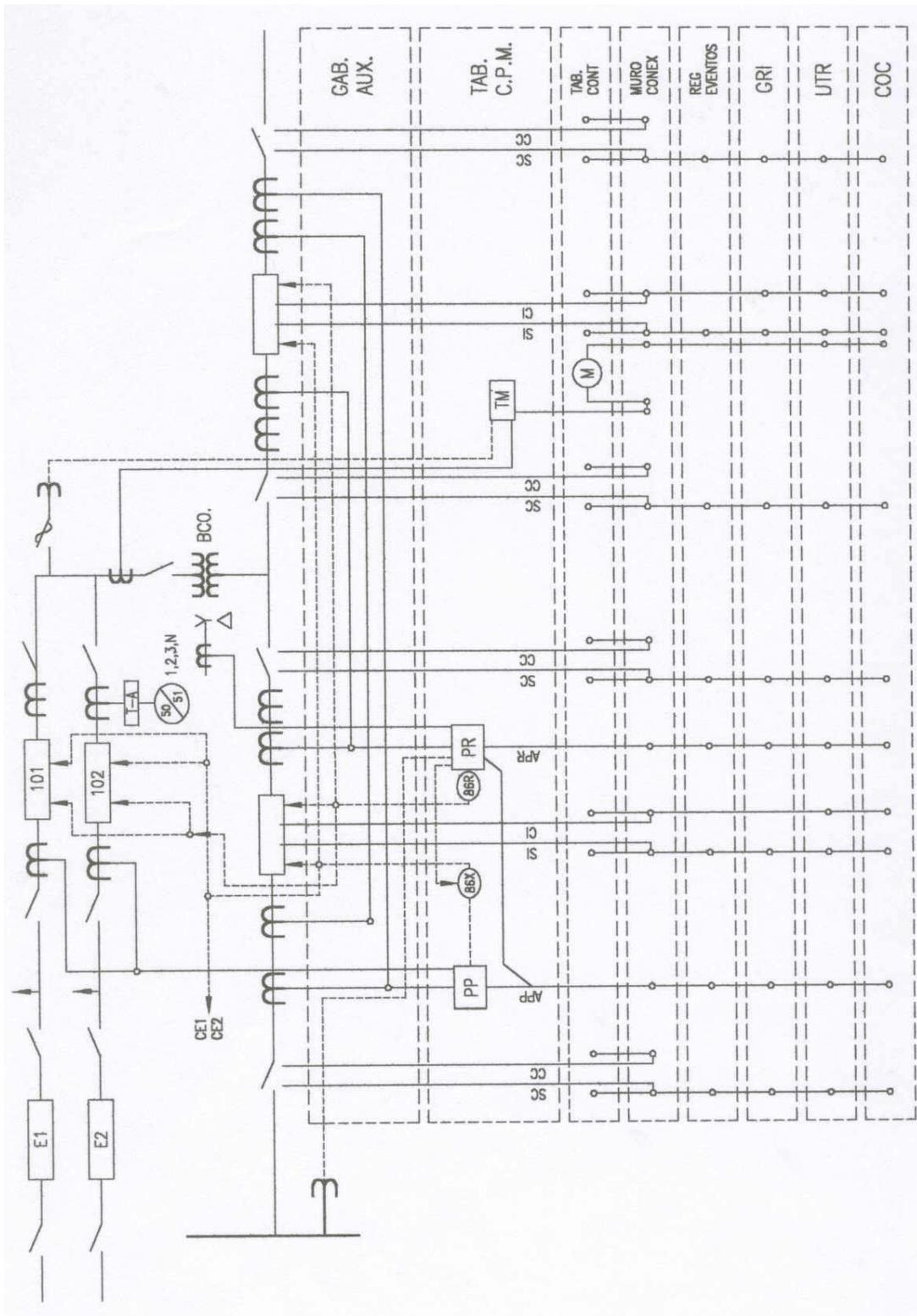


FIG. 2.7 DIAGRAMA DE CONTROL, PROTECCIÓN Y MEDICIÓN CASO TRANSFORMADOR CON UTR CONCENTRADA

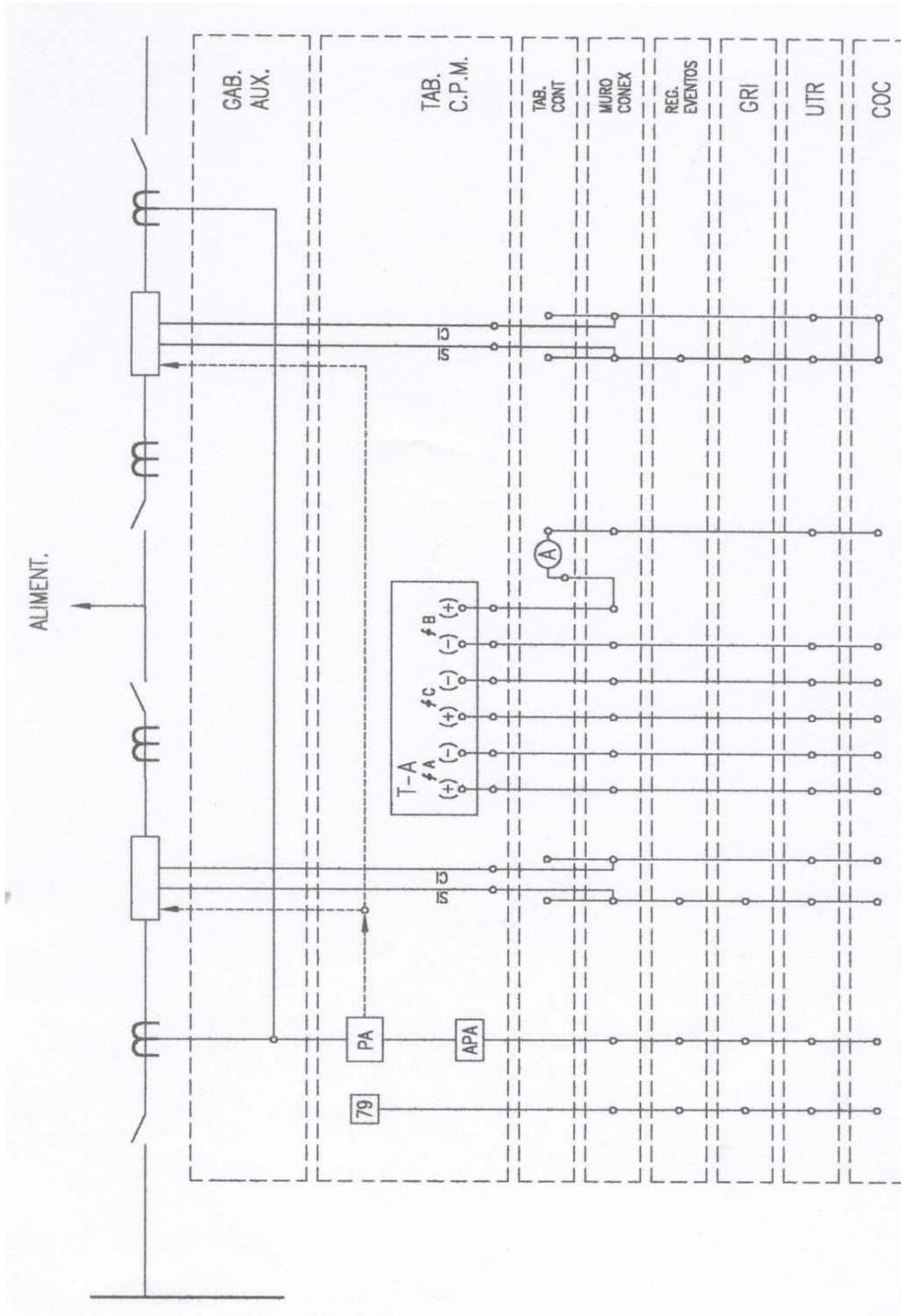


FIG. 2.8 DIAGRAMA DE CONTROL, PROTECCIÓN Y MEDICIÓN CASO ALIMENTADOR CON UTR CONCENTRADA

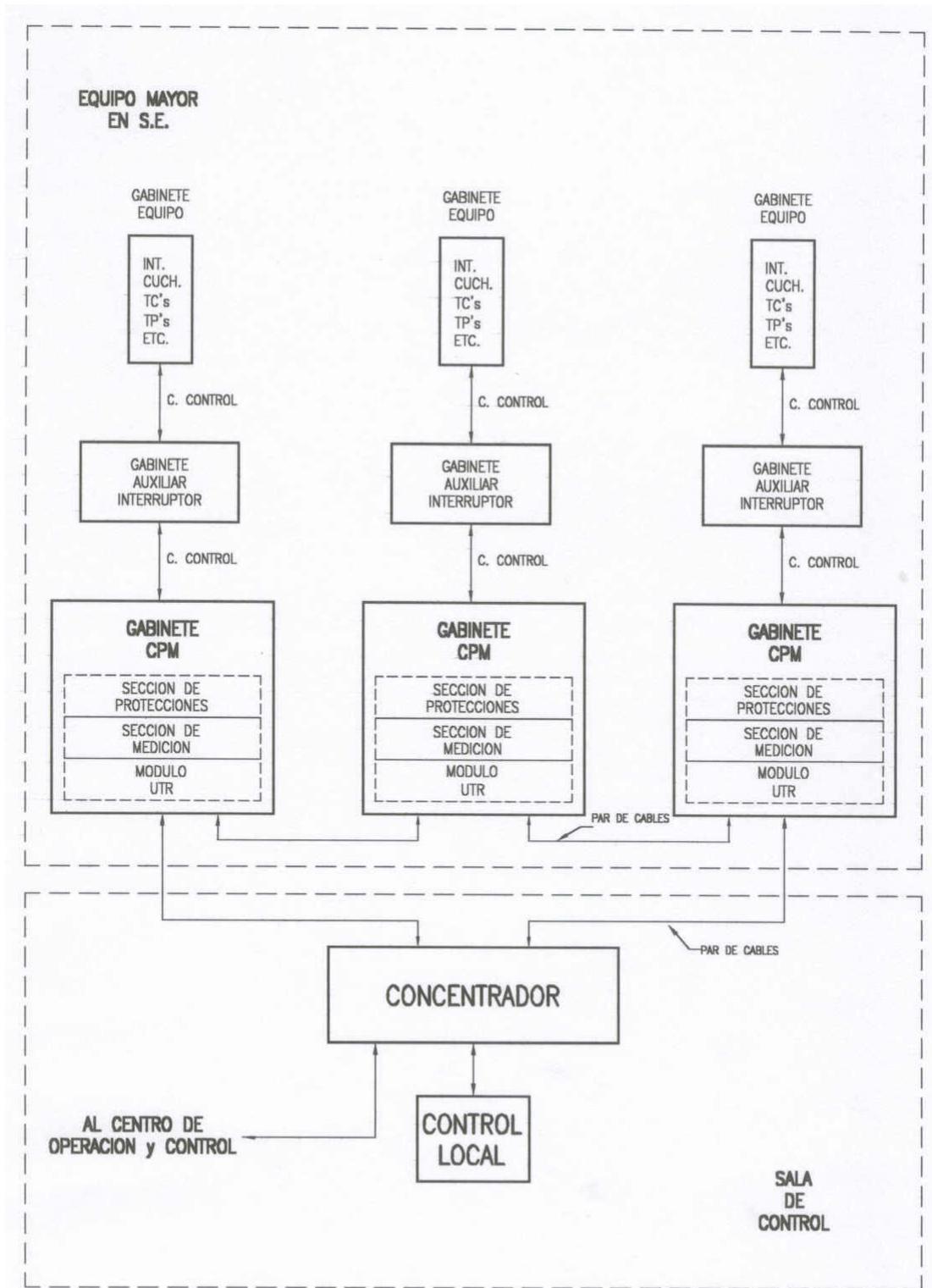


FIG. 2.9 TELECONTROL SUBESTACIONES CONVENCIONALES UTR DISTRIBUIDA

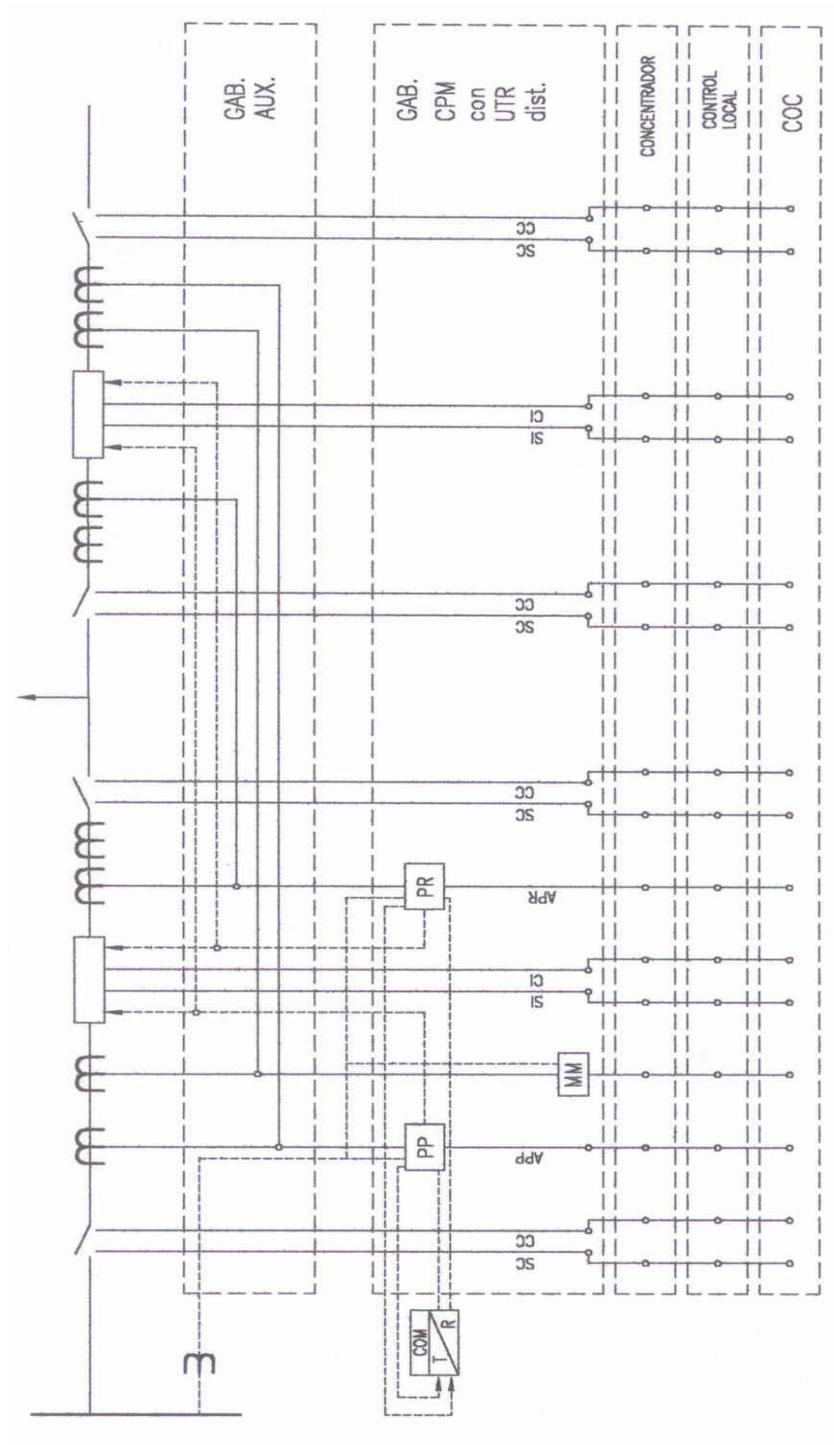


FIG. 2.10 DIAGRAMA DE CONTROL, PROTECCIÓN Y MEDICIÓN CASO LÍNEA CON UTR DISTRIBUIDA .

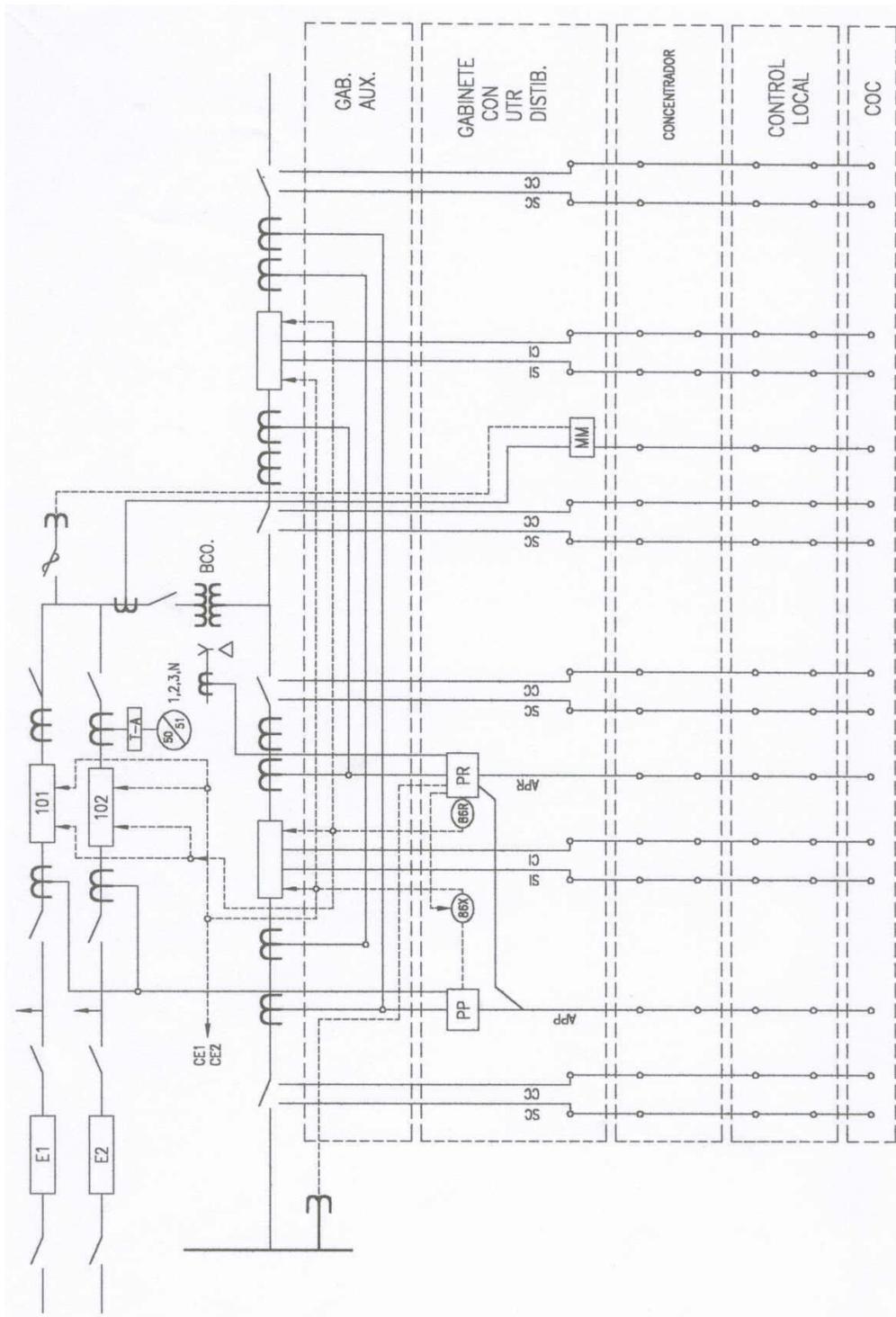


FIG. 2.11 DIAGRAMA DE CONTROL, PROTECCIÓN Y MEDICIÓN CASO TRANSFORMADOR CON UTR DISTRIBUIDA .

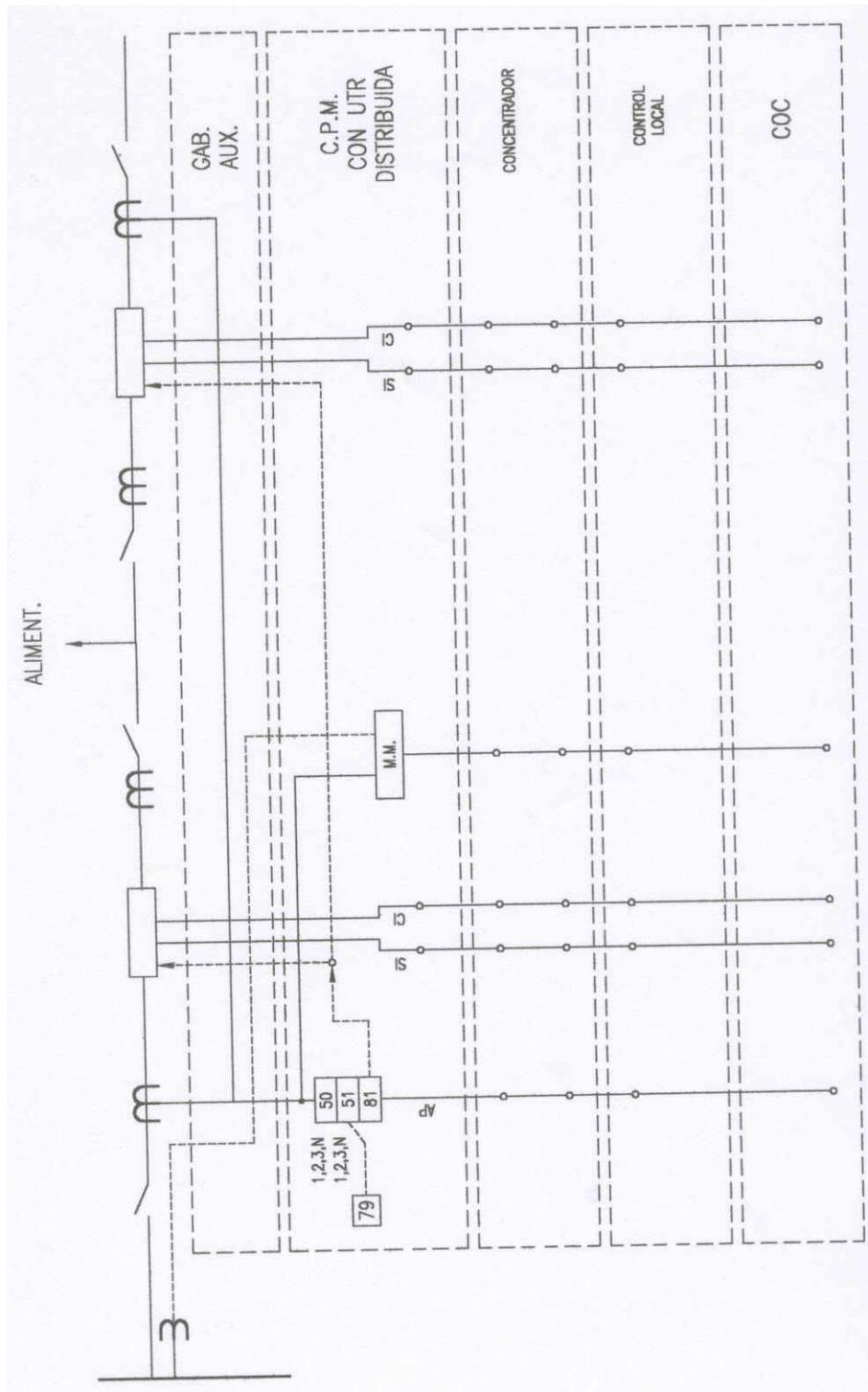


FIG. 2.12 DIAGRAMA DE CONTROL, PROTECCIÓN Y MEDICIÓN CASO ALIMENTADOR CON UTR DISTRIBUIDA .

