



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ARAGON”

57
26

**FALLA DE ORIGEN
PROYECTO DE SELECCION E INSTALACION DE
EQUIPO ELECTROMECANICO Y AUXILIAR PARA LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE LA ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES ARAGON**

FALLA DE ORIGEN
EN SU TOTALIDAD

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

Presenta:

EDUARDO MENDEZ AGUILAR

San Juan de Aragón, Estado de México. 1995



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 está 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.



57
28

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ARAGON”

**FALLA DE ORIGEN
PROYECTO DE SELECCION E INSTALACION DE
EQUIPO ELECTROMECANICO Y AUXILIAR PARA LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DE LA ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES ARAGON**

**FALLA DE ORIGEN
EN SU TOTALIDAD**

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

Presenta:

EDUARDO MENDEZ AGUILAR

San Juan de Aragón, Estado de México. 1995

COMO UN TESTIMONIO DE GRATITUD Y

PROFUNDO AGRADECIMIENTO

A MIS PADRES:

EDUARDO Y ANGELA SEBASTIANA
CON CARINO Y RESPETO
POR EL GRAN ESFUERZO
QUE REALIZARON PARA
MI FORMACION

A MI ESPOSA:

MARIA LUISA, POR SU
CONFIANZA; APOYO Y
COMPRENSION

A MIS HIJOS:

MARIA LUISA, NANCY Y
EDUARDO, POR LA ENSEÑANZA
Y COMPRENSION

A MIS HERMANOS:

MARIA, JUANA, JESUS
LUCILA, EDUARDO, MARIA
DE JESUS Y ANGELA POR
SU CARINO Y APOYO
INCONDICIONAL

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS:

POR TANTOS Y TANTOS
MOMENTOS INOLVIDABLES,
AYUDA Y LEALTAD

A MIS PROFESORES:

A SU ESmero EN LA
IMPARTICION DE SUS
CONOCIMIENTOS EN MI
FORMACION
GRACIAS.

E.N.E.P. ARAGON - UNAM

A LA QUE FUESE COMO
MI HOGAR Y QUE ME DIO
LOS CONOCIMIENTOS QUE
ME HAN DESARROLLADO
EN MI VIDA PROFESIONAL

FALLA DE ORIGEN

ÍNDICE

Página

CAPÍTULO 1

1. Introducción.....
- 1.1 Antecedentes de la problemática de los servicios de agua potable y drenaje en el periodo 1325 a la fecha.....
- 1.2 El sistema urbano.....

CAPÍTULO 2

2. Proceso a nivel secundario para tratamiento de aguas residuales
- a) Introducción.....
- b) Ventajas y posibilidades de la reutilización de las aguas residuales.....
- c) Criterio General sobre el tratamiento de las aguas residuales
- d) Resumen
- 2.1 Caracterización de las aguas residuales de origen orgánico
- a) Aguas residuales domésticas.....
- b) Aguas residuales de instalaciones pecuarias.....
- c) Aguas residuales de origen orgánico
- d) Resumen
- e) Observaciones.....
- 2.2 Elementos de Microbiología, remoción de organismos patógenos
- a) Introducción.....
- b) Plantas primitivas (talofitas).....
- e) Hongos acuáticos, Virus y Bacterias

- d) Protozoos
- e) Gusanos o Helmintos
- f) Importancia y prioridades de la remoción de organismos patógenos de las aguas residuales
- g) Remoción de patógenos en los sistemas de tratamiento convencionales
- h) Resumen

2.3 Operaciones y procesos unitarios para el tratamiento de las aguas residuales

- a) Introducción
- b) Principales operaciones y procesos unitarios para el tratamiento de las aguas residuales
- c) Sistemas de tratamiento convencionales
- d) Costos relativos de los sistemas de tratamiento
- e) Costo estimados de construcción de instalaciones de tratamiento de aguas residuales
- f) Ventajas y desventajas relativas de los distintos sistemas de tratamiento de residuales
- g) Resumen

2.4 Consideraciones sobre la selección de sistemas de tratamiento de aguas residuales

- a) Introducción
- b) Tratamiento de aguas residuales orgánicas de alta carga
- c) Sistemas de tratamiento convencionales
- d) Resumen

- e) Bibliografía recomendada

CAPÍTULO 3

- 3. Selección de equipos electromecánicos

 - a) Justificación del proyecto ejecutivo
 - b) Bases del proyecto.....
 - c) Disposición de la planta
 - d) Descripción de la planta

- 3.1 Planteamiento general de la planta para la selección del equipo de bombeo de las diferentes áreas.....