Los equipos basados en microprocesadores cuentan con puertos para comunicarse a la computadora de la subestación. Con esta comunicación se puede obtener la señalización, registros de eventos, fallas, medición, alarmas, corriente de cortocircuito y número de operaciones con la que efectúan su apertura los interruptores.

Este tipo de sistema de control ha simplificado las instalaciones debido a que permite eliminar los muros de conexiones, el registrador de eventos, el tablero de control miniaturizado y además como la alimentación de corriente directa a las UTR, ya es a 125 VCD, también se prescinde del gabinete de relevadores intermedios.

En las Figs. 2.5 a 2.12, se indica el desarrollo de la filosofía de control, protección y medición para líneas, transformadores y alimentadores en subestaciones, considerando las UTR concentradas y distribuidas.

Las funciones requeridas por la UTR de una subestación se indican en la referencia.

2.3.6 Equipo de telecomunicación

Para satisfacer las funciones de control, señalización, medición y voz entre las subestaciones y el COC, se emplean los mismos medios de comunicación utilizados en la protección de las líneas de transmisión de media y alta tensión, como son el hilo piloto, onda portadora (OPLAT), banda lateral única (BLU), y fibra óptica, a través de las unidades terminales remotas instaladas en las subestaciones telecontroladas.

Otro sistema de comunicación alterno entre subestaciones y el COC son las microondas pero solo se justifican económicamente cuando son distancias muy grandes, cuando el terreno es adecuado, las necesidades de capacidad son moderadas y las autoridades gubernamentales en telecomunicaciones, permiten usar frecuencias de microondas en redes privadas.

2.3.7 Sistema de información y control en tiempo real (SICTRE)

El Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) ha dividido al Sistema Eléctrico Nacional (Fig. 2.13), para su operación y supervisión en 8 áreas de control que son :

1. Central (México D.F.)
2. Oriental (Puebla)
3. Occidental (Guadalajara)
4. Noroeste (Hermosillo)
5. Norte (Torreón)
6. Noreste (Monterrey)
7. Baja California (Mexicali)
8. Peninsular (Mérida)



Fig. 2.13 area de control central de LFC del sistema eléctrico nacional

La coordinación y supervisión de los centros de control de área se encuentra a cargo del centro nacional, ubicado en la ciudad de México, siguiendo estrategias y criterios a nivel nacional, para lograr los tres objetivos básicos :

- Continuidad de servicio
- Calidad del servicio
- Optimización de los recursos energéticos primarios

Para lograr estos objetivos, se requiere obtener información de la red troncal de generación y transmisión que permita tomar decisiones, ordenar acciones de control y analizar resultados de la operación del sistema.

La estructura jerárquica del SICTRE (Fig. 2.14), se configura en tres niveles que son:

1^{er} Nivel: es el centro nacional donde se recibe la información de las áreas de control y se analiza la seguridad del sistema, despacho económico de generación y se determinan los intercambios entre áreas, coordinando la operación como un todo nacional.

2^o Nivel: son los centro de control de área equipados con un sistema de computadoras donde se recibe la información proveniente de las subestaciones y centrales eléctricas para supervisión y control de la red y que es procesada para efectuar el control automático de generación, para tomar acciones correctivas de emergencia y pronosticar la carga.

3^{er} Nivel: son las terminales remotas instaladas en las subestaciones y centrales más importantes del sistema eléctrico interconectado, que reciben y transmiten la información a los centros de área y ejecutan los comandos provenientes de aquellos.

Las subestaciones de LFC que están dentro del SICTRE son las siguientes:

- Remedios
- Santa Cruz
- Valle de México 230 kV
- Valle de México 85 kV
- Cerro Gordo
- Aurora
- Ixtapalapa
- Atizapán

- Contreras
- Chapingo
- Coapa
- Taxqueña
- Olivar-Álamo
- Lechería
- Barrientos

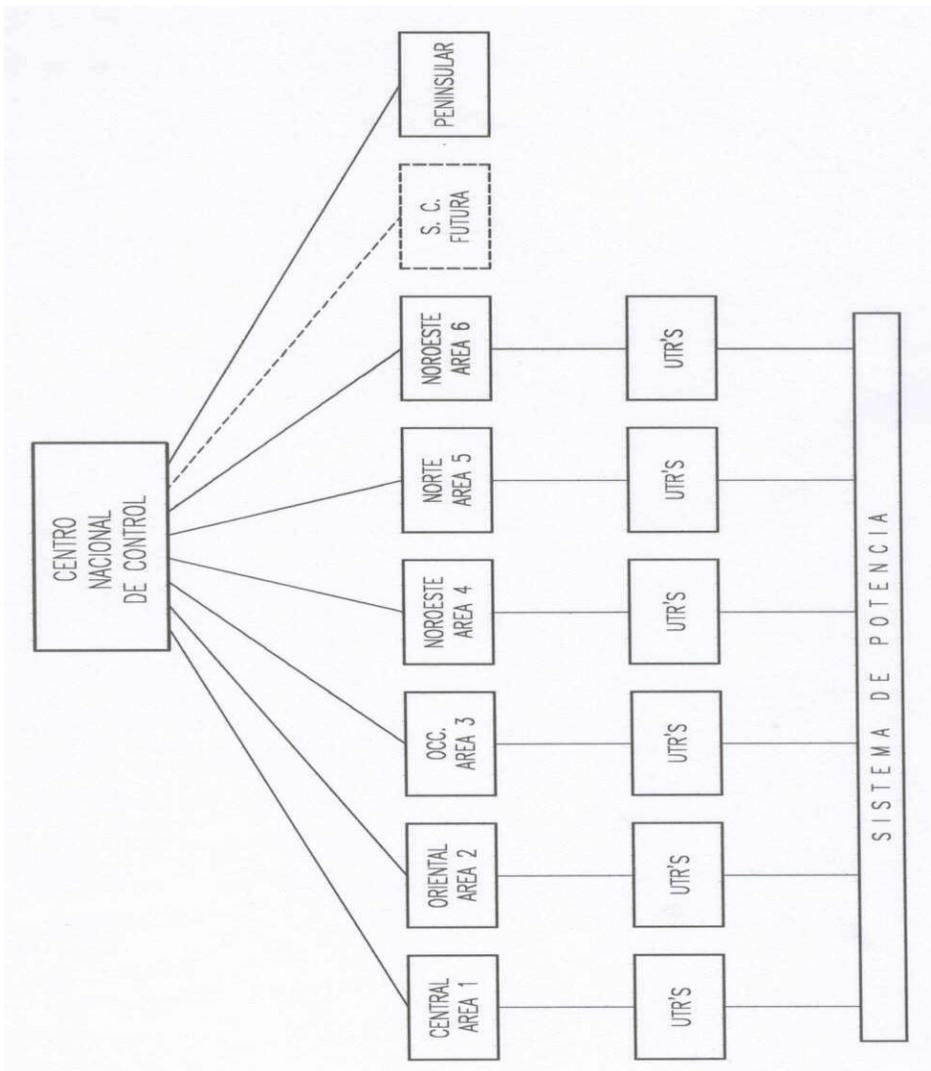


Fig. 2.14 configuración del sistema de información y control en tiempo real.

2.4 Control automático

Fundamentalmente los sistemas de control automático de una subestación no telecontrolada son los mismos que para una subestación telecontroladas. El empleo de sistemas automáticos de control tiene las siguientes finalidades :

- Mejorar la calidad de servicio aumentando la rapidez de las maniobras correspondientes, lo que permite reducir el tiempo para restablecer el suministro de energía eléctrica.
- Evitar posibles errores humanos en la operación para aquellos casos en que la secuencia correcta de la maniobra puede predeterminarse y realizarse automáticamente.

Los sistemas automáticos de control utilizados en las subestaciones de LFC son los siguientes :

- Recierre automático en alimentadores de distribución
- Transferencia automática de alimentadores de un transformador a otro
- Tiro de carga por baja frecuencia
- Transferencia automática de potenciales
- Sincronización automática
- Regulación automática de tensión

2.4.1 Recierre automático en alimentadores de distribución

La mayor parte de las fallas en los alimentadores aéreos son producidos por arcos eléctricos en el propio alimentador, por lo que sin causar un daño permanente a las instalaciones, se puede mandar cerrar al interruptor, después de haber sido disparado por la propia protección del mismo alimentador, considerando un tiempo determinado que sea suficiente para permitir la desionización del aire en el lugar donde ocurrió el arco eléctrico. En general este tiempo no debe ser menor a 0.25 segundos para el primer recierre. El recierre automático se aplica cuando al ocurrir una falla opera la protección del alimentador, abriendo su interruptor asociado, el cual inmediatamente después recibe la orden de cierre a través del relevador de recierre correspondiente y dependiendo de la naturaleza de la falla puede o no repetirse tres veces más el ciclo de apertura y cierre (Figs. 2.15 y 2.16).

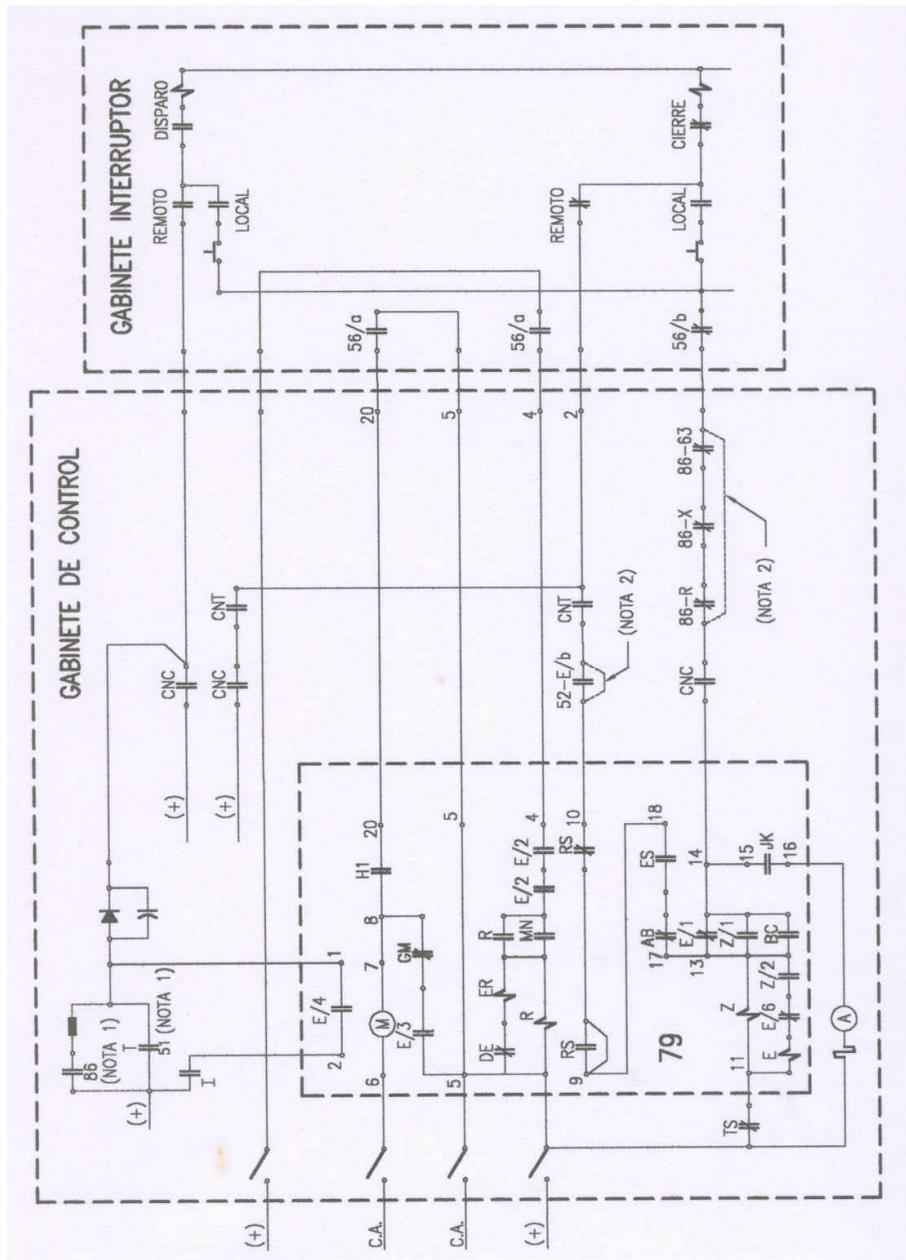


FIG. 2.15 DIAGRAMA DE RECIERRE CON RELEVADOR ACR 11 G, E

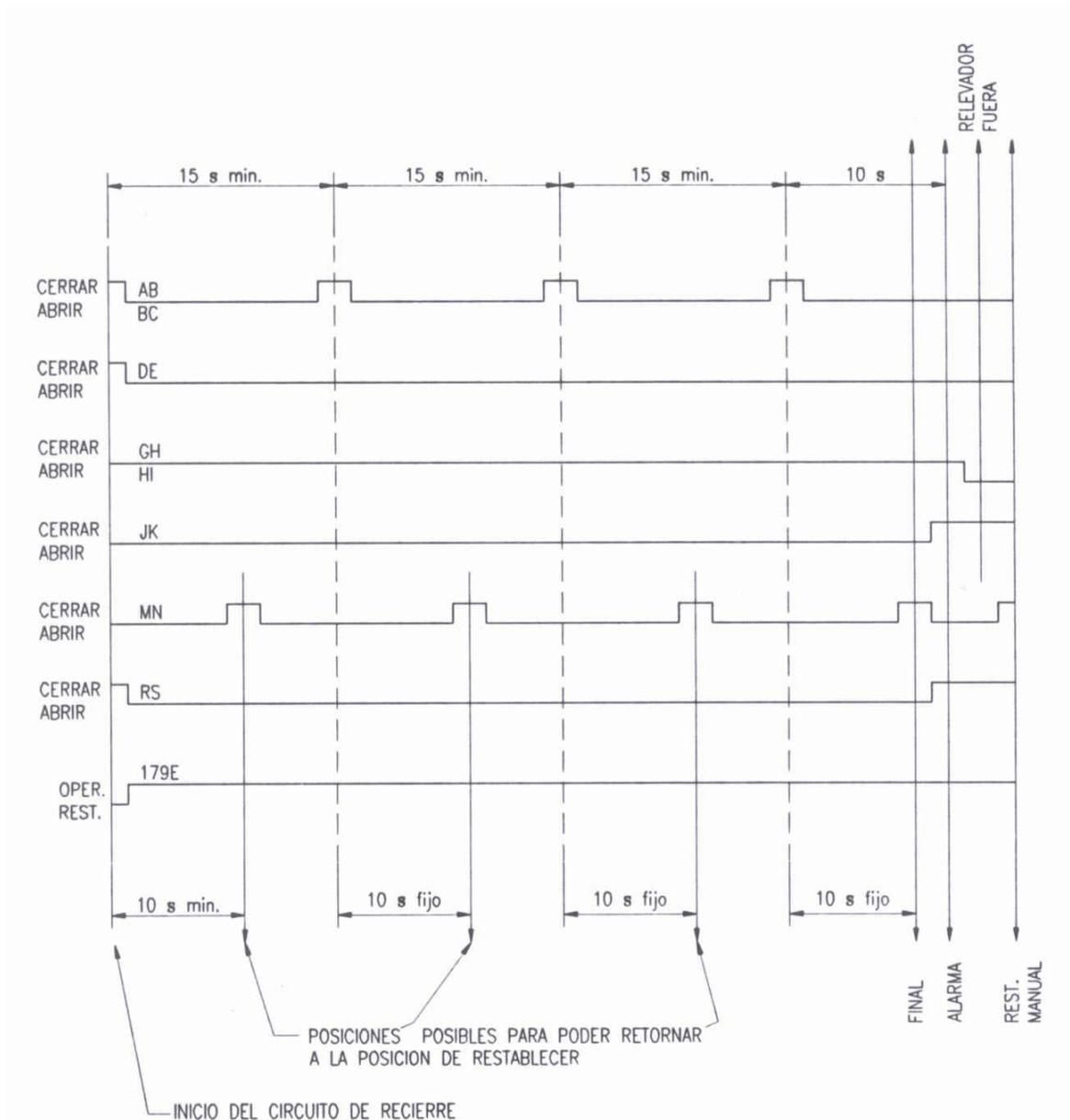


FIG. 2.16 SECUENCIA DE OPERACIÓN DEL RELEVADOR DE RECIERRE ACR G.E

En el caso de alimentadores con cables subterráneos cuando se produce una falla, esta es generalmente de carácter permanente y al intentar un recierre, solo se conseguirá aumentar el daño del cable, por lo cual no se aplica el recierre.

2.4.2 Transferencia automática de alimentadores de un banco de potencia a otro

Para evitar que la desconexión de un banco de potencia trifásico, causada por la operación de su protección, produzca una interrupción del servicio, las subestaciones de distribución de 85/23 kV y de 230/23kV, se diseñan de tal manera que se pueda transferir automáticamente la carga del banco afectado a otro u otros bancos y dependiendo del tipo de arreglo que se tenga en la sección de 23 kV, se realiza la transferencia de carga como se describe a continuación:

- Arreglo en anillo para 23 kV

Cuando se presenta una falla en uno de los bancos de potencia (Fig. 2.17), opera su protección enviando un disparo a los interruptores asociados y manda una señal de cierre a los interruptores de enlace de los alimentadores afectados, mediante el relevador auxiliar (86) respectivo. La señal de cierre está supervisada por un contacto “b” de los interruptores de los alimentadores adyacentes que abrieron.

Este arreglo requiere que los bancos de potencia se operen normalmente con una carga máxima inferior a su capacidad nominal, de manera que si se produce una falla en uno de los bancos, los otros puedan tomar la carga sin sobrecargarse mas allá de los límites aceptables.

- Arreglo doble barra sencilla en 23 kV

Este arreglo requiere que un banco de potencia que esté normalmente trabajando en vacío o sea con su interruptor de alta tensión cerrado y con sus interruptores de 23 Kv abiertos, de modo que al ocurrir una falla en uno de los bancos de potencia que normalmente se encuentran operando con carga, el banco disponible o de reserva pueda seguir alimentando la carga del transformador fallado. Cuando ocurre una falla en uno de los bancos de potencia que normalmente están operando con carga, opera su protección enviando mediante los relevadores auxiliares la señal de disparo (Fig. 2.18) a los interruptores respectivos y una señal de cierre al interruptor de 23 kV del banco de reserva, conectado a las barras colectoras correspondientes al banco fallado, esta señal de cierre está

supervisada por un contacto “b” del interruptor de 23 kV del banco fallado, con objeto de evitar el cierre antes de que haya sido aislada la falla.

El arreglo de doble barra doble interruptor opera en forma similar solo que para este caso se manda el disparo a los dos interruptores de 23 kV del banco de potencia fallado y el cierre de los interruptores del banco de reserva asociados a las barras colectoras del banco fallado.

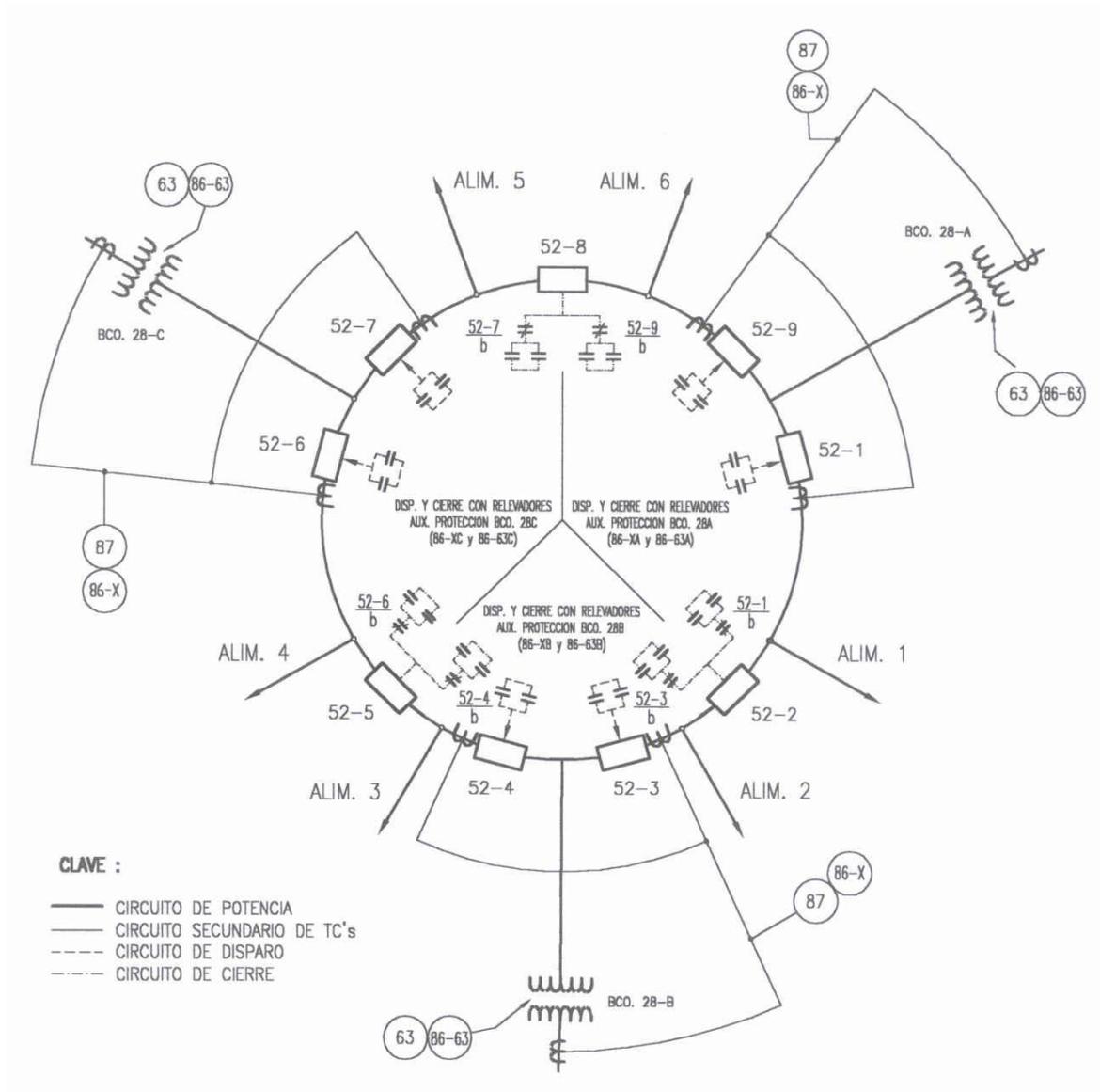


FIG. 2.17 TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA DE ALIMENTADOR DE UN TRANSFORMADOR A OTRO, CON ARREGLO EN ANILLO PARA 23 KV

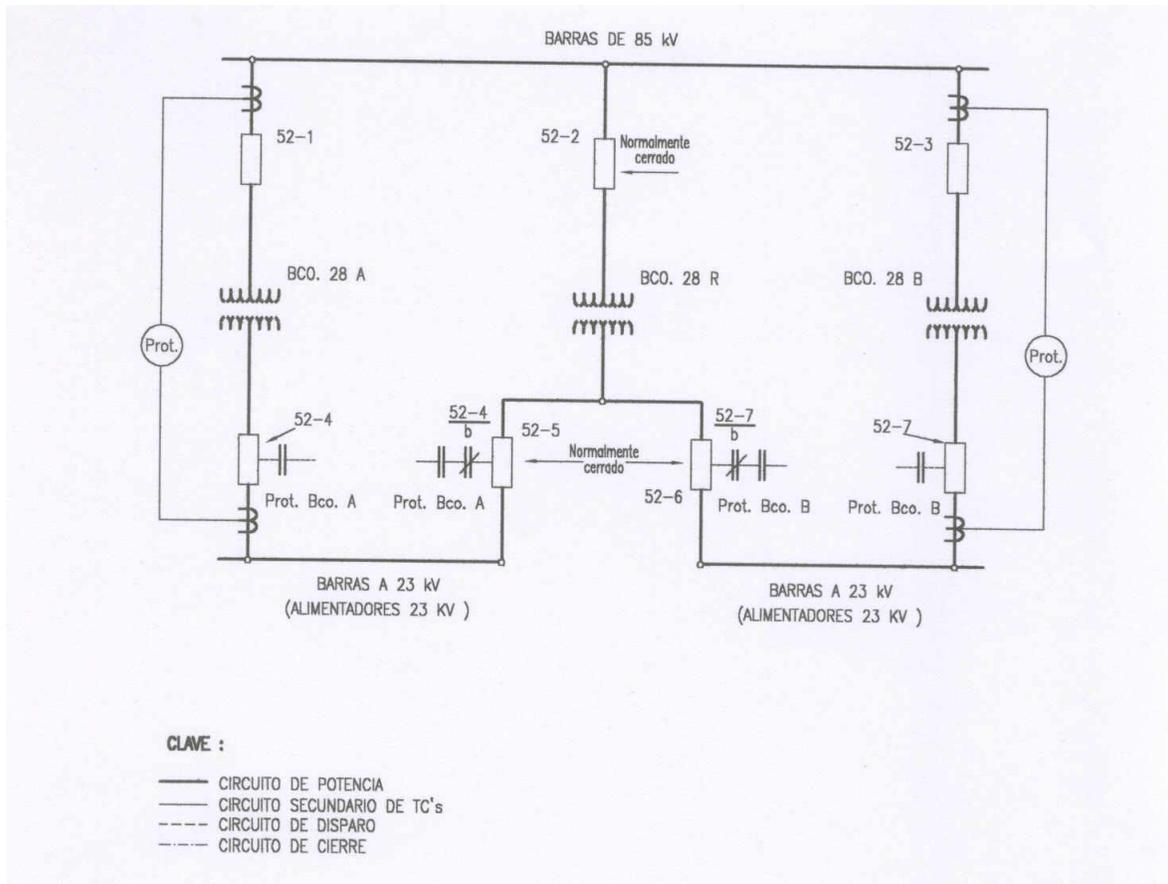


FIG. 2.18 TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA DE ALIMENTADORES DE UN TRANSFORMADOR A OTRO, PARA ARREGLO BARRA SENCILLA

2.4.3 Tiro de carga por baja frecuencia

Cuando se presenta un déficit de generación en el sistema y baja la frecuencia a un mínimo de 58 Hz, se desconectan automáticamente un bloque de alimentadores previamente seleccionados, la desconexión se realiza en tres pasos. En el primer paso, se desconectan en forma instantánea los alimentadores con carga residencial, 15 segundos después se desconecta el segundo grupo, que alimenta a las zonas industriales y en caso de que aún la frecuencia no se llegue a normalizar, 30 segundos después se desconectan los alimentadores restantes.

El esquema de tiro de carga por baja frecuencia tiene la característica de que al operar esta protección, independientemente de disparar los interruptores de los alimentadores correspondientes, quedan bloqueados automáticamente los recierres respectivos, hasta que se restablezcan manualmente por el operador,

una vez que desaparece el estado de emergencia.

2.4.4 Transferencia automática de potenciales

Con el objeto de que la falla de un juego de transformadores de potencial, la apertura de algún termomagnético de los secundarios de dichos transformadores o la salida de servicio de un juego de barras colectoras, no ocasione la carencia de la señal de potencial a los relevadores de protección que necesitan polarización de tensión, como los relevadores de sobrecorriente direccionales, dispositivos de sincronización automática, esquema de tiro de carga por baja frecuencia y equipos de medición, en las subestaciones de 400, 230 y 85 kV con arreglo de interruptor y medio o en las de 230 y 85 kV de doble barra en las cuales se tiene un juego de transformadores de potencial para cada juego de barras colectoras, se instalan dispositivos para transferir la carga de un juego de transformadores de potencial al otro.

2.4.5 Sincronización automática

La sincronización automática es utilizada cuando es necesario realizar la sincronización de dos secciones del sistema en una subestación. El operador inicia el funcionamiento del dispositivo de sincronización automática, el cual compara las frecuencias y las tensiones de las dos secciones que se van a sincronizar y cuando las diferencias entre las cantidades son inferiores a unos valores previamente fijados, el dispositivo de sincronización cierra automáticamente el interruptor correspondiente.

La filosofía de las condiciones fundamentales para realizar la sincronización automática son las siguientes:

- Tanto la señal de telecontrol (operación a control remoto), como la del conmutador de control (operación local) actuarán sobre un relevador auxiliar el cual cerrará los circuitos de potencial llamados referencia y por sincronizar, además de poner en marcha el relevador de puesta en paralelo.
- En caso deseado podrá interrumpirse el proceso de sincronización mediante una señal de control remoto o local.
- Si la sincronización no se realiza en un periodo máximo de dos minutos,

automáticamente se interrumpe el proceso de sincronización normalizándose los circuitos correspondientes.

2.4.6 Regulación automática de tensión

Los transformadores trifásicos de 230/23 kV y de 85/23 kV tienen integrado regulación de tensión.

En el caso de bancos de potencia de 85/23 kV formados por transformadores monofásicos se utilizan reguladores de tensión separados: un regulador por banco en 23 kV

2.4.7 Enclavamientos entre interruptor y cuchillas desconectoras

Uno de los errores de operación más frecuentes en subestaciones con cuchillas desconectoras no motorizadas es la apertura o cierre de estas operadas con carga, lo que tiene consecuencias gravísimas. Por lo que se ha optado por utilizar cuchillas motorizadas en las subestaciones tanto de 85 kV como de 230 y 400 kV, ya que, estas se pueden maniobrar desde el tablero de control instalado en el salón de tableros, a través de enclavamientos en los circuitos de control de las mismas cuchillas.

El objeto de los enclavamientos es el impedir la operación de equipo que no puede operarse con carga como es el caso de las cuchillas desconectoras motorizadas.

Para evitar la posibilidad de que se opere por error un juego de cuchillas motorizadas antes de abrir al interruptor correspondiente, se debe poner en serie un contacto normalmente cerrado del interruptor en el circuito de control de cierre y otro en el circuito de apertura de las cuchillas motorizadas, de tal manera que no se puedan operar mientras el interruptor esté cerrado.

Para los diagramas de conexiones de doble juego de barras colectoras con interruptor de amarre normalmente cerrado y arreglo de interruptor y medio, el sistema de enclavamiento es muy simple ya que únicamente hay que relacionar la posición de cada interruptor con los tres juegos de cuchillas correspondientes, como se indica en el caso del doble juego de barras colectoras (Fig. 2.19) y para los juegos de cuchillas correspondientes al arreglo de interruptor y medio (Fig.

2.20).

Para el arreglo de doble barra con interruptor de amarre se puede tener un arreglo que permita el cambio de carga de una barra a la otra, tanto para el caso de línea de transmisión como de banco de potencia, sin abrir el interruptor correspondiente. Este cambio de carga se puede realizar teniendo el interruptor de amarre cerrado y cerrando primero la cuchilla que está abierta y después se abre la cuchilla que estaba cerrada en un principio.

Otro tipo de enclavamiento es el que se utiliza en la sección de 23 kV con arreglo en anillo entre el interruptor de enlace y los interruptores de alimentadores adyacentes.

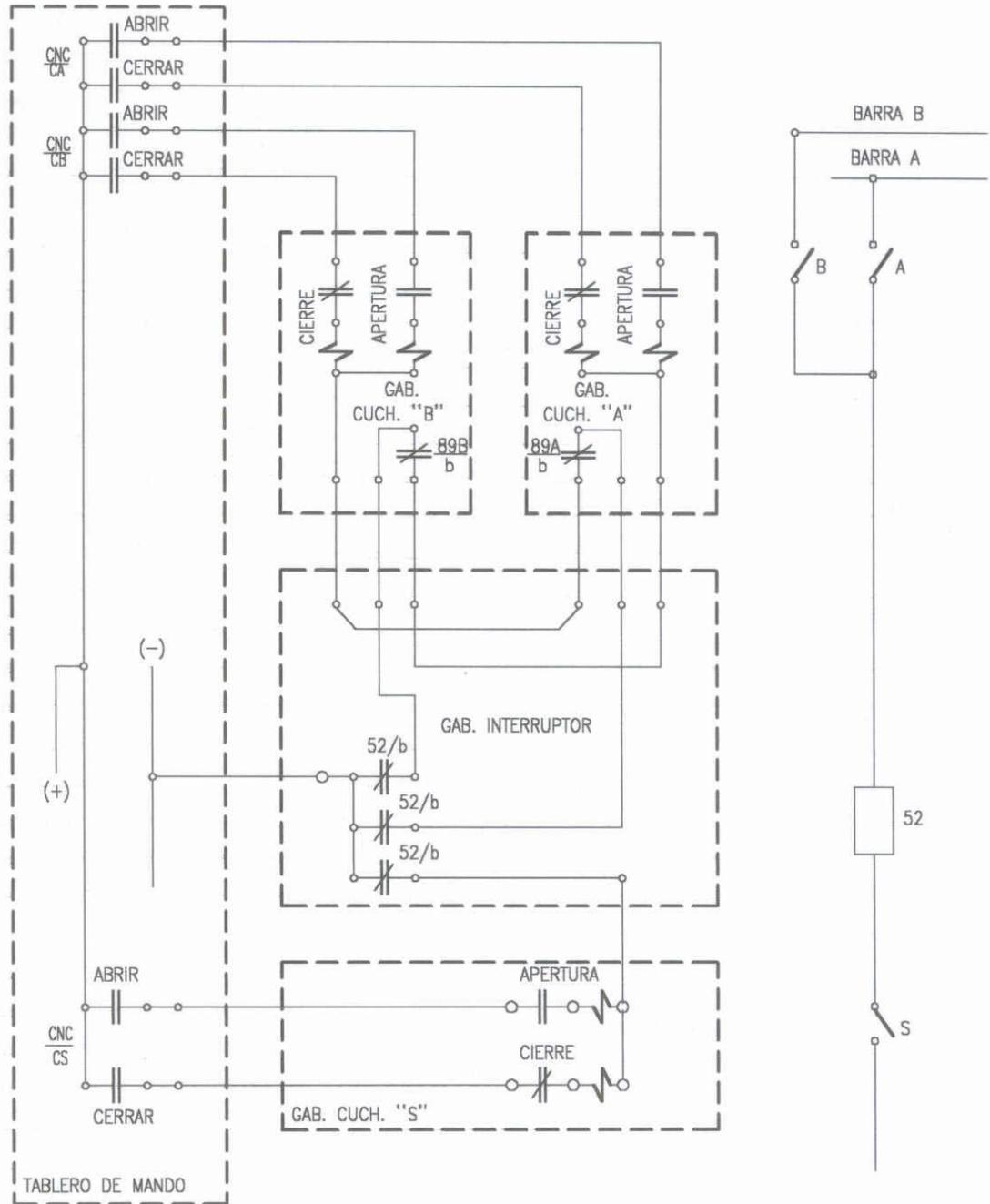


FIG. 2.19 ENCLAVAMIENTO DEL INTERRUPTOR A CUCHILLAS Y ENTRE CUCHILLAS PARA DIBLE JUEGO DE BARRAS E INTERRUPTOR DE AMARRE.

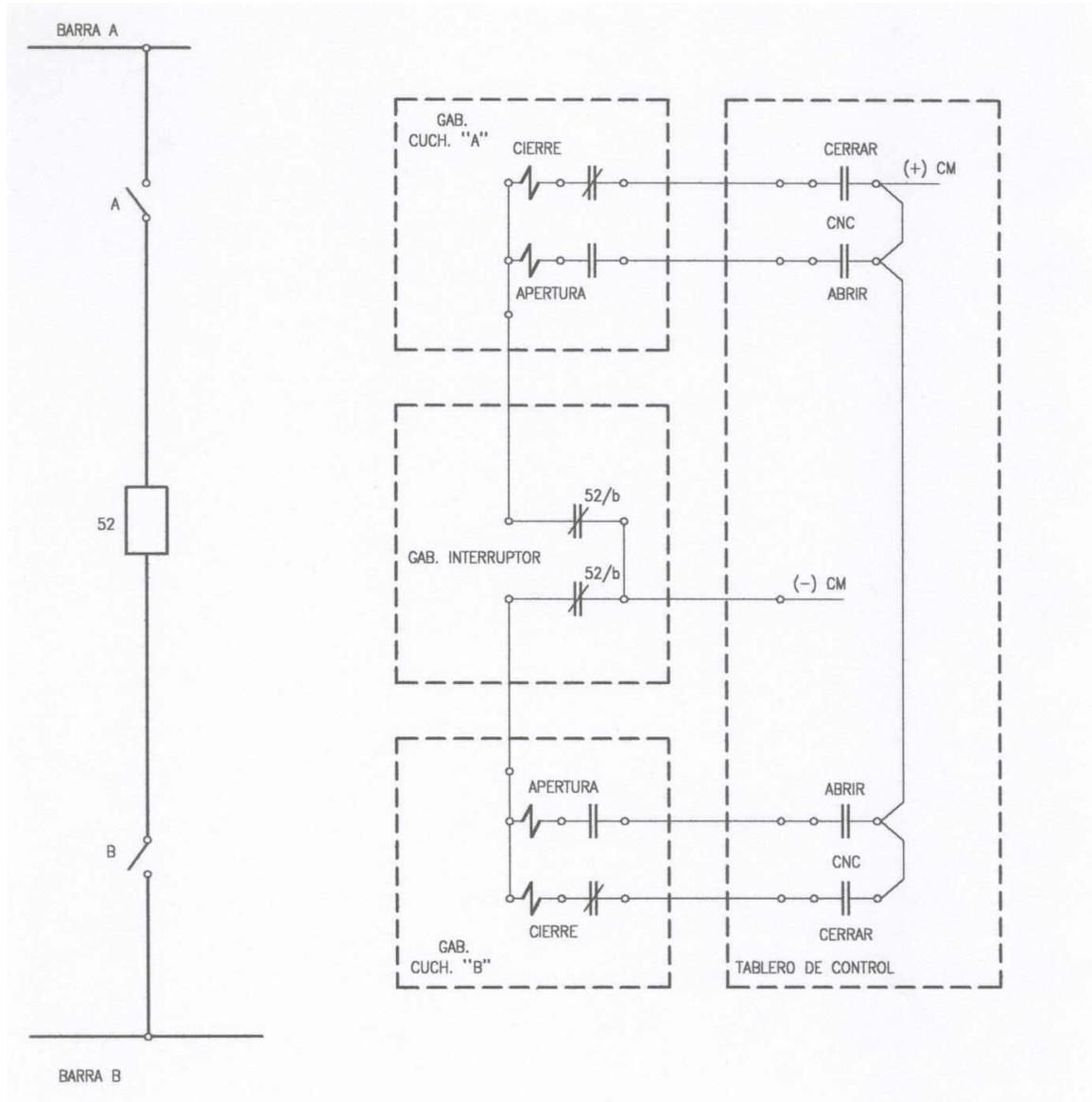


FIG.2.20 ENCLAVAMIENTO DEL INTERRUPTOR A CUCHILLAS PARA ARREGLO DE INTERRUPTOR Y MEDIO.

2.5 Aparatos registradores

En una subestación es importante disponer de aparatos automáticos que registren los incidentes ocurridos, para poder realizar un análisis posterior de estos. En las subestaciones se han utilizado tres tipos de aparatos que son:

- Osciloperturbógrafos
- Registradores de eventos
- Registradores de disturbios.

2.5.1 Osciloperturbógrafos (OPG)

El OPG permite registrar la información que hace posible el análisis posterior de cualquier disturbio ocurrido en el sistema, indicando con la precisión requerida, el tiempo de duración del funcionamiento de las protecciones, de los interruptores, y de los diversos automatismos, registrando los valores de ciertas magnitudes eléctricas, tales como corrientes y tensiones.

El OPG se compone esencialmente de un cilindro de acero que gira alrededor de su eje, aproximadamente a una velocidad de $2/3$ de vuelta por segundo. Cuando el cilindro realiza una vuelta completa se ejecutan las siguientes operaciones (Fig. 2.21):

- En la posición inicial A, el cilindro se cubre de una tinta especial.
- En la posición B se trazan sobre el cilindro, por medio de agujas, las ondas senoidales correspondientes a la corriente y tensión de las fases.
- En la posición C el cilindro imprime, al ponerse en contacto con el papel, los trazos que se le marcaron durante la posición B.

Cuando no se presenta ningún disturbio en el sistema, no se imprime en el papel durante la posición C la información grabada en la posición B, por lo cual al continuar girando el cilindro, se borra esta información al cubrirse nuevamente de tinta en la posición A, es decir se imprime la información únicamente cuando se presenta una condición anormal en el sistema. Debido a que el OPG cuenta con una memoria de la información que antecede al probable disturbio, permite

detectar el inicio y la evolución del disturbio.

Cuando se requiere analizar contingencias complejas, es necesario conocer con alto grado de precisión el momento en que el OPG inicia el registro de sus operaciones, esto se puede obtener mandando al registrador eventos una señal en el instante en que arranca el OPG.

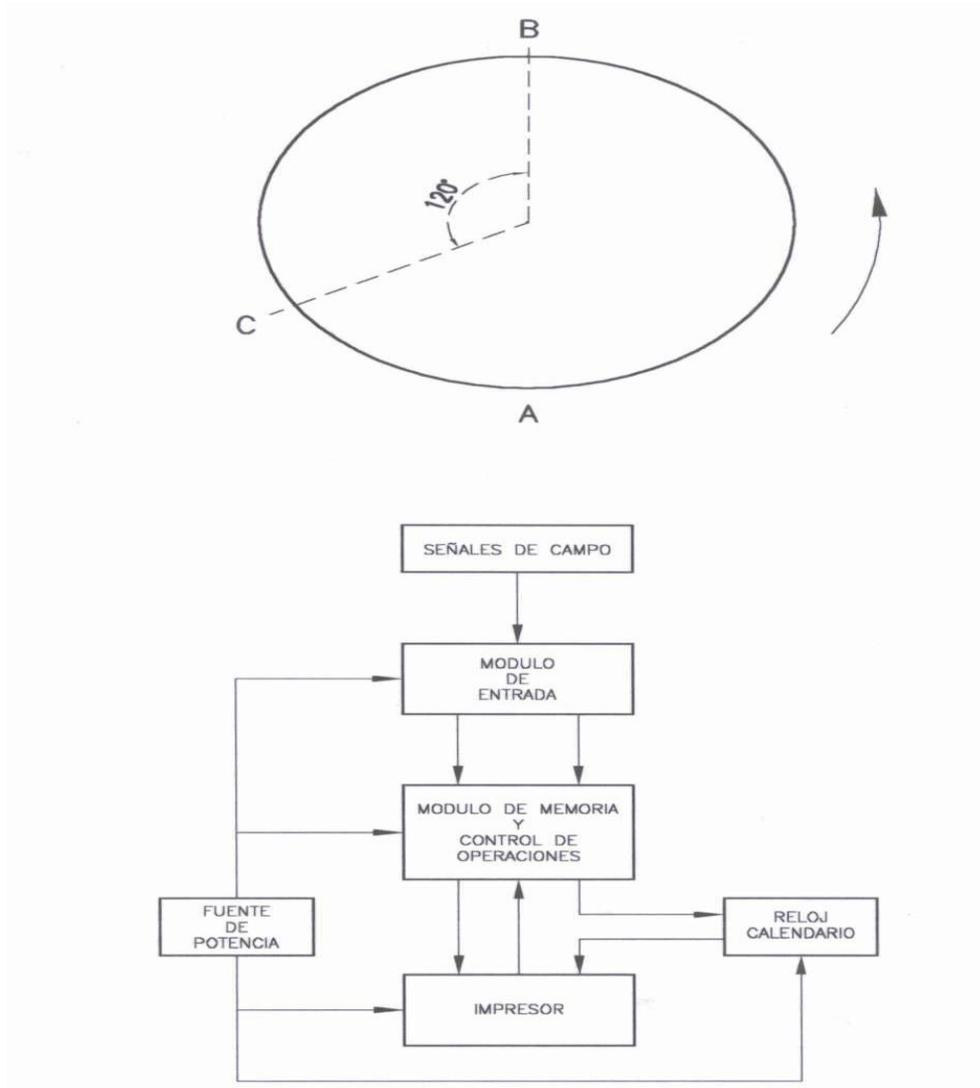


FIG. 2.21 CILINDROS GRABADOS DE UN OSCILOPERTUBOGRAFO Y DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN REGISTRADOR DE EVENTOS

2.5.2 Registradores de eventos

Es un aparato que detecta y registra las condiciones de operación de la subestación y proporciona la información de la fecha, la hora y el orden cronológico en que ocurren las diferentes contingencias, como son la operación de relevadores de protección, apertura y cierre de interruptores, funcionamiento anormal del equipo, etcétera

El uso de este equipo es indispensable en subestaciones telecontroladas, pero también se puede utilizar en las subestaciones que solo cuentan con control local, ya que la información obtenida con el registrador de eventos puede remplazar favorablemente a la conseguida con el cuadro de alarmas, auxiliando al operador en su relatorio.

El registrador de eventos, en términos generales, está formado por un módulo de alimentación con un conjunto de circuitos electrónicos en forma de tarjeta de entrada para aislar al módulo de los contactos remotos, sin que exista una conexión directa, dos puntos de información por tarjeta conocidos como el cambio de estado (alarma o normal) y el de datos del cambio, que indica cuando se ha detectado un cambio de estado. El de cambio de estado se puede reponer una vez que la información ha sido almacenada en la memoria. La dirección de cada tarjeta se lleva a cabo por medio del módulo de control y memoria .

El módulo de control y memoria tienen contadores de barrido para revisar las tarjetas de entrada, así como los circuitos necesarios para la detección de los cambios de estado en cualquiera de los puntos de alimentación. Al detectar un cambio de estado, el módulo de control hace trabajar al contador de lectura/escritura, así como a la impresora, almacenando en la memoria los datos de un reloj y la dirección del punto que sufrió el cambio de estado. Después de transmitir la información a la memoria, el módulo de control normaliza el detector del punto que sufrió el cambio de estado, continuándose el barrido de los demás puntos. La memoria almacena los datos del evento, de modo que la impresión se realice en forma cronológica. En la Fig. 2.21 se muestra el diagrama de bloques de un registrador de eventos.

Cuando la memoria se satura por existir varios cambios de estado a la vez, los subsecuentes cambios de estado se alimentan directamente a la impresora, después de que imprime cronológicamente los datos de la memoria. La impresión se logra barriendo los datos de cambio de estado individualmente e imprimiendo solo los que indican un cambio de estado. El módulo impresor contiene los circuitos necesarios para convertir la información de la memoria en la forma impresa deseada.