 - a) Diseño del tanque desarenador o tratamiento previo.....
 - b) Diseño de rejillas de azolve para el tanque desarenador
 - c) Diseño de reguladores de velocidad (vertederos).....
 - d) Recolectores y concentradores de lodos, para los sedimentadores primario y secundario.....
 - e) Conducción del tanque de contacto de cloro al almacenamiento de agua tratada

- 3.2 Bombas (conceptos generales)

 - a) Introducción
 - b) Definiciones y conversiones
 - c) Equipos motrices
 - d) Sistemas de bombeo.....
 - e) Clasificación de bombas.....
 - f) Selección hidráulica de bombas centrifugas
 - g) Elementos constitutivos de una bomba.....

FALLA DE ORIGEN

- h) Conducción y control de flujo de agua y equipo de bombeo
 - i) Selección de un equipo de bombeo tipo vertical
 - j) Bombas tipo propela, flujo mixto y doble succión
 - k) Como determinar el gasto de una bomba
- 3.3 Análisis del diseño y selección del equipo auxiliar utilizando para el proceso de tratamiento de agua residual**
- a) Sopladores
 - b) Motorreductores
- 3.4 Cálculo de selección de equipo para el sistema de fuerza, control y alumbrado**
- a) Cálculo de la carga de alumbrado exterior
 - b) Cálculo de la carga de alumbrado interior.....
 - c) Cálculo del transformador principal
 - d) Protecciones a equipo eléctrico y componentes para alumbrado
 - e) Planta de tratamiento equipo eléctrico (control de motores).....
- 3.5 Selección de motores para una aplicación adecuada**
- a) Métodos de acoplamiento
 - b) Datos básicos para la selección del motor
 - c) Definición de los pares del motor de inducción
 - d) Características de operación
 - e) Factor de servicio
 - f) Motores rotor devanado en armazones 215 a 440
- 3.6 Características de los transformadores de distribución.....**
- a) Definición de transformador
 - b) Partes de que se compone un transformador

- c) Clasificación
- d) Diferentes tipos de pruebas para transformadores de distribución..
- e) Pruebas de campo recomendadas antes de su instalación
- f) Normas oficiales mexicanas
- f) Breve descripción de selección de transformador para pequeña y mediana potencia
- h) Bibliografía

ESTUDIOS PRELIMINARES

1.1 ANTECEDENTES DE LA PROBLEMÁTICA DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y DRENAJE EN EL PERIODO DE 1325 A LA FECHA.

En el año de 1325 el pueblo de los aztecas fundó, a 2 240 metros sobre el nivel del mar, en un llano rodeado por lagos y por sierras de más de 5 000 m de altura, una ciudad que en poco tiempo se convirtió en el centro indígena más importante de la región: la Gran Tenochtitlan, hoy ciudad de México, Distrito Federal, cuya historia guarda una estrecha relación con las características hidrológicas del valle de México que se acaban de describir.

Desde la época prehispánica fue necesario responder con obras de gran envergadura a situaciones en las que, por abundancia o escasez de agua, muchas veces alternadas, se sucedían inundaciones y epidemias, sequías y hambrunas. El sistema hidráulico actuales producto de acciones realizadas durante 657 años, a partir de la fundación de México - Tenochtitlan,

ÉPOCA PREHISPÁNICA Y COLONIAL

Estancamiento de las aguas en un valle lacustre cerrado. El tajo de Nochistongo: primera salida artificiales. Abastecimiento con agua de manantial.

FALLA DE ORIGEN

Esta primera etapa, que se extendió hasta finales del siglo XVIII, se caracterizó por las fluctuaciones en los niveles de los lagos que concentraban los escurrimientos del valle de México.

En un principio, aunque no ocurriesen tormentas extraordinarias, bastaba que en varios años sucesivos se presentaran veranos relativamente lluviosos para que el nivel de los lagos se elevase progresivamente a causa de que se trataba de un valle cerrado, sin desagües naturales. Los islotes y riberas de los lagos ofrecieron a los primeros asentamientos indígenas condiciones inmejorables de seguridad y supervivencia. Sin embargo, conforme se desarrolló el predominio de los aztecas, el asentamiento de Tenochtitlan se extendió hacia las superficies disponibles o hacia aquellas que se ganaban a los propios lagos. Por ello, el valor de los terrenos se elevó al acumularse la riqueza humana y material, y la fluctuación en los niveles de los lagos comenzó a ocasionar daños cuantiosos. El problema se enfrentó mediante bordos y diques de contención; en 1450, Netzahualcōyotl, rey de Texcoco, por encargo del rey azteca Moctezuma, diseñó y dirigió la construcción de un albaradón o dique de 16 km de longitud para proteger a la Gran Tenochtitlan del azote frecuente de inundaciones.