El registrador de eventos tiene control para el avance del papel, para hacer una impresión de prueba, para resumir las condiciones normales, para restablecer puntos de cambio de estado e imprimir el tiempo al iniciar el funcionamiento o carecer de energía.

Las funciones requeridas en el registrador de eventos para subestaciones telecontroladas están indicadas en la referencia.

2.5.3 Registradores de disturbios

Los registradores de disturbios, son aparatos que realizan las mismas funciones que los registradores de eventos, con la ventaja adicional de que por ser dispositivos con lo último en tecnología, nos permiten contar con los valores de los parámetros eléctricos en el momento de un disturbio, así como de los oscilogramas de estos transitorios, que son datos muy valiosos para el análisis de los mismos. A toda esta información se puede acceder desde un centro de control o un laboratorio de protecciones debido a que estos dispositivos cuentan con puertos de comunicación.

2.6 Nomenclatura de los circuitos de corriente directa.

Conforme han ido evolucionado los sistemas de control de las subestaciones, se han adoptado diferentes nomenclaturas para los circuitos de alimentación de corriente directa de los sistemas de control, las cuales se muestran en la Tabla 2.2. Por otra parte, como ejemplo, en la Fig. 2.22 se muestran las conexiones del cabezal de mando en corriente directa para interruptores de subestaciones telecontroladas.

2.7 Cables de control

A pesar de que los cables de control y protección representan un pequeño porcentaje del costo de una subestación, es de extrema importancia su selección y su instalación, considerando la simplicidad para facilitar la construcción y el mantenimiento, y la confiabilidad en la operación de la subestación. Por lo tanto, una buena instalación de cable de control deberá ser motivo de una buena planeación y construcción.

Para instalar los cables de control se han utilizado diferentes tipos de rutas, mismas que tienen sus ventajas y sus desventajas. Las rutas pueden ser básicamente de cuatro tipos diferentes:

a) Rutas con tubería conduit

Para este tipo de instalación, se requiere construir cajas de registro a distancias razonables para limitar los jalones de los cables a valores permisibles. Cada cable se instala en su correspondiente tubo y se deja un número determinado de tubos extra para ampliaciones futuras. En este caso se obtiene buena protección mecánica, pero su costo es relativamente alto.

b) Rutas con cables directamente enterrados en el suelo

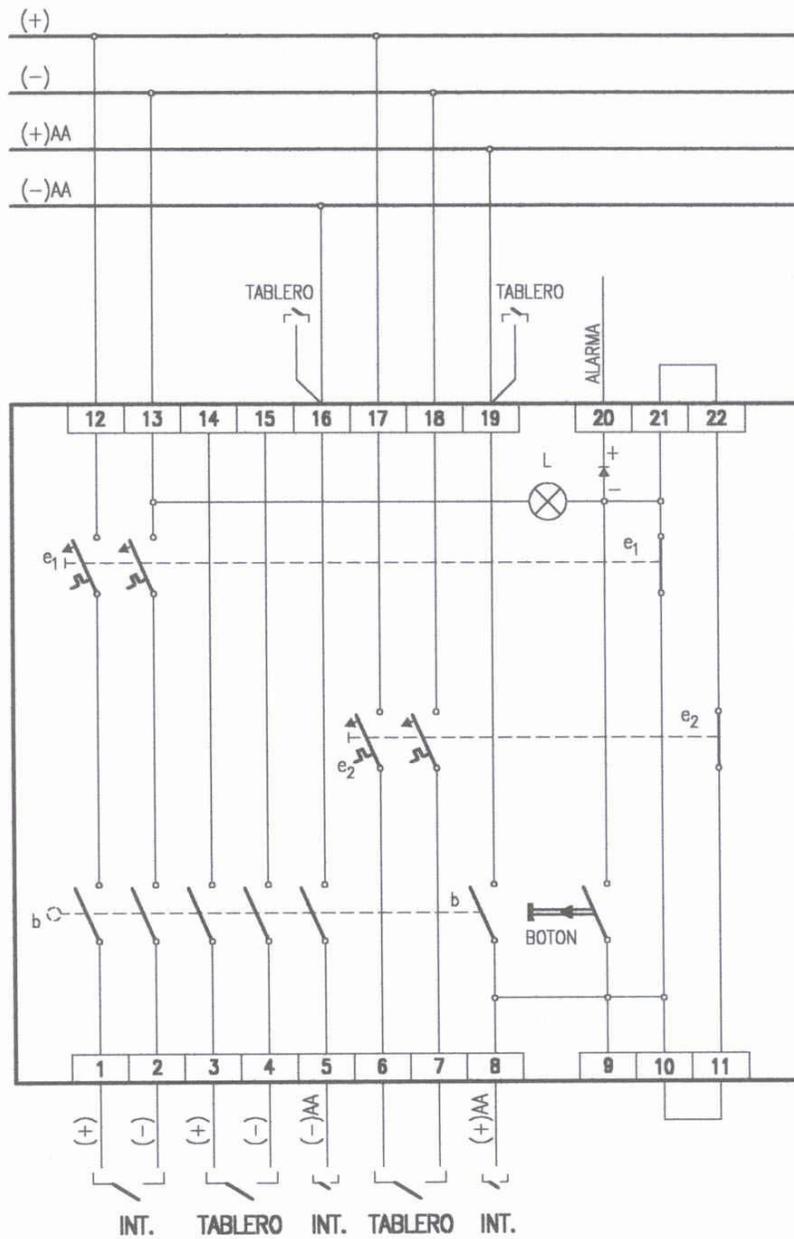
Este sistema es el más barato, pero tiene mala protección mecánica.

TABLA 2.2 EQUIVALENCIAS PARA SISTEMAS DE CORRIENTE DIRECTA

Subestaciones telecontroladas				Subestaciones no telecontroladas**	
Sin cabezales de mando *		Con cabezales de mando			
Tipo	Función	Tipo	Función	Tipo	Función
+ PP	(+) Disparos por protección primaria	+ P	(+) Disparos por protección primaria y respaldo	+ AL	(+) Disparos por protección primaria y respaldo
- PP	(-) Para bobina de disparo por protección primaria	- P	(-) Para bobina de disparo por protección primaria y respaldo	- NP	(-) Para bobinas de disparo por protección y control
+ PR	(+) Disparo por protección de respaldo	+ M	(+) Control	+ P	(+) Cierre por conmutador
- PR	(-) Bobinas de disparo por protección de respaldo y control	- M	(-) Señalización y control	- P	(-) Para bobina cierre por conmutador y señalización
+ AA	(+) Circuitos de alarmas	+AA	(+) Circuitos de alarmas	+PM	(+) Circuitos de alarma
- AA	(-) Circuitos de alarmas	- AA	(-) Circuitos de alarmas	- PM	(-) Circuitos de alarma
+ M	(+) Telecontrol	+ M	(+) Telecontrol		
- M	(-) Telecontrol y teleseñalización	- M	(-) Telecontrol y teleseñalización		
		+ I	(+) Control local de interruptores	+ NP	(+) Apertura local y remota
		- I	(-) Control local de interruptores		
* Ver planos norma 081-21505 A, B, C					
** Ver plano norma 081-15848					

c) Rutas en trincheras

Este sistema permite instalar los cables conforme se vayan requiriendo, ya sea directamente en el fondo de la trinchera o apoyando los cables en soportes anclados en las paredes de la misma y para conectar al equipo individual se utilizan tubos conduit. La trinchera debe ser cubierta con algún tipo de tapa que debe estar de acuerdo con las necesidades de tránsito de la zona.



NOTA :

ESTE ARREGLO SE USARA UNICAMENTE EN SUBESTACIONES TELECONTROLADAS

e₁ - INTERRUPTOR DE PROTECCION 10 A, 250 VCD TIPO 12237

e₂ - INTERRUPTOR DE PROTECCION 3 A, 250 VCD TIPO 12237

b - CONMUTADOR DE LLAVE 15 A, 220 VCD

FIG. 2.22 CABEZAL DE MANDO DE INTERRUPTORES S.E's TELECONTROLADAS.

El costo de este sistema es menor que el uso de tubería conduit y la protección mecánica está en un nivel intermedio pero se debe evitar instalar trincheras en áreas de maniobras de equipo pesado.

d) Rutas en charolas.

Este sistema necesita estructuras para soportar las charolas y su instalación es simple, con buena protección mecánica. La desventaja es la limitación en el movimiento de equipo.

Desde el punto de vista de los cables, el material usado es cobre, debido a su mejor conductividad y flexibilidad. Para uso en charola, el conductor deberá forrarse de polietileno con protección contra la propagación de incendios y de baja emisión de humos (LS)

En la medida que las subestaciones crecen en tamaño y en niveles de tensión, la posibilidad de falla en los cables de control es mayor, así como en los relevadores de protección de las mismas.

Los problemas genéricos en los cables de control y protección, se deben a los probables transitorios siguientes:

- Los inyectados directamente en los circuitos debido a la apertura o cierre de un interruptor conectado a circuitos altamente inductivos (transformadores).
- Los ocasionados por acoplamiento con circuitos de control adyacentes.

Los campos magnéticos causados por las corrientes de los circuitos de alta tensión inducen tensiones en circuitos abiertos o bien corrientes en circuitos cerrados. Las tensiones inducidas pueden ser peligrosamente altas mientras que las corrientes inducidas prácticamente nunca causan daño, por lo tanto es conveniente poner a tierra los extremos del blindaje en los casos que se usen cables blindados

Por otro lado, en los estudios hechos en barras donde coinciden grandes cantidades de energía capacitiva, los oscilogramas de pruebas indican que los transitorios en los circuitos de fuerza son complejos y consisten en dos tipos de

componentes:

- Los generados en los parámetros considerados en forma concentrada.
- Los generados en los parámetros considerados en forma distribuida.

En el primer caso, se producen oscilaciones amortiguadas, en donde la frecuencia y el amortiguamiento están determinados por la capacitancia de los bancos de capacitores y por la inductancia y resistencia de las barras. Las frecuencias de los transitorios pueden ser de KHz.

En el segundo caso las oscilaciones son producidas por la propagación de la onda de impulso generada al abrirse un interruptor y circular por las barras correspondientes hasta chocar y reflejarse en las terminaciones de las mismas. Las frecuencias son del orden de 3 MHz. Debido a las frecuencias muy altas esta componente resulta fuertemente acoplada a los circuitos de control y protección, provocando inclusive transferencia por radiación. Para eliminar las altas frecuencias transmitidas por radiación se debe instalar en la terminal de los cables de control, del lado que remata en el edificio de tableros, un capacitor de 0.1 μ F por cable, que se conecta a tierra para descargar estas señales.

Los transitorios generados en esta gama de frecuencias se reducen a medida que se incrementan el número de salidas de líneas de las barras principales.

En general, se ha observado que los transitorios en los cables de control y protección aparecen tanto al abrir un interruptor de alta tensión, como al abrir interruptores de baja tensión, de motores de control y aún al abrir los contactos de los mismos relevadores de protección. En estos últimos casos, los transitorios producidos serán menos severos, pero debido a que los conductores que intervienen en el acoplamiento electromagnético se instalan en un mismo haz de cables, los disturbios se producen en cantidad comparable a la del primer caso.

De todo lo anterior se han hecho pruebas en los cables de los circuitos secundarios de TC's y TP's en circuitos de fuerza y control de corriente directa y corriente alterna, tanto en subestaciones de 230 kV como de 400 kV, concluyendo lo siguiente:

- a) En los circuitos secundarios de los transformadores de potencial se han medido tensiones hasta de 8 kV.
- b) En los circuitos de fuerza de baja tensión de corrientes directa y alterna se han detectado tensiones hasta de 3 kV.
- c) En los circuitos secundarios de los transformadores de corriente se han obtenido valores hasta de 2 kV.
- d) Por apertura de interruptores de baja tensión se han llegado a tener amplitudes hasta de 3 kV.
- e) La naturaleza oscilatoria de los transitorios es debida a las múltiples reflexiones de la onda al producirse el impulso. Los valores observados de las frecuencias que se producen al operar diferentes interruptores son los siguientes:
 - Interruptores de líneas de 50 a 300 KHz.
 - Interruptores entre barras de 300 a 600 KHz.
 - Interruptores de baja tensión de 300 a 2000 KHz.

La amplitud de estos transitorios se amortigua después de cuatro ciclos de radiofrecuencia, a un valor de aproximadamente la mitad de la amplitud original.

- f) Se han observado este tipo de problemas en circuitos bastante separados de aquellos en los cuales se han originado los transitorios.
- g) Al energizar o desenergizar bobinas de relevadores o de disparo o apertura de interruptores se producen fenómenos tan intensos como los producidos al operar interruptores de alta tensión, esto ocasiona que en una misma charola de cables existan inducciones entre cables adyacentes.

2.7.2 Métodos para limitar las sobretensiones transitorias

Con objeto de evitar las sobretensiones transitorias, a continuación se describen diversas recomendaciones:

1. Se debe poner especial atención en el diseño de las rutas de cable de control y protección.
2. Es necesario contar con un sistema de tierra adecuado, así como una

- puesta a tierra confiable de los equipos instalados en la subestación.
3. Las sobretensiones transitorias deben mantenerse a un nivel inferior al de falla de aislamiento de los cables, el cual se considera alrededor de 3 kV.
 4. En las subestaciones se utiliza cable de control blindado, conectando a tierra el blindaje en ambos extremos. Cuando no se instalen cables blindados, es conveniente usar charolas metálicas puestas a tierra en sus extremos. Si el cable de control es muy largo, se deben poner a tierra puntos intermedios del blindaje (aproximadamente cada 20 m).
 5. El tubo conduit de acero tiene excelentes propiedades para el blindaje de conductores.
 6. Los cables de control sin blindaje se pueden proteger en formas diferentes:
 - Poniendo a tierra en sus dos extremos conductores de reserva.
 - Colocando tapas metálicas sobre la trinchera y conectando a tierra cada una de ellas. Estas tapas podrán ser de hierro o de aluminio.
 - Instalando en cada uno de las paredes de las trincheras un cable de cobre desnudo de 107.2 mm² (4/0) que se conectará a la red de tierra cada 20 m.
 - Cuando se presenta radiofrecuencia, se conecta un capacitor de 0.1 microfarad en cada cable de control, en sus terminales en el salón de tableros, conectando a tierra el otro extremo del capacitor.
 7. Para subestaciones con bancos de capacitores de alta energía, los transitorios deben tratar de suprimirse en la fuente (interruptor) utilizando resistencias de 160 ohms integradas a los interruptores correspondientes y además puenteando a tierra, lo más cerca posible del salón de tableros, a través de capacitores.
 8. En los pozos los cables de control y protección deben entrar en ángulo recto con los cables de fuerza de baja tensión.
 9. Los cables que se instalan en las trincheras tienen mayor protección contra los transitorios, a medida que se instalan más próximos a la red de tierra.

10. Para casos extremos, se ha observado que cuando a un cable blindado con sus dos extremos del blindaje conectados a tierra, se tiende paralelo a él un cable de cobre desnudo con sus extremos, a su vez, conectados a tierra, se han medido tensiones inducidas dentro de los conductores de 5 V entre líneas y de 100 V de línea a tierra, a pesar de que los conductores se encuentren sobre la superficie del terreno.

2.7.3 Identificación de cables de control

En la Norma Z 081-32042 *Etiquetas en los remates de los cables de control*, aprobada por el Comité de Normalización de LFC, se establecen los requisitos que deben cumplirse en la elaboración de las etiquetas que se usan para identificar los cables de control, en las subestaciones y plantas generadoras.

Por otra parte, el *código de colores para cables de control*, permite identificar las funciones de cada grupo de cables considerando

- Alimentación de corriente alterna
- Alimentación de corriente directa
- Control y señalización
- Circuito de TC's
- Circuito de TP's

Del cable de control y la carga por alimentar, el calibre correspondiente.

Con la finalidad de que en los proyectos de la entidad se cuente con información uniforme y validada por todas las áreas técnicas de la empresa, existe un *Comité de Normalización de Subestaciones y Plantas Generadoras*, formado por personal técnico de alto nivel de las diversas áreas, el cual es coordinado por la Gerencia de Ingeniería.

La función del Comité es elaborar y revisar periódicamente los planos norma de los diagramas y tableros de control, protección y medición de las subestaciones en tensiones de 23 a 400 kV

CAPITULO 3. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO SAN JUAN DE ARAGÓN

3.1 Introducción.

El territorio de la República Mexicana se caracteriza por su geografía y ecología, muy diversificada, con unas áreas de extrema aridez y otras de abundante humedad. Es por ello que para el abasto de agua potable a las ciudades se ha recurrido a diferentes modalidades administrativas, privada, municipal y mixta; la gestión del desalojo de las aguas negras en cambio, como ha sido documentada en varias ciudades mexicanas, constituye un ejemplo administrativo de "despreocupación". Antaño ésta agua era considerada inservible e incómoda, hoy en cambio es valorada y disputada por nuevos actores sociales como un recursopreciado e intercambiable. Desde la perspectiva de la salud pública identificamos una singular paradoja, pues mientras la burocracia ha sido capaz de organizar el servicio de atención médica para millones de pacientes, el saneamiento de las aguas de drenaje quedó completamente desatendido exponiendo a la población en general a las enfermedades de origen hídrico (Melville, 2000).

En la actualidad uno de los problemas que más preocupa a la humanidad es la gran cantidad de contaminantes que son desechados en el agua por el hombre. Por ello se han desarrollado una gran variedad de métodos para el tratamiento de aguas residuales, y el principal objetivo de estos es obtener un efluente que pueda ser reusado o descargado al medio ambiente sin causar daños al entorno; sin embargo, los problemas de la evacuación y el tratamiento se han ignorado, ya que el costo de la infraestructura es demasiado alto (ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MÉXICO, 2006).

En México, desde hace más de cien años, la utilización del agua residual sin tratar ha sido una práctica común. Uno de los Distritos de Riego pioneros en esas prácticas es el 03, Tula en el Estado de Hidalgo, en donde hasta la fecha, el agua residual generada por la zona metropolitana de la Ciudad de México, es utilizada para el riego agrícola y ha permitido aumentar en 71% la producción de alfalfa. Sin embargo, trabajos realizados por el Instituto Nacional de Salud Pública y el Instituto Nacional de Nutrición desde 1988, demuestran que la población de esa región sufre infecciones intestinales con índices entre 6 y 22 veces mayores que otras zonas del país. De forma tal que los efectos se presentan no sólo en los agricultores y sus familias, sino también en los consumidores de los productos regados con esta agua negras. (Jiménez, 1999).

Otra situación que forma parte del círculo vicioso de la problemática del agua para uso humano, es el hecho de que el agua subterránea, por lo general, tiene una mayor calidad que el agua superficial, y por lo tanto la extracción para su uso es exhaustiva. La importancia del agua subterránea queda de manifiesto por la magnitud del volumen utilizado por los principales usuarios; el 36% (27 737 hm³

año) del volumen total concesionado es de origen subterráneo. Además, a partir de la década de los setentas ha venido aumentando sustancialmente el número de acuíferos sobre explotados, de 36 en 1981, 80 en 1985, 102 en 2003 y 104 en el 2005. De éstos se extrae casi el 60% del agua subterránea para todos los usos; de ahí la importancia de dar uso a las aguas residuales (ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MÉXICO, 2006).

Aunado a todo lo antes mencionado, la ZMVM tiene la problemática de la difícil eliminación de sus aguas residuales, pues el Gran Canal del Desagüe tenía una capacidad de desfogue hacia mediados del siglo XX, de 90 m³/s; sin embargo, como consecuencia de la extracción de agua del subsuelo, la Ciudad alcanzó en sólo un siglo un hundimiento, en su parte central, de casi 9 m. El Gran Canal, que recibía escurrimientos por gravedad, ahora se encuentra 4 m. arriba del nivel medio de la Ciudad y ha perdido su pendiente original en sus primeros 18 km (Figura 3.1), en el tramo que corre por la zona urbana del Área Metropolitana. En septiembre del 2002 tenía una capacidad de conducción inferior a 7 m³/s, complicando la operación de los sistemas de drenaje y desagüe de la Ciudad, colocando a ésta en riesgo creciente de inundación (Secretaría de Obras y Servicios, 2007).



Figura 3.1. Pérdida de capacidad del Gran canal debido al hundimiento de la Ciudad. Fuente. Equilibrio hidrológico en la cuenca del Valle de México. CNA, 2007.

Por ello se han instalado diversas plantas de bombeo, una de ellas ubicada en el kilómetro 18.5 del Gran Canal del Desagüe, en el Municipio de Ecatepec, Estado de México, ha sido construida para ampliar la capacidad de desalojo de este conducto, de menos de 7 a 42 m³/s y recuperar parcialmente la capacidad disminuida por la pérdida de pendiente (Secretaría de obras y Servicios, 2007). Todo lo antes mencionado, nos permite reflexionar en la importancia de usar eficientemente el agua potable, y de tratar la mayor cantidad de agua residual

posible, y encontrar para ella la mayor cantidad de usos. De modo que para tal caso el agua residual tratada debe ser suficiente en cantidad y en calidad.

Para lograr este equilibrio, es necesario que tanto los procesos como la infraestructura de una planta de tratamiento funcionen correctamente. Los procesos son la parte medular de una planta, pero si la obra civil no funciona adecuadamente, esto incidirá sin duda en el funcionamiento del resto de los componentes de la misma; es por ello que en este trabajo se busca identificar los efectos negativos que provocan en la planta, las deficiencias en la obra civil.

Debido a lo anterior se lleva a cabo un trabajo de campo con fundamento teórico-práctico, es decir, una tesis profesional, documento que contendrá al final la descripción del problema que existe en la PTAR San Juan de Aragón, considerando que **el efluente alimenta el Lago artificial del Bosque de Aragón** el cual cumple una función recreativa y de generación de sistemas acuáticos ambientales, anteriormente se realizó un trabajo respecto el lago, en el cual se demostró el gran azolvamiento existente, de modo que en este trabajo se desea conocer la eficiencia de remoción de partículas en suspensión, para conocer si este azolve es causado por la alimentación del lago, es decir, si proviene de la planta de tratamiento.

Un ejemplo de los problemas profesionales que se observan es la baja eficiencia, por ello es necesario evaluar las condiciones de las operaciones unitarias para conocer la eficiencia terminal de dichas obras sanitarias, y al final generar alternativas de solución fundamentadas y reales.

Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales

En México se construyó la primera planta de tratamiento de aguas residuales en el año 1956, en Chapultepec, en ella se lleva a cabo un tratamiento a nivel secundario con desinfección, mediante un proceso convencional de lodos activados.

Desde entonces se han construido innumerables plantas de tratamiento a lo largo de todo el territorio nacional, las cuales operan bajo diferentes procesos. Para el año 2006, existían en operación 1 593 plantas en el país, y trataron 74.39 m³/s, es decir 30% de los 242 m³/s de aguas residuales producidas en los centros urbanos (Tabla 3.1) (ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MÉXICO, 2007).

Tabla 3.1. Descargas de aguas residuales municipales y no municipales, 2006.

DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Y NO MUNICIPALES.		
CENTROS URBANOS (DESCARGAS MUNICIPALES)		
AGUAS RESIDUALES	7.63	
SE RECOLECTAN EN ALCANTARILLADO	6.50	
SE TRATAN	3.35	

Fuente. CONAGUA. Subdirección de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, citado por Estadísticas del Agua en México, 2007.

Sin embargo, a pesar de que el número de plantas de tratamiento ha aumentado considerablemente en los últimos años, son muy pocas aquellas que tratan realmente el caudal de diseño, como puede observarse en la Tabla 3.2, son pocas las entidades federativas en las que el caudal tratado es igual al instalado.

Tabla 3.3. Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación, 2006.

Los procesos más usados en las plantas de tratamiento en México son las lagunas de estabilización y **los lodos activados**, mediante este último proceso se trata el 43.6% del total del caudal tratado en el país (Tabla 3.3) (ESTADÍSTICAS DEL AGUA EN MEXICO, 2007).

PROCESO	NÚMERO	CAUDAL TRATADO (m ³ /s)	PORCENTAJE
Biodiscos	7	0.48	0.6%
Dual	9	4.05	5.4%
Filtros biológicos	43	3.49	4.7%
Lagunas de estabilización	622	13.81	18.6%
Lagunas aireadas	19	5.07	6.8%
Lodos activados	372	30.93	41.6%
Primario	15	2.09	2.8%
Primario avanzado	17	9.85	13.2%
R.A.F.A.*	122	1.06	1.4%
Reactor enzimático	50	0.09	0.1%
Tanque Imhoff	63	0.42	0.6%
Tanque séptico	82	0.16	0.2%
Wetland	110	0.42	0.6%
Zanjas de oxidación	23	2.17	2.9%
Otros	39	0.28	0.4%
Total	1 593	74.39	100.0%

Fuente. CONAGUA. Subdirección de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, citado por las Estadísticas del Agua en México, 2007.

Tabla 3.2

Lodos activados

Las causas de ineficiencia en la operación o de que se encuentren los sistemas fuera de servicio son diversas. La situación de desatención y abandono en que se encuentran las plantas de tratamiento de aguas residuales construidas, congregan problemas serios de nuestra época, como son: las deficiencias tecnológicas, en ocasiones debidas a errores conceptuales desde su diseño" pero sobre todo financieras, así como la casi nula conciencia de la problemática ambiental, derivada del inadecuado manejo histórico de las aguas negras (Romero et al, 2001).

La mayoría de las plantas de tratamiento que se encuentran en operación corresponden a diseños sobredimensionados en los que, además, se observa una excesiva mecanización, instrumentación y automatización, que encarece y complica, tanto la operación y el mantenimiento, así como la amortización de las inversiones, y la producción de lodos es en cantidades tales que constituye un problema difícil de solucionar. Hay otros factores determinantes de la problemática, como son: la existencia generalizada de sistemas de alcantarillado de tipo combinado que entorpece las operaciones de tratamiento durante la época de lluvias; las descargas de tóxicos industriales que no son tratados intramuros; y la falta de equipos en los laboratorios sobre los cuales se apoya toda la actividad relativa al control de descargas y del tratamiento (Romero et al, 2001).

La evaluación de la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales permite conocer el comportamiento de los procesos que la integran, y definir así donde se concentran sus deficiencias, de modo que se requiere:

=> Comparar la capacidad real del tratamiento respecto a la capacidad teórica del diseño y con las exigencias de calidad de la normatividad. ..

=> Documentar y en su caso optimizar los diferentes procesos que integran la planta, y conocer las eficiencias de operación específicas de las partes del proceso.

=> Establecer un perfil mediante el que sea posible seleccionar un proceso unitario de tratamiento sobre el cuál deba fijarse mayor atención.

De forma tal que el grado de eficiencia de una planta de tratamiento puede definirse como la reducción porcentual de los parámetros de control apropiados (Romero et al, 2001).

Proceso de Lodos Activados.

1-En el tratamiento de aguas residuales se pueden distinguir cuatro etapas que comprenden procesos químicos, físicos y biológicos: 1- Tratamiento preliminar, destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables.

2- Tratamiento primario que comprende procesos de sedimentación.

3- Tratamiento secundario que comprende procesos biológicos (lodos activados) y químicos (desinfección).

4- Tratamiento terciario o avanzado que está dirigido a la reducción final de la D80, la disminución de nutrientes y la eliminación de patógenos y parásitos.

El llamado proceso de lodos activados es un tratamiento cuyos inicios surgen en Inglaterra a principios del siglo XX. Consiste en un tratamiento aerobio (secundario) que oxida la materia orgánica a CO_2 + agua + NH_4^+ + nueva biomasa. El aire necesario para el tratamiento se proporciona mediante difusión o por tratamiento mecánico. Durante el tratamiento los microorganismos forman flocúlos que, posteriormente, se dejan sedimentar en un tanque denominado tanque de clarificación. El sistema básico comprende, pues, un tanque de aireación

y un tanque de clarificación por los que se hace pasar los lodos varias veces (Universidad de Navarra, 2007).

Los dos objetivos principales del sistema de lodos activados son la oxidación de la V materia biodegradable en el tanque de aireación y la floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente clarificado (Universidad de Navarra, 2007).

La Planta de tratamiento de aguas residuales de San Juan de Aragón (SJDA) funciona con un proceso de **lodos activados convencional**, y aunque como ya se mencionó este es un sistema ampliamente utilizado y muy estudiado, aún quedan muchas áreas que pueden ser mejoradas.

Existen algunas variables del sistema de lodos activados (DSCOH, 2006):

Lodos activados convencionales.

Lodos activados completamente mezclados.

Lodos activados por contacto-estabilización.

Lodos activados por aeración en etapas.

Lodos activados de alta tasa.

Lodos activados por aeración extendida.

Lodos activados por proceso SBR.

En el proceso de lodos activados convencionales, el agua residual junto con los lodos activados recirculados entra por un extremo del tanque de aeración. La mezcla se lleva a cabo por medio de difusores que proporcionan el aire o por medio de aireación mecánica

La aeración es generalmente uniforme a todo lo largo del tanque. Posteriormente, los lodos activados se separan en un clarificador secundario de donde se obtiene el efluente clarificado (Figura 3.2)

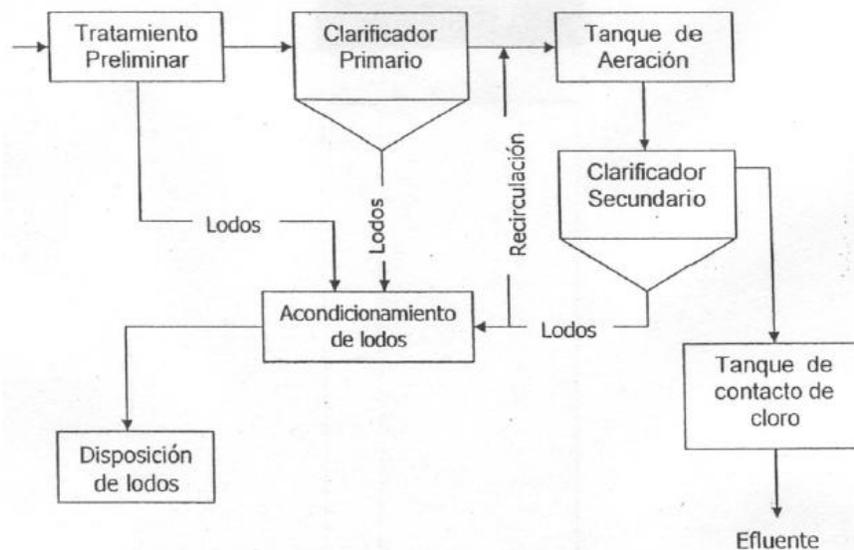


Fig.3.2

La Planta San Juan de Aragón tiene más de 40 años operando, pues fue construida en 1964, y ha sufrido algunas modificaciones en todos estos años, además del deterioro propio de los años y algunos problemas en su estructura, como los hundimientos diferenciales que presentan casi todos los tanques. Sin embargo, a pesar de todos estos problemas, la planta sigue operando, y entrega un producto de calidad aceptable, cuyo uso principal es abastecer de agua el lago del Bosque de San Juan de Aragón, sin embargo su calidad no es constante y los desechos que en ella se producen no son adecuadamente procesados.

3.2 Objetivos

Generar un diagnóstico de la obra civil de las operaciones unitarias de la PTAR San Juan de Aragón, con base en las condiciones en que se encuentra la infraestructura así como su eficiencia de remoción de partículas en suspensión.

- Identificar las alteraciones que han sufrido las operaciones unitarias de la PTAR San Juan de Aragón con base en los planos constructivos de la misma.
- Evaluar cada operación unitaria que conforma el diseño de la PTAR San Juan de Aragón, considerando las alteraciones que han sufrido cada una de ellas y su impacto en el tratamiento.
- Determinar la remoción de sólidos suspendidos totales en -el tren de tratamiento, tomando como base la evaluación de las operaciones unitarias y la normatividad en materia de calidad del agua residual.
- Realizar un balance de masa en la PTAR San Juan de Aragón considerando los resultados obtenidos en el laboratorio y las condiciones en que se encuentran las operaciones unitarias que conforman el tren de tratamiento.

En este trabajo se identificarán los efectos negativos que provocan en la planta SJDA, las deficiencias en la obra civil y los daños que han sufrido las instalaciones.

Se diseñará una propuesta conceptual de las operaciones unitarias que permitan una mejor eficiencia de la planta San Juan de Aragón.

3. 3 Caso de estudio.

La planta de tratamiento de aguas residuales San' Juan de Aragón se encuentra ubicada en la colonia San Juan de Aragón, en la delegación Gustavo A. Madero en la Ciudad de México (Figura 3.3), ocupa un área de 5 Hectáreas aproximadamente, al Este se encuentra limitada por la avenida 503, al Oeste por la avenida del Gran Canal, al Sur por la avenida Tlacos y al Norte por la avenida oriente 101 (Eje 3 Oriente que es donde se localiza el acceso principal) (DGCOH, 1986).



Figura 3.3. Vista aérea de la PTAR San Juan de Aragón. Fuente. Google Eart, 2007.

La Ciudad de México se encuentra situada en llanuras lacustres en el llamado "Valle de México", sobre los rellenos del fondo del ex lago de Texcoco y a este

hecho, se deben los problemas de cimentaciones que se presentan en esta ciudad (Verano, 2007).

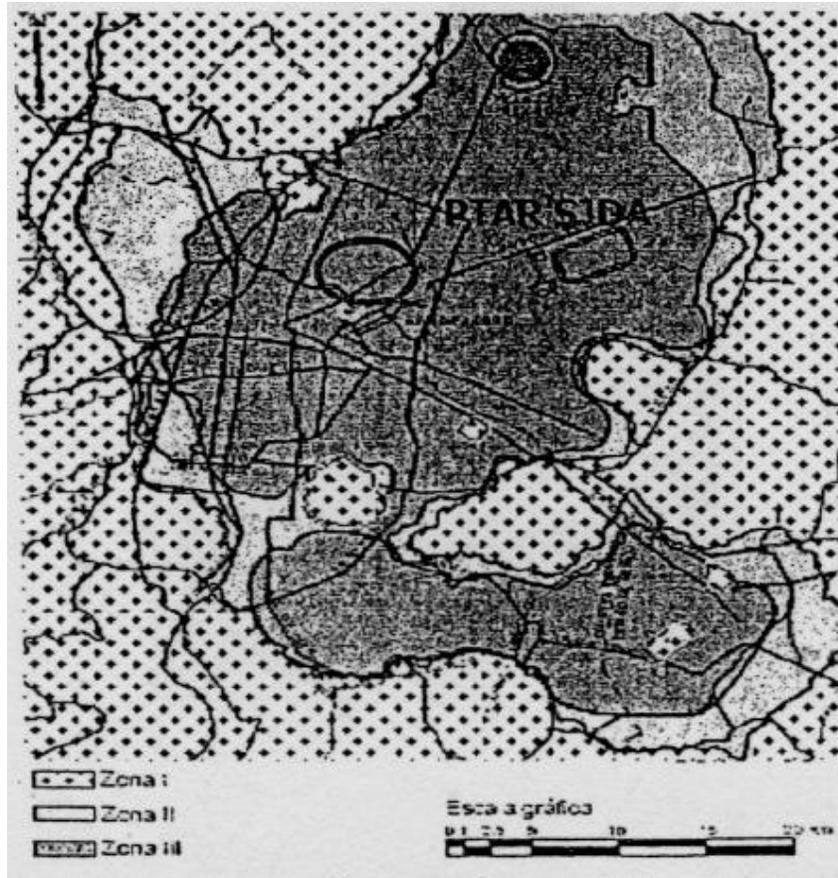


Figura 3.4. Zonificación geotécnica del valle de México Fuente. Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de cimentaciones. RCDF, 2004

La planta de tratamiento de aguas residuales San Juan de Aragón se encuentra localizada en la zona III o lacustre, por lo cual es común que se presenten hundimientos en las construcciones (Figura 3.3).

La ciudad de México experimenta actualmente un hundimiento considerable de hasta 30 cm. por año, este hundimiento ha sido patente desde hace más de un siglo, en los últimos años se ha incrementado notablemente, motivado por la intensificación del bombeo de los acuíferos inferiores para el abastecimiento de agua potable.

Por lo que para efectos de construcción, el mismo Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal ha dividido la Zona Metropolitana del Valle de México

(ZMVM) en tres grandes zonas. El hundimiento se presenta sólo en las zonas II y III, definida en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF) como "zona III" o Lacustre y en la "zona I1", de Transición y no se presentan en la "zona 1" de Lomas (suelo firme) (Figura ~.2) (Verano, 2007).

Figura 3.3. Pozo que muestra el hundimiento en San Juan de Aragón de 1936 a 2005. Fuente. Equilibrio hidrológico en la cuenca del Valle de México. CNA, 2007. Como puede observarse (Figura 3.4), la zona en donde se encuentra ubicada la Planta SJDA, se halla dentro de la zona más propensa a inundaciones en la ZMVM; de ahí la importancia de **no** contribuir al mal funcionamiento del Gran Canal, y tener la posibilidad de aprovechar para reuso y tratamiento de todo este exceso de agua.

3.4 Condiciones de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Es necesario mencionar el hecho de que son muy pocos los documentos que fue posible conseguir para su consulta en la biblioteca del Sistema de Aguas de la Ciudad de México, y' en el archivo de la planta se consiguieron documentos adquiridos o elaborados por los propios operadores y algunos planos constructivos. Según el manual de operación de la planta de tratamiento San Juan de Aragón, obtenido en la biblioteca de la SACM, cuando se diseña una planta el proyectista debe apoyarse en valores recomendados para ciertas características de la planta.

Dichas características son comúnmente llamadas **parámetros de diseño** y sus valores son dictados tanto por experimentación en escala piloto, como por la experiencia operacional de que se disponga. Una vez construida la planta y alcanzado el estado operativo, estos parámetros sirven para evaluar el funcionamiento y en otros casos para controlar la operación. A continuación se presentan los parámetros más importantes y su respectiva definición (documento proporcionado por el operador, 2008):

- a) Tiempo de retención hidráulico (8h), se define como el tiempo en horas que transcurre desde la entrada del agua, su paso a través del tanque y su salida. Se obtiene dividiendo el volumen del tanque entre el gasto de entrada.
- b) Carga Orgánica Volumétrica. Definida como la cantidad de materia orgánica aplicada por metro cúbico y por unidad de tiempo. la materia orgánica es representada indirectamente mediante la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBOs) o bien la Demanda Química de Oxígeno (DQO), las cuales determinan la cantidad de oxígeno consumido por la oxidación de la materia orgánica involucrando reacciones bioquímicas en el primer caso y químicas en el segundo, la Carga Orgánica Volumétrica se obtiene dividiendo la DBO o DQO entre el gasto.

- c) Sólidos Suspendidos Volátiles en el Licor Mezclado (SSVLM), se les considera como una medida indirecta de la cantidad de microorganismos activados (o biomasa) existente, en un momento dado, en el tanque de aeración y en consecuencia en el Licor mezclado.
- d) Factor de carga F/M o Relación Alimento-Microorganismos. Expresa la relación que existe entre la cantidad de alimento aplicado en el tanque de aeración por día (expresada en mg/L de OSO ó OQO) y la cantidad de microorganismos existentes en el tanque de aeración (SSVLM). Su importancia radica en que permite regular el crecimiento de microorganismos y optimizar la degradación de la materia orgánica por la biomasa.
- e) Tiempo Medio de Retención Celular (TMRC). Se define como el tiempo promedio, en días, que un microorganismo permanece en el proceso de tratamiento.
- f) Tasa de recirculación de lodos (R); indica el porcentaje del gasto de entrada, que es retornado al tanque de aeración.
- g) Gasto de entrada (Q_i). Que refiere a la cantidad (en L/seg) que ingresa al proceso de tratamiento.
- h) Caudal de recirculación de lodos (Q_r). Cantidad de licor mezclado (en L/seg) que se retorna al tanque de aeración.
- i) Caudal de Purga (Q_w). Cantidad de licor mezclado (en L/seg) que se desecha del sistema.

Sin embargo en dicho manual, aunque se explica claramente cuáles son los parámetros de diseño que deben tomarse en cuenta, no se especifican los valores considerados para el diseño de la planta de tratamiento SJOA.

A continuación se muestran los únicos datos que se muestran en dicho documento; características generales:

La planta está diseñada para tratar un caudal de 500 litros por segundo por medio de dos unidades de tratamiento de lodos activados convencional (de 250 L/s cada una). 8 tren de tratamiento, que es a nivel secundario, consta de: tratamiento preliminar, primario, secundario con difusión de aire comprimido y desinfección con cloro, además de los equipos que integran la infraestructura de apoyo (Figura 3.5) (DGCOH, 1986).

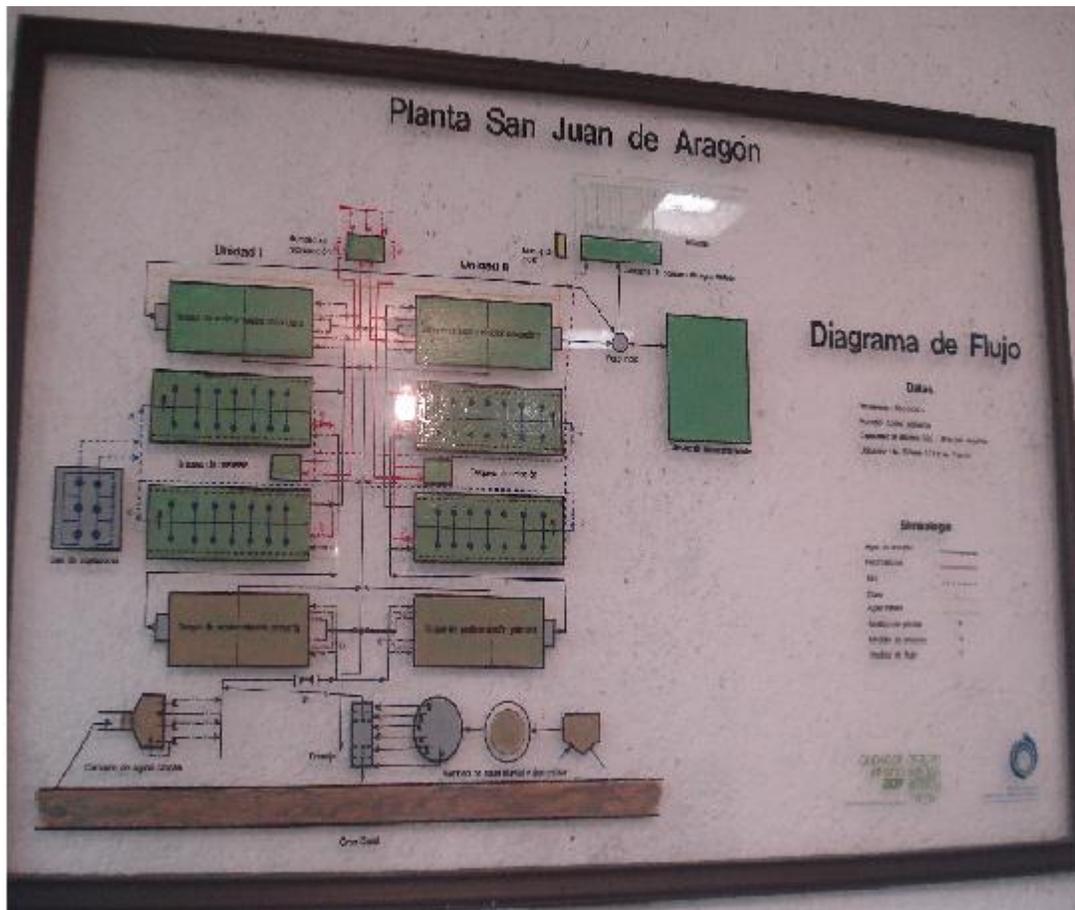


Figura 3.5. Esquema de la Planta San Juan de Aragón Fuente DGCCH{ 1986.

Colector de alimentación y conducción de agua cruda a la planta (Figura 3.6): El agua residual proveniente del Gran Canal del desagüe es captada por medio de una tubería de 36" de diámetro localizada en uno de los bordes del Gran Canal y a una profundidad media para evitar la entrada de la mayor cantidad posible de grasas aceite y material flotante que se encuentra en la superficie del cauce, así como arenas y material sedimentado que se arrastra en el fondo (DGCCH, 1986).

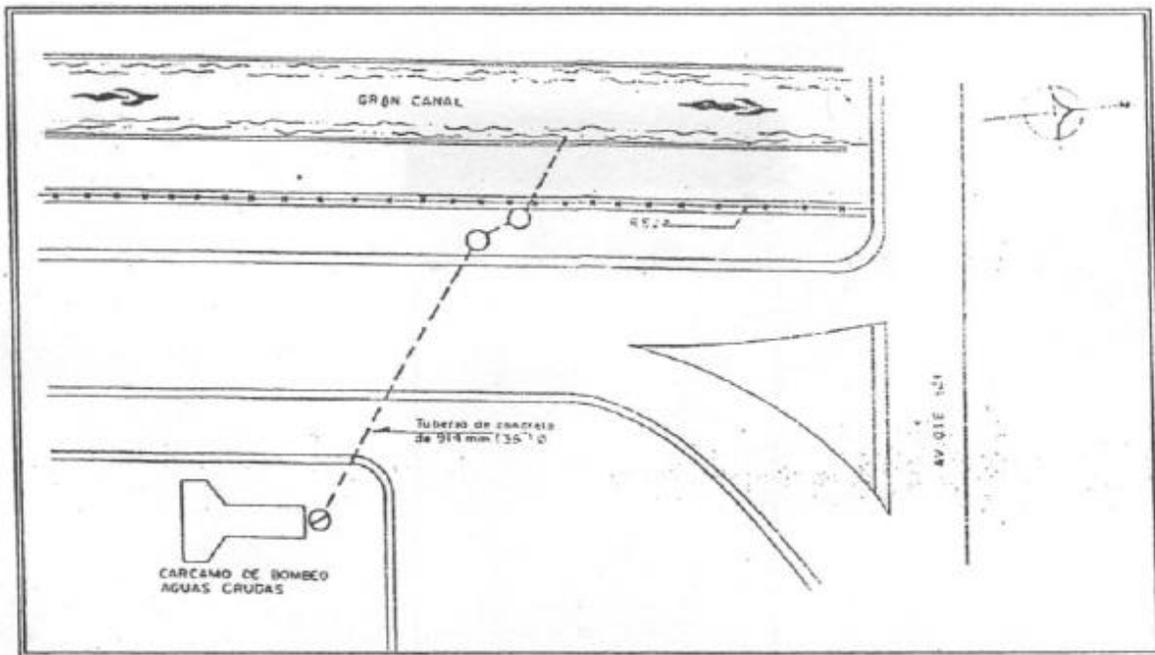


Figura 3.6. Colector de alimentación según planos de diseño Fuente DGCOH, 1986.