Por otra parte, el abastecimiento de agua provenía en esa época de manantiales y Netzahualcōyotl fue quien construyó también el acueducto de Chapultepec para conducir el agua hasta la ciudad.

Después de la conquista de México, consumada por los españoles en 1521, las autoridades coloniales siguieron el sistema de los aztecas para contener las aguas mediante diques, algunos de los cuales servían también como calzadas, y con manantiales y acueductos para el abastecimiento de agua; sin embargo, las lluvias

torrenciales continuaban ocasionando graves inundaciones. En 1604 y 1607 ocurrieron inundaciones provocadas principalmente por los escurrimientos del río Cuautitlán, las cuales ocasionaron cuantiosas muertes y daños materiales. Para resolver este problema, Enrico Martínez propuso a las autoridades la construcción de un túnel en la zona de Nochistongo, localizada al noreste del valle de México. La obra se terminó en menos de un año de esta manera el valle dejó de ser una cuenca cerrada al contar con su primera salida artificial.

Sin embargo, poco tiempo después ocurrieron derrumbes por falta de revestimiento, que inutilizaron el túnel; se decidió entonces sustituirlo por un gran tajo o zanja que se terminó después de 160 años de trabajo; así, a partir de 1789 se dio salida permanente a las aguas del río Cuautitlán.

Esta época se distinguió desde el punto de vista del sistema hidráulico, por la lucha contra las inundaciones y el desalojo del agua pluvial. Desde entonces ya se tenían problemas en la disposición de las aguas residuales, aunque de menor magnitud por el tamaño reducido de la población. Por ejemplo en la época virreinal las autoridades permitían que los drenajes de las casas desaguaran exclusivamente líquidos a las acequias y zanjas, y el excremento se recolectaba a las afueras de la ciudad.

EL SIGLO XIX

Inundaciones causadas por los escurrimientos propios del valle a través de la ciudad, la cual se extiende por las planicies lacustres. El túnel de Tequisquiac: segunda salida artificial.

Se inicia la explotación de los acuíferos.

La salida de la cuenca por el tajo de Nochistongo empezó a alterar la ecología del valle e inició un nuevo proceso. En esta segunda etapa, el nivel de los lagos ya no crecía como en la primera; por el contrario, los diques crearon áreas seguras, propias para que la ciudad se extendiera aún más en las orillas de los antiguos lagos; sin embargo, estas zonas resintieron cuantiosos daños al ser afectadas por inundaciones cuando los ríos que atravesaban la ciudad se salían de su cauce y ocupaban las áreas bajas.

Hacia 1856, las inundaciones eran cada vez más alarmantes, y en algunas zonas su nivel alcanzaba hasta tres metros de altura. Se decidió emprender nuevas obras de desagüe, consistentes en el Gran canal de Desagüe y en el Túnel de Tequisquiac, el cual constituyó la segunda salida artificial del valle de México; ambas obras se inauguraron en el año de 1900.

El abastecimiento de agua proporcionado por los manantiales resultó insuficiente, por lo que empezaron a perforar pozos someros; en 1847 existían casi 500 pozos y más de 1 000 en 1886. Posiblemente el hundimiento de la ciudad haya empezado en esas fechas a juzgar por las nivelaciones realizadas en 1891 a 1895, las cuales registraron un descenso de 5 cm por año. Además, la presión en el acuífero disminuyó a causa de la extracción y, en consecuencia, también se redujo el caudal de los manantiales de Chapultepec.

LOS PRIMEROS 75 AÑOS DEL SIGLO XX

Se intensifica la explotación de los acuíferos
y se inician las transferencias de agua
potable desde otras cuencas.

Hundimientos y dislocación del drenaje urbano.

El segundo túnel de Tequisquiac: tercera
salida artificial. El drenaje profundo:
cuarta salida y una solución permanente.

La construcción del Gran Canal y del Túnel de Tequisquiac propició nuevos asentamientos humanos y mayor concentración de la población y de la riqueza; estas condiciones, junto con el desarrollo industrial registrado en torno a la segunda guerra mundial, hicieron crecer las necesidades de abastecimiento de agua.