El agua por gravedad es conducida a través de di.cha tubería hasta el canal de llegada localizado en la parte poniente de la planta, pasando previamente por dos pozos en cada uno de los cuales sufre una caída, lo que permite reducir su velocidad (DGCOH, 1986).

La entrada del flujo al canal de llegada se regula en forma natural por diferencia de niveles, es decir cuando el nivel del canal de llegada está abajo del nivel del Gran Canal, el agua entra, pero cuando estos dos niveles son iguales, el agua deja de entrar (DGCOH, 1986).

En otro documento escrito a máquina que los operadores tiene en su archivo el cual se indicó fue realizado por un prestador de servicio social en colaboración con las autoridades de la planta de tratamiento se puede leer la siguiente memoria descriptiva:

MEMORIA DESCRIPTIVA	
1	<p>Antecedentes.</p> <p>Para irrigar las zonas verdes de la nueva unidad deportiva y de habitaciones de San Juan de Aragón, el departamento del DF ha construido una nueva planta de tratamiento de aguas negras, que como las anteriores en funcionamiento, tiene como objetivo primordial el ahorro de agua potable.</p>
2	<p>Capacidad.</p> <p>Considerando las superficies por regar, la capacidad de la planta se fijó en 500 Lps.</p>
3	<p>Tipo.</p> <p>Al igual que las plantas anteriores, la elección del tipo de planta cayó en una de Lodos Activados de diseño convencional, por razones de espacio, eficiencia y control de operación; sin embargo se hicieron amplias concesiones, sobre todo en el suministro de aire, por las variaciones en la calidad del agua a tratar.</p>
4	<p>Procesos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sedimentación primaria - Aeración - Sedimentación secundaria - Pre-cloración y/o Post-cloración
5	<p>Esquema Funcional.</p> <p>Se tendrá flexibilidad para operar la planta en dos unidades de 125 Lps cada una.</p>

Tabla 3.3

DATOS DE DISEÑO.	
Sedimentador primario:	<ul style="list-style-type: none"> - Tanques rectangulares de escurrimiento horizontal. - Remoción de lodos, mecánica e hidráulica. - Desnatado superficial - Disposición de lodos al drenaje. - Inclinación de las tolvas, 45° - Pendiente del piso, 1%
Aeradores:	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de tanque, flujo espiral con difusión de aire. - Requerimientos de aire, 600 ft³/ lb de DBO removida. - Control de espumas, por aspersión de licor mezclado.
Sedimentador secundario:	<ul style="list-style-type: none"> - Tanques rectangulares de escurrimiento horizontal. - Remoción de lodos, mecánica e hidráulica. - Recirculación de lodos, y exceso al drenaje. - Tiempo de retención 2 horas. - Carga superficial, 900 gal/día ft² - Inclinación de las tolvas, 45° - Pendiente del piso, 1% - Relación de recirculación: Máxima 40%, Mínima 20%
Tanque de almacenamiento de agua tratada:	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad 8 hrs. de trabajo de la planta, es decir 14 400 m³.
Colectores de lodos primarios y secundarios:	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo, rastras de cadena.
Equipo de desnatado superficial:	<ul style="list-style-type: none"> - Considerando el tamaño de los tanques, se tendrá en cada uno dos equipos de limpieza longitudinales y un colector transversal, por lo cual se tendrá sólo una tolva de extracción de lodos. - El sedimentador primario tendrá desnatado superficial, el cual consiste en tubos rotatorios de operación manual. La grasa se dispondrá al drenaje.

A continuación se presentarán algunos otros datos sobre la planta, como son la geometría de los tanques, y el gasto y la recirculación que maneja el operador.

DATOS GEOMÉTRICOS Y DE VOLUMEN.		
Sedimentador primario.	Dimensiones por módulo:	Largo 28 m. Ancho 8 m. Profundidad 3 m.
	Volumen por módulo:	Vol. = 672 m ³
	Volumen por Unidad:	Vol. = 1344 m ³
Reactor Biológico.	Dimensiones por módulo:	Largo 35 m. Ancho 16 m. Profundidad 4 m.
	Volumen por módulo:	Vol. = 2240 m ³
	Volumen por Unidad:	Vol. = 4480 m ³
Sedimentador secundario.	Dimensiones por módulo:	Largo 36.2 m. Ancho 16.10 m. Profundidad 4.15 m.
	Volumen por módulo:	Vol. = 2418.7 m ³
	Volumen por Unidad:	Vol. = 4837.4 m ³
Gasto	Gasto promedio total:	240 l/s
	Gasto promedio por unidad:	120 l/s
Recirculación	La tasa de recirculación es de 30% a 32% del total del gasto de entrada, aproximadamente 75 l/s, y se realiza de entre 30 min y dos horas cada 24 horas, directamente de la recirculación, abriendo las válvulas, lo hacen empíricamente por indicación del ingeniero a cargo.	

Tabla 3.4

Ahora, haciendo un recuento de lo observado en los planos que fueron posibles consultar, se presentará un recuento de los datos más importantes, ante lo poco factible que es mostrar la totalidad de los planos.

Existen planos desde el año 1963, hasta 1998.

En el Plano AN-PT-11-4913, del año 1963, se tiene el croquis de la "planta general" de la planta de tratamiento. En este no aparecen; toda la nueva obra de toma, con los colectores directos del drenaje ni el tanque elevado, el tanque de contacto de cloro, nivel nuevo cárcamo de agua tratada.

En un plano de 1990 (Plano LP 05), que es un "levantamiento del perfil hidráulico".

Existe otro plano de 1977 (Plano AN-PT-11-12401) en el cual aparece "Cárcamo de bombas de agua tratada", este es referente al cárcamo nuevo que tuvo que hacerse fuera del tanque de almacenamiento de agua tratada, debido a los fuertes hundimientos que este presentó, sin embargo, en él aparecen sólo 5 bombas, al igual que en otros planos encontrados, cuando en realidad son seis bombas, esta observación la tienen hecha a lápiz todos los planos en los que aparece dicho cárcamo.

En este mismo plano se considera una fatiga del terreno de 9.5 ton/m²; la cual parece suficiente para el tipo de construcción, pero debido a los hundimientos actuales, puede presumirse que la consideración está sobrevaluada, o que no se consideró adecuadamente la compresibilidad del tipo de suelo (Figura 3.7).



Figura 3.7. Nuevo cárcamo de bombeo de agua tratada, con sólo 5 bombas y cárcamo construido.
Fuente DGCOH, 1986.

Según otro plano del año 1978 (Plano AN-PT-11-12793), se hizo un "Rehabilitación de la obra civil", en dicho plano puede observarse que se rehabilitaron muros de los tanques y se reniveló la pendiente del fondo de los mismos.

En el plano denominado "localización de cárcamos de bombeo" del año 1977 (Plano AN-PT-11-12332), puede observarse tanto la antigua obra de toma, procedente del Gran canal, así como la nueva, procedente del drenaje público

En este plano también puede observarse el cárcamo de bombeo de agua tratada planteado en el diseño y el que tuvo que construirse fuera, además aparece también un canal parshall para medir el caudal, el cual no existe físicamente en la actualidad Cárcamo de aguas tratadas de diseño.

Referente al Tanque de contacto de cloro, se encontró un plano del año 1998, el más reciente, en el cual se consideran 80 cm que sobresalen del tanque sobre el nivel natural del terreno, sin embargo en la realidad no sobresalen más que 15 cm y también se observan asentamientos diferenciales en él (Figura 3.8).



Figura 3.8. Tanque de contacto de cloro.

3.5 Descripción de las condiciones físicas y de operación actuales en la planta SJDA.

Actualmente la planta de tratamiento de aguas residuales San Juan de Aragón (SJDA) cuenta con un tratamiento preliminar (rejillas de 5 cm de separación) sin sistema para remoción de arenas; tratamiento primario, constituido por tanques de sedimentación; tratamiento secundario, formado por reactores biológicos, líneas de recirculación, clarificadores secundarios; y finalmente un tratamiento químico para lograr la desinfección, el cual se lleva a cabo en un tanque de contacto de cloro. La Planta cuenta con 2 colectores, Oceanía y Av. 503, por lo tanto, actualmente se toma el agua de alimentación directa del drenaje combinado y no del Gran Canal como se estipuló en su diseño.

Cuenta con **dos unidades de tratamiento** y sólo se trata aproximadamente la mitad del gasto de diseño, es decir un gasto de **250 l/s, 125 l/s en cada unidad de tratamiento**. El volumen promedio total de agua tratada es de **21 600 000 l/día**, de este volumen 700 000 l/día son desechados durante todas las etapas de tratamiento, en el tratamiento primario como sólidos sedimentables, y en el tratamiento secundario como exceso de lodos activados, el resto, 20 900 000 l/día es agua residual tratada para ser reutilizada. Ya que la planta cuenta con dos unidades de tratamiento, cada una trata **un gasto de 10 800 000 l/día**.

El **pretratamiento o tratamiento preliminar** consiste en separar de las aguas residuales los sólidos grandes que pudieran obstruir o dañar los equipos de bombeo, o bien, afectar el proceso de bombeo. Para alcanzar este propósito en el canal de llegada existe una rejilla con una abertura de 5 cm. la cual evita el paso de los sólidos, pero ocasiona la rápida obstrucción del canal, pues estas rejillas son limpiadas mecánicamente una vez al día, por las mañanas. Sin embargo, éstas no funcionan adecuadamente, pues permiten el paso de muchos sólidos finos que ocasionan problemas sobre todo en el sedimentador primario, e incluso también afectan al sedimentador secundario. Con la agravante de que además no son operadas directamente por el personal de la planta, sino que dependen de las oficinas del drenaje municipal, por lo tanto, sólo pueden hacer recomendaciones, pero no modificaciones a su operación (Figura 3.9).



Fig. 3.9 Mal estado de las instalaciones del pretratamiento.



Figura 3.10. Cárcamo de bombeo para el agua cruda y tanque elevado.

Después del tratamiento preliminar, el agua cae a un cárcamo de donde es bombeada por tres bombas (una de 50 HP Y dos de 30 HP) por medio de la cuales se envía el agua cruda a un tanque elevado, del cual pasa por gravedad hacia el tratamiento primario .

Sedimentador primario

El **tratamiento primario** sirve para separar los sólidos sedimentables, así como grasas, aceites y material flotante que se encuentra en el agua que se va a tratar. Para cada unidad se cuenta con un tanque de sedimentación rectangular dividido en dos módulos, con alimentación independiente y flujo horizontal, con una capacidad total de 1,344 m³, con las siguientes dimensiones: 28 m de largo, 8 m de ancho y 3 m desde el espejo de agua hasta el fondo del tanque; y un tiempo de retención de tres horas (Figura 3.11).



Figura 3.11. Sedimentador primario y basura y natas almacenadas por el mal funcionamiento de las rejillas.

La recolección de lodos sedimentados hacia las tolvas correspondientes (una por modulo), se efectúa por medio de un sistema de rastras principal y uno auxiliar, ambos accionados por un motor de 7.5 HP (Figura 3.11); en todos los tanque no funciona o no ponen en operación, debido a su mal funcionamiento, el sistema de rastras auxiliar o transversal. En esta tolva localizada en la parte baja del tanque se retienen los sólidos y son vaciados cada 8 horas al drenaje, pues **no se cuenta con tratamiento de lodos en la planta**. En este tanque también se remueven grasas, aceites y sólidos no sedimentables. Sin embargo, debido al hundimiento diferencial que presentan todas las unidades de la Planta de tratamiento, las rastras no funcionan adecuadamente y tienen un ángulo de inclinación considerable con el fondo del tanque y en la superficie.



Figura 3.12. Tolva de recolección de lodos y rastras.

Una vez que se ha llevado a cabo la sedimentación primaria el agua se recolecta en un vertedero perimetral, independiente para cada modulo, mediante el cual el agua se conduce a una caja partidora común para ambos módulos, de donde se envía por gravedad a la siguiente etapa del proceso.

Reactor biológico

El **tratamiento secundario** consiste en proveer el oxígeno, los nutrientes y las condiciones ambientales adecuadas para que los microorganismos existentes en el tanque de aeración, también llamado reactor biológico, degraden la materia orgánica y posteriormente efectuar la separación de lodos activados, produciendo un efluente clarificado; para ello cada unidad de tratamiento dispone de cuatro elementos principales; tanque de aeración, sopladores, tanque de sedimentación secundaria y el sistema de recirculación de lodos activados. Las dimensiones del reactor biológico de la Planta de Aragón son: 35 m de longitud 16 m de ancho y 4

m de profundidad, lo cual da un volumen total de 2,240 m³, y un tiempo de retención hidráulico de 10 horas.

Cada unidad cuenta con dos tanques, los cuales a su vez se dividen, en dos módulos o vasos de forma rectangular comunicados entre sí por medio de un acceso, dispuesto al final de cada tanque, en el muro que los separa (Figura 3.5).



Figura 3.13. Comunicación entre los dos módulos del reactor biológico.

El sistema de aeración, es por difusión de aire, el cual se suministra mediante la operación alternada de seis sopladores que se accionan cada uno por un motor de 100 HP.

El aire llega a las unidades por medio de una tubería de 20 pulgadas de diámetro que se va reduciendo conforme el aire es distribuido a lo largo del tanque. La distribución del aire en cada modulo se lleva acabo a través de siete cabezales, con sus respectivos brazos articulados, que 'llegan al fondo de los módulos, donde están instalados los difusores (Figura 3.13).



Figura 3.14. Reactor Biológico y difusores para aireación.

La alimentación del agua procedente del sedimentador primario, así como también la de los lodos recirculados se lleva a cabo en el modulo número uno, en donde gracias a las condiciones de aeración y mezclado que en él prevalecen se forma lo que se conoce como "licor mezclado", en el cual pasa al modulo número dos a través del acceso, para fluir en él y completar el tiempo de retención necesario para la degradación de la materia orgánica.

Sedimentador secundario

Al completarse el tiempo de retención hidráulico en el Reactor Biológico, el efluente pasa al **sedimentador secundario**, cuyo propósito principal es efectuar la separación de los lodos activados presentes en el licor mezclado, produciendo un efluente clarificado (Figura 3.15).

Para este fin, cada unidad de tratamiento está construida por un tanque de forma rectangular, dividido en dos módulos o vasos con alimentación independiente; y con las siguientes dimensiones: 36 m de largo, 16 m de ancho y 4 m de profundidad. Y en éste el tiempo de retención hidráulico es de 5 horas.

El tanque sedimentador secundario al igual que el sedimentador primario está provisto de un sistema de rastras principal y otro auxiliar ambos accionados por un motor de 7.5 HP.



Figura 3.15. Sedimentador secundario.

El sistema principal a diferencia del correspondiente al sedimentador primario la rastras no recorren el tanque superficialmente, ya que el material flotante incluyendo grasas y aceites debió ser removido en la etapa de sedimentación primaria; por lo que operan totalmente sumergidas. Por otra parte el sistema auxiliar de rastras se ubica en las áreas adyacentes a las tolvas de tal forma que su desplazamiento transversal hacia éstas, permite arrastrar y depositar en ellas los lodos que no alcanza a depositar el sistema de rastreo principal. Sin embargo sí cuenta con una canaleta desnatadora, pues debido a los hundimientos diferenciales y los problemas que esto conlleva, existe flotación de lodos (Figura 3.16).



Figura 3.16. Hundimiento apreciable en el sedimentador secundario

En el sedimentador secundario, también son evidentes los problemas ocasionados por los hundimientos, además de los problemas acarreados desde el sedimentador primario, puede observarse en la Figura 3.10 la gran cantidad de lodos y basura flotando, en primer lugar debidas al mal funcionamiento de las rejillas, y de las rastras en el sedimentador primario, y el envejecimiento de lodos debido al mal funcionamiento de las rastras del sedimentados secundario como son el lodo que se queda debajo de las rastras debido a su inclinación y a las zonas muertas existentes desde su diseño.



Figura 3.17. Gran flotación de lodos a lo largo de todo el sedimentador secundario.

Otro problema más es el hecho de que a causa del hundimiento del tanque, el agua ahora llega hasta la altura de las traveses del tanque, lo que ocasiona que éstas funcionen como barreras al flujo del agua, por lo mismo impiden el libre flujo, el que puedan ser retirados los lodos que flotan por la canaleta localizada antes del vertedero y además se producen grandes cantidades de algas en dichas traveses (Figura 3.18).



Figura 3.18. Trabes que funcionan como barreras al flujo superficial de agua.

En la parte final de los módulos se encuentran localizados dos vertedores perimetrales, formados por media caña de tubería de 14 pulgadas de diámetro (Figura 3.19). Los vertedores son independientes para cada modulo, uniéndose en una abertura que desemboca a una caja de concreto; lugar donde el agua recibe su dosificación de cloro, para pasar posteriormente al tanque de **contacto de cloro**.



Figura 3.19. Vertedores perimetrales del sedimentador secundario.

Los lodos recolectados en las tolvas del sedimentador secundario se extraen para conducirlos al "cárcamo de lodos". De ahí por medio de la operación alternada de tres bombas de 20 HP cada una, los lodos se envían a las dos cajas partidoras, en la que se tiene una compuerta corrediza que permite regular el caudal necesario que debe de ser recirculados a los reactores biológicos para mantener la concentración de microorganismos; adecuada para llevar a cabo la degradación de la materia orgánica contenida en el agua, **enviando el exceso al Gran Canal del** desagüe.

Además en el proceso de lodos activados no se eliminan todas las grasas y aceites, como puede verse en la caja partidora (Figura 3.19), lo que aunado a la problemática de los sólidos que no son separados en las rejillas, los jabones y el flotamiento ocasionado por el mal funcionamiento de las rastras, ocasiona costras, natas y aglutinamiento de sólidos.

Desinfección

La inyección de la solución de cloro al agua se realiza directamente en la caja de salida de las dos unidades de sedimentación secundaria, de tal forma que al llegar al tanque de contacto de cloro (Figura 3.20), ya se ha mezclado perfectamente con el agua tratada. El tanque de contacto de cloro tiene un volumen de 750 m³, y un tiempo de retención de 45 min. Otro problema presente en la planta, es que en

el tanque de contacto de cloro, en su diseño, no se consideró hacerlo de forma que pudiera ser limpiado por partes para mantenimiento, por lo cual hace más de 6 años que no lo han limpiado.



Figura 3.20. Tanque de contacto de cloro.

El cloro se extrae de cilindros de 908 kg, en forma de gas por medio de dosificadores en los cuales se combina con agua tratada proveniente directamente de los sedimentadores secundarios. Ya en forma de solución es enviada por medio de una tubería al punto de aplicación.

Finalmente, el agua tratada y desinfectada se envía al tanque de almacenamiento del cual se dispone para su reuso (Figura 3.20).



Figura 3.21



Figura 3.22. Tanque de almacenamiento y disposición en pipas.

Otro problema grave con el que deben lidiar los operadores es con la falta de mano de obra, pues en una Planta .como San Juan de Aragón, son necesarios al menos de 23 a 25 trabajadores para mantener funcionando el proceso durante 3 turnos a lo largo del día y un turno más de fin de semana; sin embargo en la Planta de SJDA deben mantener la operación con tan sólo 12 trabajadores. Básicamente la obra civil de toda la Planta ha sufrido un gran deterioro, principalmente hundimientos, lo cual afecta la obra electromecánica e innumerables fugas en las tuberías, entre otros (Figura 3.23).



**Figura 3.23 Hundimientos apreciables en todos los tanques de la Planta.
Agrietamientos en el tanque de almacenamiento de agua tratada.**

Además pueden observarse espumas en los tanques, como el cárcamo de bombeo de agua cruda y el reactor biológico (Figura 3.24), las cuales pueden deberse a la presencia de jabones o detergentes y a la presión con que cae o la agitación del agua, por lo que éste será uno de los parámetros a revisar, pues se remueven biológicamente, pero dejan gran cantidad de fosfatos en el agua.



Figura 3.24 Espumas presentes en el cárcamo de agua cruda, reactor biológico y tanque de contacto de cloro.

Otra situación que se presenta es el hecho de que los lodos producidos en la Planta SJDA, tanto el procedente del sedimentador primario como el lodo biológico, no son sometidos a ningún proceso de estabilización y se vierten directamente al Gran Canal del desagüe. Esto, es de suma importancia para el funcionamiento de la Planta, pues considerando que la pendiente del Gran Canal se está invirtiendo y que las aguas que transporta deben ser bombeadas en el kilómetro 18 del mismo (Figura 3.25) resulta inconveniente al propio sistema del drenaje el no procesar estos lodos que podrían tener un mejor uso en lugar" de generar otras afectaciones, además de que este hecho va en contra del las normatividad existente que prohíbe la disposición de lodos de este tipo de procesos directamente al sistema de alcantarillado público.

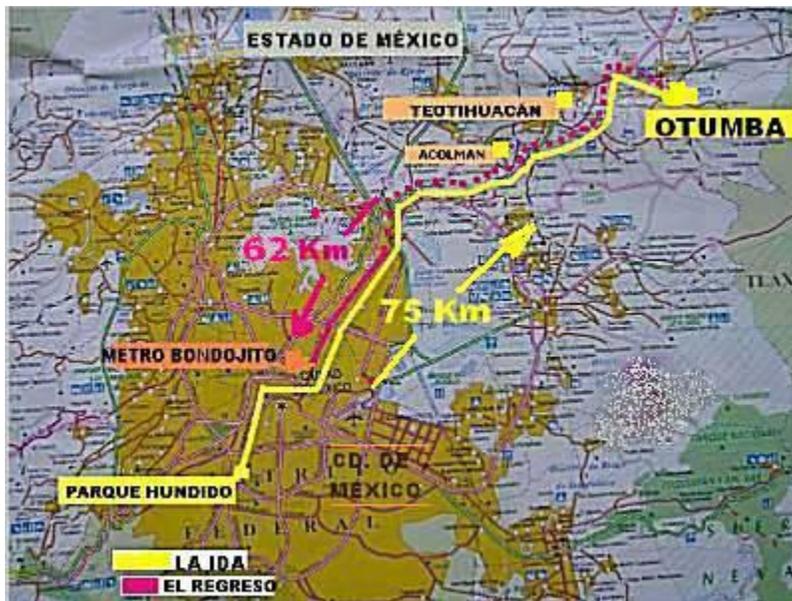


Figura 3.25. Gran Canal del desagüe y planta de bombeo

En seguida se muestra el diagrama de flujo con el que actualmente trabajan en la planta de tratamiento de aguas residuales. SJDA.

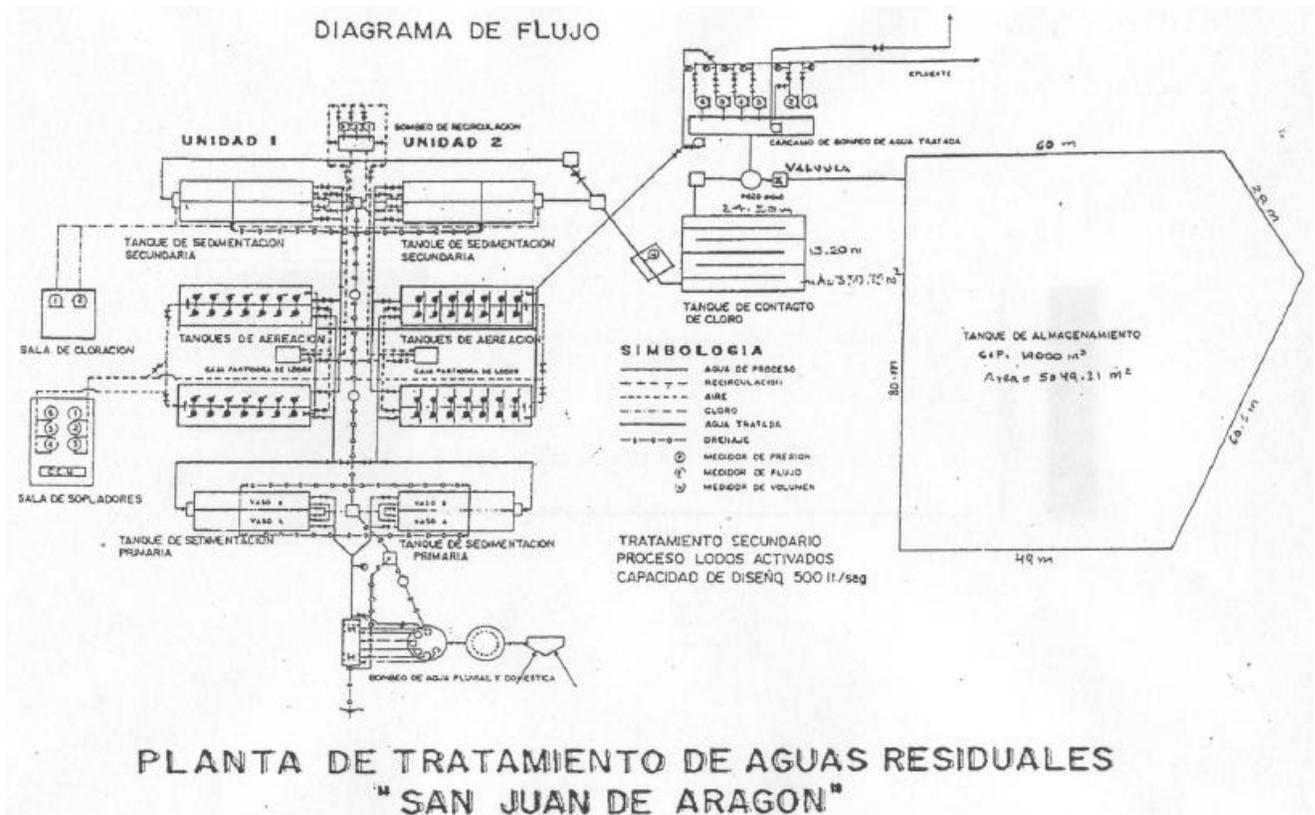


Figura 3.26 Aforo y monitoreo de la calidad del agua de la PTAR

Para iniciar con este apartado es necesario mencionar el hecho de que el único medidor automatizado para el flujo o caudal (Figura 3.27), no se usa por el operador de la planta, pues este dispositivo fue instalado por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM), y es usado y calibrado por esta dependencia mensualmente, cada que realizan muestreos de control. Cada que se realiza esta calibración, el operador de la planta, mediante el apoyo de unas varillas, empíricamente relaciona las pulgadas medidas, con el caudal tanto de entrada, así como del gasto en cada uno de los tanques. De modo que 22 pulgadas son iguales a 120 L/s que entran en el sedimentador primario.

He aquí que se puede notar la primera falla; como podría el operador controlar su proceso, si debe casi adivinar su gasto de operación.



Figura 3.27. Medidor de caudal automático, instalado a la salida del tanque elevado.

Una vez que se ha establecido la dificultad para medir el gasto, se presentan a continuación los parámetros de control y los resultados obtenidos de las determinaciones realizadas.

3.6 Parámetros de control.

Debido a que el agua tratada procedente de la planta de tratamiento de aguas residuales San Juan de Aragón se usa para llenar el Lago de Bosque, se han fijado como parámetros de control grasas y aceites, jabones y detergentes (SAAM) y sólidos; por la gran' afectación que podrían generar en este cuerpo de agua artificial.

Existe un trabajo previo sobre contaminación en el lago del bosque de San Juan de Aragón, en el cual a simple vista podían observarse natas grasosas, ahora lo importante es determinar si en verdad provienen de la planta de tratamiento, debido a las repercusiones que ocasionan en el comportamiento y la vida acuática presentes. Y la determinación de jabones y detergentes (Sustancias activas al azul de metileno, SAAM) se realizara por las interferencias que ocasionan en el tratamiento y ser aguas residuales tratadas que se reusan en parte para fines recreativos.

Grasas y aceites.

Se clasifican como contaminantes orgánicos, se miden en mg/l e incluyen grasas de origen vegetal, animal y derivados del petróleo; pueden causar obstrucciones de líneas de conducción y formación de natas o inhibición de desarrollo de poblaciones bacterianas (López, 2000).

El término aceites y grasas incluye aceites, ceras y otros compuestos triglicéridos que se pueden encontrar en las aguas residuales. Las grasas son sustancias lipófilas e hidrófobas, esto es, insolubles en agua y solubles en disolventes orgánicos. Los aceites y las grasas son, desde un punto de vista químico, sustancias muy similares; son compuestos (ésteres) de alcohol y glicerol (Glicerina) con ácidos grasos. Los glicéridos o ácidos grasos que son líquidos a temperaturas normales, se denominan aceites y los que son sólidos se denominan grasas (Rodríguez, 1997).

Grasas y aceites en las aguas residuales.

Los aceites y las grasas que se encuentran en las aguas residuales proceden de la mantequilla, margarina, manteca, que normalmente se encuentra en carnes, cereales, semillas, frutos secos y ciertas frutas. El queroseno, lubricantes y aceites que son utilizados en las carreteras derivan de petróleos y alquitranes y contienen principalmente carbón e hidrogeno. Estos aceites a veces alcanzan volúmenes considerables en las aguas residuales (Rodríguez, 1997).

La razón por la que interesan **las propiedades más importantes de una grasa** es el hecho de que **son sustancias insolubles en agua y menos densas que ella**. En cambio, se disuelven en otros disolventes tales como la nafta, el éter, el benceno, el tetracloruro de carbono y el cloroformo (Rodríguez Quintana, 1997).

Las sustancias grasas se clasifican en grasas y aceites. Teniendo en cuenta su origen, pueden ser animales o vegetales (Rodríguez, 1997). La composición usual de grasa y aceites en agua residual doméstica cruda se encuentra en un intervalo **de 50 a 150 mg/l**, con un valor usual de 90 mg/l (Crites y Tchobanoglous, 2004).

Problemáticas que ocasionan:

Si las grasas y aceites no se remueven pueden afectar los sistemas de tratamiento; además al descargar aguas tratadas que los contengan, puede interferir con la vida biológica en la superficie de las fuentes receptoras al formar películas desagradables (Crites y Tchobanoglous, 2004).

Las grasas y aceites, junto con los sólidos suspendidos, tienden a acumularse sobre la superficie de los sistemas de disposición sobre el suelo, limitando la

capacidad de infiltración del terreno «Crites y Tchobanouglus, 2004). Recientemente, los problemas asociados con la remoción de grasas y aceites se han hecho cada vez más complejos, debido al aumento en el número de productos de cocina que contienen grasa y aceites (por ej. Aceite de oliva, manteca de cerdo, etc.). El problema se agrava aún más con la existencia de aceites solubles a temperaturas relativamente bajas, lo cual dificulta su remoción. En general los tanques receptores de desnatación se emplean para retener las grasas por enfriamiento y flotación, y en los aceites por flotación. (Crites, 2004).

En resumen:

Forman películas superficiales e impiden la transferencia de oxígeno y luz.

Pueden disminuir el contenido de oxígeno disuelto,

Afectan el uso de cuerpos de agua con fines recreativos ..

Causan obstrucciones en las líneas de conducción.

Obstruyen los sistemas difusores de aire.

Inhiben el desarrollo de poblaciones bacterianas.

Jabones y detergentes.

En la vida diaria se entiende por detergentes únicamente a las sustancias que disuelven las grasas o la materia orgánica gracias a su tensoactividad. Este término pasó del lenguaje industrial al lenguaje doméstico para referirse a ellos en contraposición con el jabón. Pero en realidad, el jabón es un detergente más (Wikipedia, 2006).

Cuando aparecieron las lavadoras automáticas se creó una demanda progresiva de sustancias más activas y que se comportasen mejor en aguas duras, (más ricas en calcio), ya que éstas aumentaban la hidrosolubilidad del jabón, con lo que era arrastrado antes, disminuyendo el tiempo de contacto entre el mismo y la ropa. Aparecieron en el mercado doméstico productos detergentes de origen industrial que fueron incluyendo mezclas de tensoactivos con otras sustancias, (coadyuvantes, y agentes auxiliares que incluyen entre otros enzimas, sustancias fluorescentes, estabilizadores de espuma, colorantes y perfumes). Los primeros detergentes de este tipo, derivados del benceno, se utilizaron ampliamente en los años 40 y 50, pero no eran solubles ni biodegradables, lo que los hacía ecológicamente dañinos. Una segunda generación de detergentes, los alquilsulfonatos lineales, resultan menos tóxicos al ser biodegradables (Wikipedia, 2006).

Los tensoactivos, o agentes de actividad superficial, son moléculas orgánicas grandes que se componen de un grupo fuertemente hidrofóbico (insoluble en agua) y uno fuertemente hidrofílico (soluble en agua). Su presencia en las aguas residuales proviene de la descarga de detergentes domésticos, industriales y otras actividades de limpieza. Los tensoactivos tienden a acumularse en la interface aireagua y pueden causar la aparición de espumas en las plantas de tratamiento de aguas residuales y en la superficie de los cuerpos receptores de los vertimientos de agua residual tratada. Durante el proceso de reaireación del agua

residual, los tensoactivos se acumulan en la superficie de las burbujas de aire creando una espuma muy estable. La determinación de elementos tensoactivos se realizan por el análisis de cambio de color de una muestra estándar de azul de metileno.

Los tensoactivos también son llamados sustancias activas al azul de metileno (SAAM). Antes de 1965, los tensoactivos presentes en detergentes sintéticos, llamados alquil benceno sulfonatos (ABS), ocasionaban un gran problema debido a su resistencia a la descomposición por medios biológicos. A partir de 1965, los ABS han sido reemplazados dentro de la composición de los detergentes por alquil sulfonatos lineales (ASL), los cuales si son biodegradables ((Crites y Tchobanoglous, 2004).

Problemáticas que ocasionan:

Dentro de los principales problemas podemos mencionar los siguientes:

Espuma. En las plantas de tratamiento de agua provoca problemas de operación, afecta la sedimentación primaria ya que engloba partículas haciendo que la sedimentación sea más lenta, dificulta la dilución de oxígeno atmosférico en agua y recubre las superficies de trabajo con sedimentos que contienen altas concentraciones de surfactantes, grasas, proteínas y lodos (González et al, 2006).

Eutroficación. La palabra proviene del griego "bien alimentado"; constituye un proceso natural de envejecimiento, en el que un lago sobrealimentado acumula grandes cantidades de material vegetal en descomposición en su fondo. Las plantas se apoderan del lecho del lago conforme se va llenando y se convierte poco a poco en un pantano para transformarse por último en un prado o un bosque. Es un proceso natural que se desarrolla en un periodo de cientos de años.

Al ingresar grandes cantidades de detergentes, de los que aproximadamente el 50% en peso son *Tosfatos*, los cuales son excelentes nutrientes para las plantas, y éstos sumados con los nutrientes ya existentes en un cuerpo de agua, se acelera el proceso de eutroficación, a tan sólo cuestión de unas décadas. Otro factor que se debe tomar en cuenta, es que los peces presentes en el cuerpo de agua también necesitan oxígeno disuelto en el agua para poder respirar y si éste se consumió con la degradación de las plantas muertas, entonces también los peces morirán. (González et al, 2006).

Entre otros efectos secundarios producidos por los detergentes es que afectan procesos de tratamiento de las aguas residuales, por ejemplo: cambios en la demanda bioquímica de oxígeno y en los sólidos suspendidos, efectos corrosivos en algunas partes mecánicas, interferencias en el proceso de cloración y en la determinación de oxígeno disuelto (González et al, 2006).

Datos obtenidos en el laboratorio

Durante seis meses, aleatoriamente se recogieron muestras compuestas a lo largo del día, tanto del influente, a la salida del sedimentador secundario, del tanque de contacto de cloro y de la recirculación de lodos; así como 4 muestras simples diarias para la determinación de Grasas y Aceites.

Tabla 3.5 muestreos.

No.	Punto	Hora	°C	pH	OD
1	Inf.	11:40	23.4	6.6	0.8
2	SS	12:15	23.8	7	1
3	Inf.	17:00	23.4	6.8	0.9
4	SS	17:15	23.7	6.6	1.7
5	Inf.	12:50	21	NO	1.3
6	SS	13:10	21.4	NO	NO
7	Inf.	15:00	20.5	NO	1.2
8	SS	15:15	19.6	7.5	1
9	Inf.	18:00	20.6	7	0.8
10	SS	18:15	20.5	7.1	2
11	Inf.	11:50	21.2	7.8	0.6
12	SS	12:00	22.0	9.3	1.1
13	Inf.	14:15	22.2	7.9	0.7
14	SS	14:45	23.6	9.2	1.2
15	Inf.	18:40	21.8	7.8	0.5
16	SS	18:55	21.6	9.1	0.7
17	Inf.	12:10	21.8	8.6	0.5
18	SS	12:20	22.5	8.5	0.8
19	Inf.	05:00	21.4	8.7	0.7
20	SS	05:15	21.6	9.3	0.8

Sin embargo el seguimiento y las visitas para observar la operación de la planta de tratamiento, han sido constantes durante el último año y medio; tiempo durante el cual se pudieron identificar las problemáticas que en ella ocurren. Dentro de los datos obtenidos en el laboratorio, aunque parecieran algunos de ellos fuera de los valores esperados, haciendo un comparativo con los controles realizados por el "laboratorio central de la calidad del agua", el cual se encarga de llevar un control de todas las plantas de tratamiento operadas por el "SACM"; y en relación a otros trabajos similares, aunque los datos, según la teoría están fuera de rango, son muy parecidos, y obviamente indican un inadecuado funcionamiento del proceso, pues las eficiencias de remoción son bajas.

Datos obtenidos en el laboratorio:

Parámetros	Unidades	Entrada			Salida		
		Máximos	Mínimos	Promedios	Máximos	Mínimos	Promedios
Temperatura	°C	23.4	20.5	21.7	23.8	19.6	22
pH	Unidades de pH	8.7	6.6	7.7	9.3	6.6	8.2
OD	mg/L	1.3	0.5	0.8	2	0.7	1.1
Sólidos totales	mg/L	1295	932	1177	1586	827	1189
Sólidos disueltos totales	mg/L	572	526	545	526	502	515
Sólidos suspendidos totales	mg/L	63	45	54	7	4	5.5
DQO	mg/L	270	70	185	50	30	41
Grasas y Aceites	mg/L	73	30	38	60	3	24
SAAM	mg/L	42			4		

Tabla 3.6

Como puede observarse en los datos obtenidos, el pH es muy variable, esto se debe a la gran existencia de nixtamaleras que existen clandestinamente en la zona, por lo general el agua llega muy blanquizca. En cuanto a los Sólidos Totales la concentración permanece casi invariable, como se pudo notar, debido a todos los problemas en la obra civil, la remoción de sólidos no se logra satisfactoriamente y en el caso de los parámetros de control establecidos en este trabajo, la eliminación de jabones y detergentes es satisfactoria, lo cual no ocurre con las Grasas y los Aceites, cuya eficiencia de remoción es muy variable, pues al ser eliminadas por flotación, están relacionadas más directamente con la obra civil, que con el proceso biológico.

Tabla 3.7 Porcentajes de remoción en la planta de tratamiento SJDA.

Eficiencia						
	ST	SDT	SST	DQO	G y A	SAAM
Máximos	15%	21%	94%	83%	80%	99%
Mínimos	0%	0%	89%	50%	16%	
Promedios			92%	73%	48%	

En función de los porcentajes de remoción obtenidos, es clara la relación entre aquellos que son eliminados mediante el proceso biológico, los cuales logran mayores eficiencias (como son: DQO y SAAM) y aquellos que deben ser eliminados mediante operaciones unitarias, es decir, por medios físicos, los cuales presentan mucho menores eficiencias de remoción (como en el caso de los Sólidos) y para Grasas y Aceites, cuya remoción es muy variable.

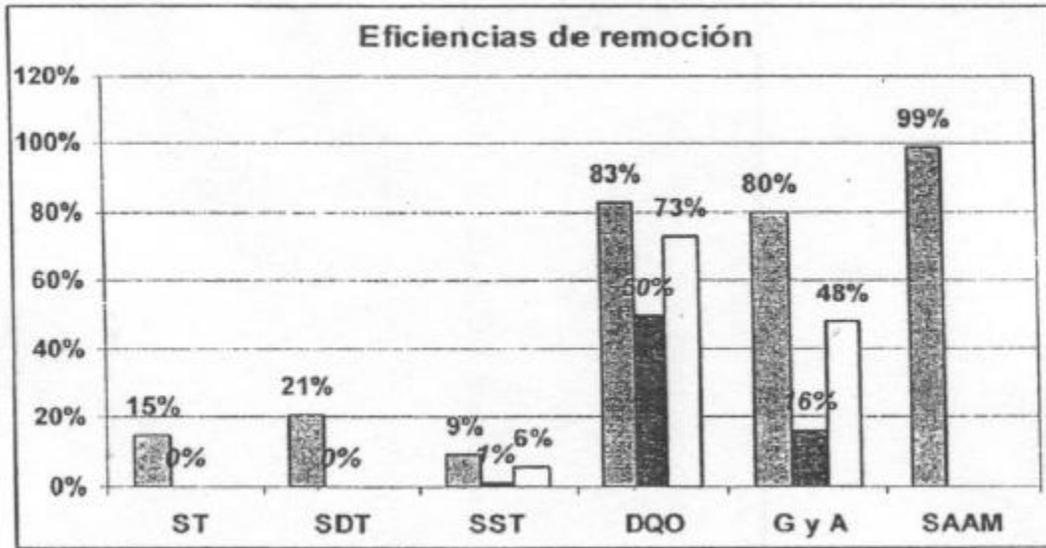


Tabla 3.8

Ahora, comparando con la Normatividad existente, específicamente con la **NOM-001-SEMARNAT-1996**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales, en el apartado "Embalse naturales y artificiales para uso público urbano".

Tabla 3.9 Límites máximos permisibles estipulados en la NOM-001-SEMARNAT-1996

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																				
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)		HUMEDALES NATURALES (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au	au

Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2
Sólidos Suspensos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo Total	30	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

(1) Instantáneo
 (2) Muestra Simple Promedio Ponderado
 (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.
 P.D. = Promedio Diario; P.M. = Promedio Mensual;
 N.A. = No es aplicable.
 (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

En el caso de grasas y aceites, el promedio mensual máximo es de 15 mg/L y el obtenido en los muestreos es de 24 mg/L, por lo tanto no cumple con la norma, además de que debe tomarse en cuenta que afecta a la flora y fauna del lago del Bosque de Aragón, pues han podido observarse capas grasosas en su superficie y ya se mencionó lo que esto puede ocasionar.

En base a la NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, en la Tabla 3.5 que se muestra a continuación, puede observarse que para el caso de grasas y aceites si cumple, pues la cantidad de entrada es moderada y no sobrepasa el límite establecido para este caso, en específico; pero en el caso de los sólidos sedimentables, al descargar los lodos producidos en la planta, por la conformación propia ya que son "Lodos", no cumple con la norma, al descargarlos directamente al Gran Canal del desagüe.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Tabla 3.10

Este misma Norma (**NOM-002-SEMARNAT-1996**) en su apartado 4.6, establece que para el caso de los sólidos suspendidos totales, el responsable de la descarga al alcantarillado urbano o municipal, debe cumplir con los límites máximos permisibles establecidos en la Tabla 2 de la **NOM-001-SEMARNAT-1996**, (mostrada anteriormente como Tabla 3.4), de modo que tampoco se cumple con este parámetro.

En la Norma **NOM-003-SEMARNAT-1997**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusan en servicio al público, en su apartado 3.7, establece que un embalse o lago artificial es aquel vaso de formación artificial alimentado con aguas residuales tratadas con acceso al público, para paseos en lancha, prácticas de remo y canotaje donde el

usuario tenga contacto directo con el agua, definición en la cual entra el lago del Bosque de SJDA. Los límites máximos permisibles según el uso del agua tratada, se establecen en la Tabla 3.11, la cual se muestra a continuación:

Tabla 3.11

TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes Fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y Aceites mg/l	DBO ₅ mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	≤ 5	15	30	30

Comparando los valores establecidos en la norma y los resultados obtenidos en las determinaciones hechas en este trabajo, para el caso de sólidos suspendidos totales si cumple el límite máximo, y para grasas y aceites se sobrepasa el límite.