La extracción de los pozos debió incrementarse poco hasta 1936, a juzgar por la evolución de los hundimientos, los cuales se mantuvieron en alrededor de 5 cm por año, posiblemente gracias a que en 1913 se terminó el acueducto que captaba las aguas de los manantiales de Xochimilco, con un caudal de 2.6 m³/s. De 1936 a 1944 se advierte una deficiencia en las fuentes de agua para satisfacer la demanda de una población que crecía rápidamente, y en ese lapso el gobierno de la ciudad inició la perforación de los primeros 93 pozos profundos; lo anterior ocasionó que el hundimiento en el centro de la ciudad se incrementara a 18 cm por año entre 1938 y 1948.

El déficit en el abastecimiento de agua a la ciudad, hizo que en 1942 se iniciaran las obras para captar los manantiales del río Lerma en el valle de Toluca. Estas obras se retrasaron hasta 1951, año en el que todavía se perforaron otros 10 pozos municipales profundos. En 1947 Nabor Carrillo presentó un trabajo técnico en el que, con datos cuantitativos, dejaba claro que la ciudad de México se hundía principalmente por el abatimiento de las presiones en el acuífero localizado debajo de ella. Este trabajo creó conciencia de la necesidad de no agravar el problema, sobre todo en el centro de la ciudad, y hacia 1954 se suspendieron los permisos para perforar pozos particulares. No obstante, en 1955 hubo necesidad de perforar unos 10 pozos municipales y, a pesar de que en 1957 se inauguró el acueducto de los pozos de Chiconautla con un caudal de 3 m³/s, y en 1958 el de los pozos de peñón, con un caudal 1 m³/s, entre 1960 y 1967 se perforaron alrededor de otros 50 pozos municipales, esta vez alejados del centro de la ciudad, pero muchos de ellos situados en zonas arcillosas, por lo que también causaron hundimientos; sin embargo, gracias a estos los hundimientos en el centro, se redujeron notablemente entre 1960 y 1970.

Ante el aumento en la demanda de agua y en los costos para satisfacerla, se vio la conveniencia de tratar las aguas residuales para evitar el empleo de agua potable en los usos que no requieren de esa calidad. En 1954 se comenzó a operar la primera planta de tratamiento de aguas residuales, ubicada en el Bosque de Chapultepec; las aguas renovadas se emplean en el riego de áreas verdes y en el llenado de lagos.

A pesar de todas las acciones tomadas, la demanda de la ciudad no quedaba satisfecha. Los manantiales de Xochimilco debieron bombearse hasta agotarlos, y en 1964 hubo que perforar en esa zona baterías de pozos para suplir el caudal de los manantiales; en 1967 se incrementó la aportación proveniente del Lerma en 4 m³/s

mediante nuevas baterías de pozos; en 1973 se perforaron más pozos en el área de Xochimilco; en 1977 entró a la red de abastecimiento el caudal de los pozos perforados por la Comisión de Aguas del Valle de México en el sur de la ciudad (a lo largo del Anillo Periférico y en Tláhuac-Netzahualcóyotl) y al norte del valle (en la zona Los Reyes-Teoloyucan), los cuales aportan al área metropolitana de la ciudad de México 3.0 m³/s y 6.5 m³/s, respectivamente.

En relación con el desalojo de las aguas residuales y pluviales, a principios de siglo el ingeniero Roberto Gayol construyó una red de alcantarillado formada por colectores que van principalmente de poniente a oriente, siguiendo de manera aproximada la pendiente del terreno. Estos conductos, que constituyeron una importante obra de saneamiento para atender a medio millón de habitantes, descargaban las aguas al Gran Canal; pero una de las consecuencias del crecimiento demográfico y la expansión urbana, fue que el sistema de drenaje se volviera insuficiente para una población que se había duplicado en diez años y que en 1940 era de casi dos millones de habitantes; en esa década hubo varias inundaciones graves en las partes bajas de la ciudad.

El inicio de transferencias de agua al valle de México desde cuecas lejanas, como la que se efectúa mediante la primera etapa del proyecto Cutzamala.

Por otra parte, ante la urbanización de grandes superficies, las aguas pluviales aumentan en volumen al no poder infiltrarse en el suelo por la presencia del pavimento y el concreto, lo que a su vez ocasiona que escurra más rápidamente. Asimismo, la eficiencia en la red de alcantarillado ha descendido a causa del hundimiento del terreno y por interferencias con obras viales, principalmente el metro.

Las mayores demandas del agua, al ser satisfechas, se traducen en mayores volúmenes de aguas residuales que es necesario disponer. Pero su desalojo está íntimamente ligado al de las aguas de lluvia, y las obras requeridas para cubrir a toda la ciudad son costosas y demoradas. Esta situación, como se explicara en los siguientes capítulos, a ocasionado nuevos problemas: la insalubridad, la contaminación de ríos y el riesgo de contaminar los acuíferos.

Ahora, más que antes, las soluciones derivadas del enfoque de ingeniería deben completarse con otras disciplinas. Surge un nuevo enfoque más amplio, complejo y fascinante, que considera aspectos del desarrollo urbano y de la planeación en el largo plazo de obras y de otras acciones. Se requiere la movilización de factores distintos: la organización moderna para la administración integral de los servicios; la participación ciudadana y la relación con los usuarios; la captación de cuantiosos recursos materiales y financieros, así como el desarrollo de los apoyos legales y administrativos necesarios para resolver con efectividad y eficiencia los problemas actuales y futuros del sistema hidráulico del Distrito Federal.

1.2 EL SISTEMA URBANO

La población del Distrito Federal ha crecido muy rápidamente (cuadro 1.10 a causa de una alta concentración de la actividad económica. El área urbana del Distrito Federal se ha incrementado junto con la población, y hoy en día la ciudad es realmente una zona metropolitana que incluye 11 municipios del vecino estado de México.

Para incrementar la capacidad de conducción de las aportaciones provenientes del sistema Cutzamal, que benefician a gran parte de la población del Distrito Federal,

se inició en 1983 la construcción del Ramal Sur y sus respectivas líneas de derivación, actualmente ya terminado.

El Ramal Sur, constituido por un túnel de 10,958 metros y 1,200 metros de sifones, además de cuatro líneas de derivación con longitud conjunta de aproximadamente 4,000 metros que lo comunican con el ramal que conduce las aguas del sistema Lerma, se construyó para aumentar la capacidad de conducción y distribuir equitativamente los caudales de otras cuencas.

La cantidad de pozos a reponer en el periodo 1982-94 es de 225; hasta el año de 1987 se habían repuesto 155. De igual manera, en lo que respecta a redes de distribución, de un total programado de 130,890 metros faltan únicamente 9,350, de los cuales 6,000 metros corresponden a red primaria y 3,350 a red secundaria; mientras que las líneas de conducción destinadas a transferir agua de pozos a tanques y acueductos se aumentaron en cerca de 140,000 metros.

Con el fin de incrementar la capacidad de regulación y almacenamiento del sistema, en lo que va de este periodo se han construido 17 tanques y a finales del mismo se contará con uno más. Asimismo, se reforzará la capacidad de bombeo con la nueva planta de Xotepingo, ubicada en la Delegación Coyoacán y cuyos beneficios alcanzan a más de dos millones de habitantes de las delegaciones Benito Juárez, Coyoacán, Iztapalapa y Cuauhtémoc.

En lo que hace al Drenaje Profundo, se excavaron y revistieron 6,451 metros de túneles, de la siguiente manera: 2,709 metros en el interceptor Central correspondiente al tramo L-6 a L-4A con cinco lumbreras y dos captaciones; el interceptor Centro-

Centro en su totalidad, con una longitud de 3,742 metros, tres lumbreras y una captación, además de tres lumbreras y dos captaciones para la ampliación del interceptor Oriente.

En 1984 se inició la construcción del colector Semiprofundo Iztapalapa y entró en operación en julio de 1987, con una longitud de 5,500 metros también la construcción de los colectores semiprofundos Obrero Mundial, que habrán de concluirse este año de 1988 con una longitud total de 800 metros y el de Canal Nacional, Canal de Chalco, del que se construirán 1,900 metros de túnel y tres lumbreras.

Durante el presente periodo se construyeron la planta de bombeo Central de Abasto II y el cárcamo Canal Nacional - Canal de Chalco, logrando un incremento de 26 m³/s en la capacidad de bombeo del sistema; la planta Prolongación División del Norte fue reacondicionada al 100 por ciento y, por último, la planta de bombeo Miramontes presentada un avance del tres por ciento.

Se incrementaron las líneas del sistema de drenaje con la construcción de 40,000 metros de red primaria y 247,000 metros de red secundaria. En 1988 se construirán 4,600 metros y 23,000 metros, respectivamente. Los trabajos de desazolve se realizaron en todas las estructuras que componen el complejo sistema de drenaje, de las que se extrajeron aproximadamente 2'810,000 m³ de azolve.