3.7 Balance de masa.

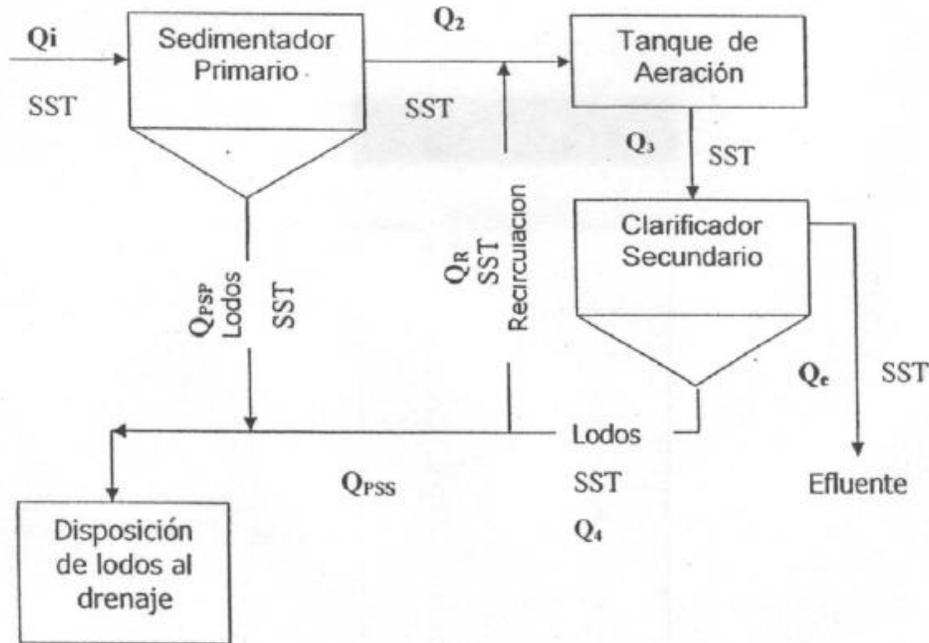


Fig. 3.28

Cualquier balance parte del principio de todo lo que entra a un sistema sale, se acumula o se transforma (Ley de Conservación de la Materia).

$$Q_i = Q_e + Q_{psp} + Q_{pss} \dots\dots\dots(3.1)$$

Donde:

- Q_i : Gasto de entrada (influyente)
- Q_e : Gasto de salida (efluente)
- Q_{psp} : Gasto de purga en el sedimentador primario
- Q_{pss} : Gasto de purga en el sedimentador secundario

Este mismo balance puede aplicarse para cada sección de la Fig. 3.21, definiendo la ecuación (3.2) para el tanque sedimentador primario.

$$Q_i = Q_2 + Q_{PSP} \quad (3.2)$$

Donde:

- Q_i : Gasto de entrada (influyente)
- Q₂: Gasto de salida (sedimentador primario)
- Q_{psp} : Gasto de purga en el sedimentador primario

La ecuación (3.3), está dada para determinar el gasto de salida del tanque de aireación y es:

$$Q_3 = Q_2 + Q_R \quad (3.3)$$

Donde:

- Q₃: Gasto de salida (tanque de aireación)
- Q₂: Gasto de entrada (tanque de aireación)
- QR** : Gasto de recirculación

La ecuación (3.4) para la tasa de recirculación está dada por:

$$Q_4 = Q_{PSS} + Q_R \quad (3.4)$$

Donde:

- Q₄ : Gasto de exceso de lodos
- Q_{pss}: Gasto de purga (sedimentador secundario)
- QR** : Gasto de recirculación

La ecuación (3.5) para el tanque de sedimentación secundario es:

$$Q_3 = Q_e + Q_4 \quad (3.5)$$

Donde

Q3: Gasto de entrada (sedimentador secundario)

Qe : Gasto de salida (efluente)

Q4 : Gasto de recirculación + Gasto de purga

Partiendo de las ecuaciones ahora se procede a obtener los valores para los gastos, con sus respectivas unidades

$$Q_i - Q_e - Q_{PSP} - Q_{PSS} = 0 \dots\dots\dots (3.1)$$

$$Q_i - Q_2 - Q_{PSP} = 0 \dots\dots\dots (3.2)$$

$$Q_2 - Q_3 + Q_R = 0 \dots\dots\dots (3.3)$$

$$Q_{PSS} - Q_4 + Q_R = 0 \dots\dots\dots (3.4)$$

$$Q_3 - Q_e - Q_4 = 0 \dots\dots\dots (3.5)$$

Para poder realizar las ecuaciones, se debe saber cuáles son los datos que se conocen (Datos proporcionados en la planta de tratamiento de San Juan de Aragón):

- Volumen de agua tratada = 21, 600,000 l/día
- Volumen de desechos durante todas las etapas = 700,000 L/día
- Volumen de agua residual tratada para ser reusada = 20, 900,000 L/día
- Tasa de recirculación = 540, 000 L/día
- Volumen de purga en el sedimentador primario = 25000 L/día

Para ser más eficientes en las operaciones se procede a convertir las unidades de tal manera que se puedan manejar en las ecuaciones.

$$21,600,000 \text{ L/día} \Rightarrow \frac{1\text{día}}{86400\text{s}} = 250 \text{ L/s} \quad \underline{Q_i = 250 \text{ L/s}}$$

$$20,900,000 \text{ L/día} \Rightarrow \frac{1\text{día}}{86400\text{s}} = 241.9 \text{ L/s} \quad \underline{Q_e = 241.9 \text{ L/s}}$$

$$700,000 \text{ L/día} \Rightarrow \frac{1\text{día}}{86400\text{s}} = 8.1 \text{ L/s} \quad \underline{Q_{\text{desecho}} = 8.1 \text{ L/s}}$$

$$540,000 \text{ L/día} \Rightarrow \frac{1\text{día}}{86400\text{s}} = 6.25 \text{ L/s} \quad \underline{Q_R = 6.25 \text{ L/s}}$$

$$25,000 \text{ L/día} \Rightarrow \frac{1\text{día}}{86400\text{s}} = 0.29 \text{ L/s} \quad \underline{Q_{\text{PSP}} = 0.29 \text{ L/s}}$$

Dadas las conversiones se procede a resolver el sistema de ecuaciones:

Partiendo con la ecuación (3.2) se conoce Q_i y Q_{PSP} por lo tanto se puede conocer Q_2 es:

$$Q_i = 250 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{PSP}} = 0.29 \text{ L/s}$$

$$Q_i = Q_2 + Q_{\text{PSP}} \quad (3.2)$$

Despejando de la ec. (3.2) a Q_2 :

$$Q_2 = Q_i - Q_{\text{PSP}}$$

$$Q_2 = 250 - 0.29$$

$$\underline{Q_2 = 249.71 \text{ L/s}}$$

De la ecuación (3.3) se conocen los Q_2 y Q_R se procede a calcular Q_3 .

$$Q_2 = 249.71 \text{ L/s}$$

$$Q_R = 6.25 \text{ L/s}$$

Sustituyendo los valores la ecuación original se obtiene a Q_3 .

$$Q_3 = Q_2 + Q_R$$

$$Q_3 = 249.71 \text{ L/s} + 6.25 \text{ L/s}$$

$$\underline{Q_3 = 255.96 \text{ L/s}}$$

De la ecuación (3.5) se obtiene Q_e considerando los gastos obtenidos de las ecuaciones anteriores.

$$Q_3 = 255.96 \text{ L/s}$$

$$Q_e = 241.9 \text{ L/s}$$

$$Q_3 = Q_e + Q_4 \quad (3.5)$$

De la ecuación (3.4) se obtiene Q_4 :

$$Q_A = Q_{PSS} + Q_R \quad (3.4)$$

$$Q_{PSS} = Q_A - Q_R$$

$$Q_{PSS} = 14.06L/s - 6.25L/s$$

$$\underline{Q_{PSS} = 7.81 L/s}$$

Partiendo de la ecuación general, se procede a sustituir los valores gastos obtenidos.

$$Q_i = Q_e + Q_{PSP} + Q_{PSS} \quad (3.1)$$

$$250 = 241.9 + 0.29 + 7.81$$

$$\underline{250 L/s = 250 L/s}$$

El balance se realizara con base en los gastos obtenidos en el punto anterior, el sistema mostrado en la figura 3.21 y los resultados de los **sólidos suspendidos totales**, que se obtuvieron en el análisis del agua de la planta tratadora, con sus respectivas unidades según la ecuación (3.1) y las siguiente ecuaciones generales del todo el sistema .

Nombre	Promedio sólidos suspendidos totales en mg/L
Influente	63
Sedimentador Primario	45.7
Efluente	6.92
Recirculación	2875

Tabla 3.12

Para obtener los valores y resultados de las ecuaciones, se procede a revisar los datos obtenidos anteriormente para encontrar 19S incógnitas de las ecuaciones y se puedan obtener resultados instantáneos.

$$\begin{aligned}
 1. \quad Q_i &= Q_e + Q_{PSP} + Q_{PSS} \\
 \Rightarrow Q_i SST_i &= Q_e SST_e + Q_{PSP} \chi_1 + Q_{PSS} SST_{REC}
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

$$\begin{aligned}
 2. \quad Q_i &= Q_2 + Q_{PSP} \\
 \Rightarrow Q_i SST_i &= Q_2 \chi_2 + Q_{PSP} \chi_1
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

$$\begin{aligned}
 3. \quad Q_3 &= Q_2 + Q_R \\
 \Rightarrow Q_3 \chi_3 &= Q_2 \chi_2 + Q_R SSTR_R
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

$$\begin{aligned}
 4. \quad Q_4 &= Q_{PSP} + Q_R \\
 \Rightarrow Q_4 \chi_4 &= Q_{PSS} \chi_2 + Q_R SSTR_R
 \end{aligned} \tag{3.9}$$

$$\begin{aligned}
 5. \quad Q_3 &= Q_e + Q_4 \\
 \Rightarrow Q_3 \chi_3 &= Q_e SST_e + Q_4 SSTR_{REC}
 \end{aligned} \tag{3.10}$$

Donde: SST_i = Sólidos Suspendidos Totales en el Influyente
 SST_e = Sólidos Suspendidos Totales en el Efluente
 SST_{pspo X1} = Sólidos Suspendidos Totales en el sedimentador primario
 SST_{pspo X2} = Sólidos Suspendidos Totales en sedimentador secundario
 SSTR = Sólidos Suspendidos Totales en la recirculación
 SSTTA o X3 = Sólidos Suspendidos Totales tanque de aireación

Los valores de los gastos se obtuvieron anteriormente.

Partiendo de la ecuación (3.7) para obtener el primer resultado de la incógnita se tiene:

$$\begin{aligned}
 Q_i &= Q_2 + Q_{PSP} \\
 \Rightarrow Q_i SST_i &= Q_2 SSTR_2 + Q_{PSP} \chi_1
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

$$\chi_1 = \frac{(Q_i * SST_i) - (Q_2 * SST_2)}{Q_{PSP}}$$

$$\chi_1 = \frac{(250L/s * 63mg/L) - (249.71L/s * 45.7mg/L)}{0.29L/s}$$

$$\chi_1 = 14959.5mg/s$$

$$\chi_1 = \underline{\underline{1292.5 \text{ kg/dia}}}$$

Conociendo X1 se procede a calcular a X2 en la ecuación (3.6).

$$\begin{aligned} Q_i &= Q_e + Q_{PSP} + Q_{PSS} \\ \Rightarrow Q_i SST_i &= Q_e SST_e + Q_{PSP} \chi_1 + Q_{PSS} \chi_2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\chi_2 = \frac{(Q_i * SST_i) - (Q_e * SST_e) - (Q_{PSP} \chi_1)}{Q_{PSS}}$$

$$\chi_2 = \frac{(250L/s * 63mg/L) - (241.91L/s * 6.92mg/L) - (0.29L/s * 14959.5L/s)}{7.81L/s}$$

$$\chi_2 = 12468mg/s$$

$$\chi_2 = \underline{\underline{107.7 \text{ kg/dia}}}$$

Conociendo X₁ y SST_R de la ecuación (3.8) se calcula X₃.

$$\begin{aligned} Q_3 &= Q_2 + Q_R \\ \Rightarrow Q_3 \chi_3 &= Q_2 SST_2 + Q_R SST_R \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$\chi_3 = \frac{(Q_2 * SST_2) + (Q_R * SST_R)}{Q_3}$$

$$\chi_3 = \frac{(249.71L/s * 45.7mg/L) + (6.25L/s * 2875mg/L)}{255.96L/s}$$

$$\chi_3 = 114.8mg/s$$

$$\underline{\chi_3 = 9.9 \text{ kg/día}}$$

Obtener χ_4 de la ecuación (3.9).

$$Q_4 = Q_{PSP} + Q_R$$

$$\Rightarrow Q_4 \chi_4 = Q_{PSS} \chi_2 + Q_R SST_R \quad (3.9)$$

$$\chi_4 = \frac{(Q_{PSS} * \chi_2) + (Q_R * SST_R)}{Q_4}$$

$$\chi_4 = \frac{(7.81L/s * 1246.8mg/L) + (6.25L/s * 2875mg/L)}{14.06L/s}$$

$$\chi_4 = 1970.6mg/s$$

$$\underline{\chi_4 = 170.3 \text{ kg/día}}$$

Conociendo todos los resultados que eran incógnitas se procede a evaluar todos los datos en la ecuación general de balance masa para comprobar los resultados.

Ecuación general de todo el proceso: Balance de Masa.

$$Q_i = Q_e + Q_{PSP} + Q_{PSS}$$

$$\Rightarrow Q_i SST_i = Q_e SST_e + Q_{PSP} \chi_1 + Q_{PSS} SST_R$$

$$(250L/s * 63mg/L) = (2419L/s * 6.92mg/L) + (0.29L/s * 149595mg/L) + (7.81L/s * 12468mg/L)$$

$$15750mg/s = 157497mg/s$$

$$\underline{1360.8 \text{ kg / día} = 1360.8 \text{ kg / día}}$$

Ecuación para el sedimentador primario

$$Q_1 = Q_2 + Q_{PSP}$$

$$\Rightarrow Q_1 SST_1 = Q_2 SST_2 + Q_{PSP} \chi_1$$

$$(250 L/s * 63 mg/L) = (249.71 L/s * 45.7 mg/L) + (0.29 L/s * 14959.5 mg/L)$$

$$15750 mg/s = 15750 mg/s$$

$$\underline{1360.8 kg / día = 1360.8 kg / día}$$

Ecuación para el tanque de aireación

$$Q_3 = Q_2 + Q_R$$

$$\Rightarrow Q_3 \chi_3 = Q_2 \chi_2 + Q_R SST_R$$

$$(255.96 L/s * 114.8 mg/L) = (249.71 L/s * 45.7 mg/L) + (6.25 L/s * 2875 mg/L)$$

$$29384.2 mg/s = 29380.5 mg/s$$

$$2538.8 kg / día = 2538.5 kg / día$$

$$\underline{2538.8 kg / día = 2538.5 kg / día}$$

Ecuación para la purga de lodos

$$Q_4 = Q_{PSP} + Q_R$$

$$\Rightarrow Q_4 \chi_4 = Q_{PSP} \chi_2 + Q_R SST_R$$

$$(14.06 L/s * 1970.6 mg/L) = (7.81 L/s * 1246.8 mg/L) + (6.25 L/s * 2875 mg/L)$$

$$27706.6 mg/s = 27706.3 mg/s$$

$$\underline{2393.9 kg / día = 2393.8 kg / día}$$

Ecuación tanque de aireación

$$Q_3 = Q_e + Q_4$$

$$\Rightarrow Q_3 \chi_3 = Q_e SST_e + Q_4 \chi_4$$

$$(255.96 L/s * 114.8 mg/L) = (241.9 L/s * 6.92) + (14.06 L/s * 1970.6 mg/L)$$

$$29384.2 mg/s = 29380.6 mg/s$$

$$\underline{2538.8 kg / día = 2538.5 kg / día}$$

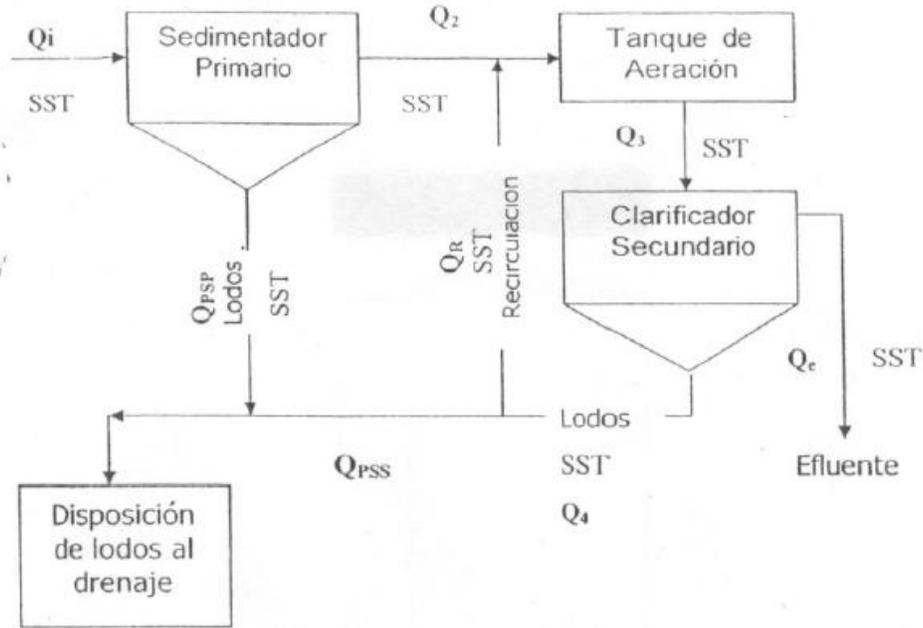


Fig. 3.29

RESUMEN DE DATOS OBTENIDOS EN EL BALANCE DE MASA:

	L/s		Kg/día
Qi	250	SSTi	63
Q ₂	249.71	SST ₂	45.7
Q ₃	255.96	SST _{T.A} ó (X3)	9.9
Q ₄	14.06	X4	170.3
Q _{PSP}	0.29	SST _{PSP} ó (X1)	1292.5
Q _{PSS}	7.81	SST _{PSS} ó (X2)	107.7
Q _{Rec}	6.25	SST _{Rec}	170.3
Qe	241.9	SSTe	6.92

Tabla 3.13

Por lo tanto el sedimentador primario tiene un porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales de 28% y el sedimentador secundario tiene una eficiencia de remoción de 85% en promedio.

3.8 Diagnostico de la obra civil

Debido a los hundimientos sufridos en el tanque sedimentador primario, las rastras presentan un ángulo de inclinación considerable, tanto en el fondo, así como en la superficie; como puede observarse en la figura 3.22, las rastras pasan por encima de del espejo de agua, no al ras, así que no realizan su función correctamente y por lo mismo queda mucho material flotante a lo largo de todo el tanque, además de que debido al difícil control del gasto que entra a la planta, ocasionalmente quedan sumergidos los vertedores perimetrales y no funcionan correctamente.

Figura 3.23. Sedimentador primario, mal funcionamiento observado en rastras y vertedores.

El reactor biológico o tanque de aireación a presentado hundimientos hacia los costados, más no en la parte media por donde corre el pasillo de mantenimiento, esto a ocasionado que el drenaje quede por arriba del rasante del suelo, lo cual dificulta su vaciado y su limpieza; de modo que cuando se llena nuevamente, deben pasar algunos días para que el proceso elimine toda el agua con algas que se quedó estancada: Además la pendiente ocasionada por los hundimientos, ocasiona que el flujo de agua deba vencer está pendiente para acceder al segundo compartimiento y poder así completar el tiempo de retención necesario

Otra de las modificaciones apreciables en la obra civil, es una junta constructiva, presente en la parte central del reactor biológico, la cual no está especificada en los planos originales y el operador desconoce la fecha de su colocación. Esta seguramente se colocó con la intención de amortiguar la deformación del tanque debida a la flotación que ocurre cada que este es vaciado, pero sólo ha contribuido a que la pendiente se haya invertido

Como puede observarse en el tanque sedimentador secundario, el concreto que reviste al acero, en ciertas partes ya no cumple con su propósito; además, el aplanado de la base del tanque presenta muchos huecos, en los cuales se acumulan lodos que no pueden ser removidos por las rastras, de modo que dicho lodo se envejece y flota.

Además con una base tan irregular, las rastras se atorán y deben ejercer un mayor esfuerzo para arrastrar el lodo, lo cual hace que el equipo electromecánico trabaje forzado, y por lo tanto se descomponga constantemente

En el sedimentador secundario, también se han presentado hundimientos diferenciales, es decir, que la profundidad de los hundimientos es diferente en

todos los puntos del tanque, es por. ello que al ser vaciado también queda agua acumulada, la cual ocasiona formación de algas y esta agua solo puede ser eliminada por bombeo

Existe muy poca información referente al diseño y a las modificaciones realizadas, es decir, no hay un seguimiento correcto ni continuidad al momento de hacer reformas en las instalaciones.

Conclusiones.

Entre el diseño original de la planta y las condiciones presentes, las principales diferencias observadas son, la instalación de una nueva toma desde el drenaje combinado municipal; la construcción de un tanque de contacto de cloro y la construcción de un nuevo cárcamo de bombeo de agua tratada.

Comparando los resultados obtenidos con la normatividad vigente, se establece que la planta de tratamiento de aguas residuales SJDA, se incumple, en relación a los parámetros de control seleccionados con las siguientes normas y en los apartados siguientes:

NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales, en el apartado Embalse naturales y artificiales para uso público urbano, se sobrepasa el promedio mensual tanto en grasas y aceites, así como en el caso de los Sólidos Suspendidos totales.

NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no cumple en el caso -de los sólidos sedimentables, al descargar los lodos producidos en la planta, por su conformación propia ya que son "Lodos", al descargarlos directamente al gran canal del desagüe.

NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusan en servicio al público, en las determinaciones hechas en este trabajo, para sólidos suspendidos totales se sobrepasa, por mucho el límite máximo, y para grasas y aceites, también se sobrepasa el límite. En la evaluación realizada a cada operación unitaria que se realiza en la Planta SJDA, por principio, del gasto de diseño solo tratan la mitad, el tratamiento preliminar es deficiente, tanto el sedimentador primario como el secundario presentan constantemente flotamiento de lodos y las rastras no cumplen adecuadamente su función; el reactor biológico si logra una mezcla completa, pero presenta hundimientos y daños en su estructura, el tanque de contacto de cloro no ha sido limpiado en años y finalmente el tanque de almacenamiento de agua tratada presenta agrietamientos en toda su estructura. Finalmente al realizar la evaluación de la obra civil de la planta de tratamiento de aguas residuales de "SJDA", se concluye que no se ha dado un tratamiento adecuado a los problemas presentes en todas las estructuras de la Planta de tratamiento.

En general todas las estructuras que conforman la Planta de tratamiento de aguas residuales SJDA, presentan hundimientos diferenciales, debido a la compresibilidad de suelo de la zona, lo cual ha ocasionado el mal funcionamiento del equipo electromecánico y numerosos problemas en las tuberías de conexión y en el drenaje de las mismas.

|

Recomendaciones.

1. Los procesos biológicos deben ser evaluados continuamente para asegurar que son eficientes.
2. Mejorar el pretratamiento mediante la colocación de un desarenador y un cribado para sólidos flotantes pequeños, buscando alguna opción factible en el mercado.
3. Colocar un vertedero que permita medir el caudal de entrada de una manera fácil y eficiente, en todo momento.
4. Renivelar el fondo de los tanques pues su estado actual provoca que constantemente se descomponga el equipo de rastreo.
5. Reubicar el drenaje de todos los tanques para facilitar su vaciado y así disminuir el tiempo de espera para su puesta en marcha.
6. Poner en funcionamiento el rastreo transversal de los sedimentadores para mejorar la eficiencia en la remoción de sólidos.
7. Buscar la manera de que el tanque de cloro se divida en dos módulos, para facilitar su limpieza.
8. Reparar el tanque de almacenamiento de agua tratada y revisar la posibilidad de colocar un geotextil para compensar la compresibilidad del tipo de suelo y así evitar fugas.
9. Al operador de la planta debe entregársele un manual técnico actualizado, de fácil entendimiento para operar la planta, que contenga reglas básicas de higiene industrial y primeros auxilios. Además, debe suministrársele herramientas adecuadas al tipo de tratamiento.
10. Para evaluar la operación y eficiencia de la planta debe existir permanentemente en campo un termómetro, un potenciómetro, un medidor de sólidos sedimentables y un medidor de oxígeno disuelto, equipo que permita la evaluación.

11. Se recomiendan seguir guías para la operación, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo de las unidades actuales y a futuro.

Además de lo anterior, es importante plantear la necesidad de generar la menor cantidad de residuos posibles, esto refiriéndose a los lodos producidos, pues es ilógico que se trate de hacer un beneficio a la sociedad tratando el agua residual y a la vez generar tantos desechos y disponerlos sin ninguna regulación. Además de la problemática extra del mal funcionamiento del Gran Canal del desagüe a donde se vierten estos lodos; pues será sólo preocupándose de los impactos globales de los procesos como se consiga una verdadera aportación al medio ambiente.

Y finalmente si se desea ampliar el horizonte de usuarios del agua producida en la Planta SJDA, y como se mencionó, en un futuro se pretende tratar un mayor porcentaje de la aguas residuales de la Ciudad, pero si no se tienen usuarios del servicio y no se puede dar un servicio continuo en calidad y cantidad con la infraestructura existente, no serviría de mucho construir más plantas que también operen por debajo de su capacidad.

Márquez&Mendoza

BIBLIOGRAFÍA.

MANUAL DE SUBESTACIONES.

Luz y fuerza del centro

**MANUAL DE MODIFICACIONES PARA PLANTA DE TRATAMIENTO Y REUSO
SAN JUAN DE ARAGON.**

UNAM Posgrado