Cuadro 1.1 Incremento demográfico en el Distrito Federal y en el Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM)

ANO	POBLACIÓN EN EL D.F.	POBLACIÓN EN EL AMCM	ÁREA URBANA (ha)
1990	541,000		2 713
1910	721 000		4 010
1921	906 000		4 637
1930	1 230 000		8 608
1940	1 760 000		11 753
1953	3 480 000		24 058
1960	4 870 000	5 186 000	36 000
1970	6 874 165	8 797 000	56 500
1980	9 500 000	14 500 000	100 000

La dinámica del crecimiento de la ciudad durante este siglo puede dividirse en tres períodos:

El primero abarca hasta el año de 1930, cuando la ciudad, circunscrita dentro de los límites de las delegaciones centrales, registró tasas de crecimiento demográfico más altas que las que se observan en las delegaciones que la rodeaban. En la ciudad central residía en el 98% de la población, mientras que el 2% restante se distribuía en las delegaciones de Coyoacán y Azcapotzalco.

En el segundo período, de 1930 a 1950, las delegaciones periféricas crecieron con mayor rapidez que la ciudad central, principalmente en la segunda década, cuando las tasas fueron las mayores registradas en lo que va del siglo. En ese decenio se inició

la desconcentración de comercios y servicios, del centro a la periferia inmediata a la ciudad, lo que aceleró el crecimiento demográfico en las delegaciones del Distrito Federal y en el Municipio de Naucalpan, situado en el Estado de México. Esta desconcentración, junto con la expansión industrial, originó el crecimiento de las zonas habitacionales establecidas en el norte del Distrito Federal y de la zona residencial que se localiza en el sur y suroeste del mismo.

Por otra parte, el asentamiento del subsuelo ocasionando por la sobre explotación de los acuíferos, deterioró el drenaje y disminuyó su capacidad para desalojar las aguas del valle de México, lo que motivó la ampliación del Gran Canal y la construcción del segundo túnel de Tequisquiác. En el centro del Distrito Federal los hundimientos hicieron que el drenaje, proyectado para trabajar por gravedad, requiera de bombeo para elevar las aguas hasta el nivel del Gran Canal. De 1952 a 1966 se instalaron 29 plantas de bombeo en diversas zonas de la ciudad, lo que impidió un notable incremento en los costos de operación y mantenimiento. También se completó la red de colectores y se entubaron total o parcialmente los ríos Churubusco, Mixcoac, La Piedad y Consulado, que conducían aguas residuales a cielo abierto en condiciones insalubres. De 1960 a 1961 se construyeron el Interceptor y Emisor del Poniente con el objeto de recibir y desalojar las aguas del oeste de la cuenca, situadas a elevaciones superiores a los 2 260 metros sobre el nivel del mar; el emisor mencionado descarga sus aguas a través del tajo de Nochistongo.

Los problemas del asentamiento del subsuelo a los que se ha hecho referencia. El Gran Canal, que a principios del siglo tenía una pendiente de 19 cm/km, en la actualidad es prácticamente horizontal. En 1910, el nivel del lago de Texcoco, que regulaba las aguas del Gran Canal, se encontraba a 1.90 M por debajo del centro de la

ciudad; en 1970, el hundimiento había sido tal que el lago de Texcoco ya se encontraba a 5.50 m por encima del centro de la ciudad. El desmesurado crecimiento urbano del D.F. demandaba más superficie para extenderse; esto, aunado a los problemas del hundimiento, volvió insuficientes las capacidades de drenaje del Gran Canal y del Emisor del Poniente. Por ello, se hizo necesario construir la primera etapa del drenaje profundo, terminada en 1975, durante la cual se instalaron conductos a profundidades tales que no son afectados por los asentamientos del terreno; además no requieren de bombeo, ya que con su solo desnivel transportan el agua en época de lluvias y la expulsan por la cuarta salida del valle de México construida por el hombre.

EL MOMENTO ACTUAL

Abastecimiento desde cuencas lejanas.

Volúmenes crecientes de aguas pluviales
y problemas originados por las aguas
residuales.

Complejidad en la administración de los
servicios.

El intenso crecimiento urbano ocurrido entre los años de 1960 y 1990 llevó a un gran número de personas a establecerse en Zonas altas, rocosas y permeables, en donde, debido a las dificultades técnicas que se presentan durante los procesos de excavación en este tipo de terreno, no fue posible proporcionar el servicio de drenaje en forma rápida; desde entonces, en algunas de estas zonas parte de sus habitantes

vienen efectuando el desalojo de las aguas residuales en las grietas del subsuelo, con grave peligro de contaminación para los acuíferos. Un ejemplo típico son los pedregales de Coyoacán, área que fue poblada a partir de 1960.

A principio de la década de los 70 la ciudad tenía una población de 7'327,000 habitantes. Los hundimientos del subsuelo habían vuelto insuficientes las capacidades de conducción y desalojo del gran Canal y del Emisor del Poniente, por lo que hubo necesidad de acelerar la construcción del Drenaje Profundo iniciado en 1967.

En 1970 el servicio de agua potable tuvo problemas en algunas fuentes de abastecimiento, particularmente en los pozos profundos de los sistemas Teoloyucan-Tizayuca y Ecatepec Los Reyes, cuando algunos de éstos sufrieron desperfectos y el caudal disponible disminuyó de manera sensible afectando principalmente a la zona norte del Distrito Federal.

Para el año de 1978, la población que no tenía acceso al vital líquido a través de red sumaba un total de 1.2 millones de habitantes, los cuales tenían que ser abastecidos por medio de carros-tanque; en ese mismo año, para dar una solución adecuada al problema.

Para ello, fue necesario llevar a cabo importantes acciones para el manejo y la operación del complejo sistema de agua potable, el cual está formado por 555 Km. de red primaria, 12 mil km. de secundaria, 1,327 pozos, 202 tanques de almacenamiento, 102 plantas de bombeo, cuatro plantas potabilizadoras y 244 plantas cloradoras.

La ampliación del sistema, una de las principales metas a alcanzar, requirió de obras importantes encaminadas a utilizarse en mejor forma los caudales recibidos.

Durante el tercer período, de 1950 a la fecha, los límites del Distrito Federal se rebasaran en forma definitiva. De 1950 a 1960 el ritmo de urbanización fue mayor en la periferia metropolitana que en la parte central, lo que manifestó un proceso de metropolización claramente definido. Alrededor de 1970, culminó el cambio en la actividad económica, de la industria a los servicios. Actualmente la tercera parte de la población del área urbana vive en los municipios del Estado de México, si bien la mayoría de ella labora en el Distrito Federal y utiliza su infraestructura urbana.

En 1956, el Departamento del Distrito Federal "DDF" comenzó a usar agua residual para regar las áreas verdes del bosque de Chapultepec y para rellenar sus lagos. La primera planta que puso en operación fue construida en ese lugar, y al ir proliferando el aprovechamiento de las aguas residuales, fue necesario incrementar la infraestructura de este servicio.

Actualmente, el Programa de Reuso de Aguas Residuales Tratadas cuenta con la siguiente infraestructura: 21 plantas de tratamiento de las cuales 17 son a nivel secundario y 4 a nivel terciario, con una capacidad en conjunto de 6,250 litros por segundo, equivalente al 20% de las aguas residuales generadas en la ciudad de México. Con este caudal se riegan 6,500 ha. de áreas verdes y 6,000 agrícolas, y se renuevan 3,500 millones de litros de agua en lagos lagunas y 360 mil metros de canales, que ocupan una superficie de 230 ha. También se abastecen 691 establecimientos comerciales y 120 industriales a través de 783 mil metros de tubería. Además, el sistema cuenta con capacidad conjunta de 42 millones de litros y 17 plantas de bombeo con capacidad total de 2400 litros por segundo. En aquellos lugares en que aún no se cuenta con red de distribución el abastecimiento se realiza mediante carros-tanque.

De esta infraestructura, destaca por su magnitud, la planta de tratamiento de aguas residuales Cerro de la Estrella, con capacidad de 4,000 litros por segundo a nivel terciario. Se localiza en la zona sur-oriente de la ciudad en la Delegación Iztapalapa, en una superficie de 9 ha.

DEMANDA DE AGUA TRATADA

La planta de tratamiento Cerro de la Estrella inició su operación en el año de 1971, produciendo un caudal a nivel secundario, de 2,000 litros por segundo que se usaba para riego agrícola en Tláhuac y Xochimilco, así como en llenado de canales para la zona turística.

Posteriormente, la demanda del agua residual tratada fue diversificándose e incrementándose y los sectores industrial y comercial, se incorporaron a su uso.

Asimismo, el programa de rescate de las zonas lacustres de México, Tláhuac y Xochimilco, iniciado en 1989, se fundamentó en la aportación de caudales adicionales de agua residual reciclada de mejor calidad.

El DDF, a través de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica "DGCOH" construyó los módulos adicionales 3 y 4, así como las unidades de filtración para alcanzar una producción de 4,000 litros por segundo de agua a nivel terciario.

La ejecución de las obras de esos módulos, unidades de filtración y rehabilitación de esos módulos que ya existían, 1 y 2, requirió de una inversión de sesenta y dos millones de nuevos pesos, generando 1,300 empleos y beneficiando a un

millón quinientos mil habitantes.

La implementación del tratamiento terciario abrió además, la posibilidad de llevar a cabo la recarga artificial al acuífero del Valle de México, con agua de calidad apropiada para ese fin, actividad realizada con éxito a nivel piloto desde 1992; y a nivel prototipo desde 1994, para recargar el acuífero 1,000 lps, a través de lagunas en las estribaciones de la sierra de Sta. Catarina.

INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO A NIVEL TERCARIO		
NOMBRE	DELEGACION	GASTO EFLUENTE l/cd
Rosario (d)	Azacapotzalco	25
Iztacalco (c)	Iztacalco	15
Cerro de la estrella (d)	Iztapalapa	4,000
San Luis Tlaxualtemalco (f)	Xochimilco	150

INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO A NIVEL SECUNDARIO		
Ciudad Universitaria (a)	Coyoacán	60
Coyoacán (a)	Coyoacán	800
Tlatelolco (a)	Cuauhtémoc	22
Acueducto Guadalupe (a)	Gustavo A. Madero	100
San Juan de Aragón (a)	Gustavo A. Madero	500
Ciudad Deportiva (a)	Iztacalco	230
Bosque de las Lomas (b)	Miguel Hidalgo	55
Chapultepec (a)	Miguel Hidalgo	160
Campo Militar No. 1 (e)	Naucalpan de Juárez	30
San Juan Ixtayopan (e)	Tláhuac	15
Tetelco (e)	Tláhuac	15
Abasco (e)	Tlalpan	15
H. Colegio Militar (e)	Tlalpan	20
Parres (e)	Tlalpan	7
Perrex (a)	Tlalpan	25
Xicalco (e)	Tlalpan	8
Reclusos Sur (e)	Xochimilco	30

- (a) Tratamiento secundario con lodos activados convencional más desinfección con cloro
 (b) Tratamiento secundario con lodos activados en su modalidad de aereación extendida
 (c) Tratamiento terciario con (a) más filtración con grava, arena y antracita
 (d) Tratamiento terciario con (c) más adsorción en carbón activado
 (e) Tratamiento terciario con (c) más tratamiento de lodos
 (f) (a) más tratamiento de lodos

CAPÍTULO 2

2. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

A) INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural, renovable pero relativamente escaso o muy escaso en muchos países. Con el desarrollo de la sociedad, y correspondientemente de las ciudades, y la necesidad de un saneamiento adecuado, se han desarrollado los sistemas de acueducto y alcantarillado, así como el tratamiento de residuales captados por éstos.

Sin embargo, la secuencia lógica de desarrollo de sistemas de acueducto y alcantarillado incluyendo el tratamiento de las aguas residuales no siempre ha sido respetada; los sistemas de alcantarillado pueden resultar costosos, en dependencia de las condiciones locales (topografía, geología y otros), al igual que los requerimientos de las instalaciones de tratamiento, por lo cual muchas aglomeraciones urbanas, principalmente en los países del Tercer Mundo, carecen de estas facilidades. A la vez, la demanda de agua potable se ha incrementado, al igual que los costos de la obtención de la misma, llegándose al punto de que en algunas zonas estos costos pueden resultar similares a los costos de captación, tratamiento y reutilización de los residuales para usos no potables.

El mayor contaminante de las aguas naturales es la descarga de aguas residuales provenientes de las ciudades y de las industrias; el resultado de esta contaminación se

refleja en modificaciones importantes de las propiedades del agua natural por la vía de:

a) reducción del contenido de oxígeno disuelto, por la bioxidación de compuestos orgánicos de las aguas residuales;

b) descomposición orgánica de aguas residuales con altos contenidos de sólidos sedimentables;

c) eutroficación de las aguas naturales por aporte de nutrientes, referido esto a compuestos de nitrógeno y de fósforo.

Por otra parte, las aguas residuales, en dependencia de su origen, pueden presentar efectos excepcionalmente tóxicos, en particular aquellas que contienen los siguientes componentes:

- solventes orgánicos;
- compuestos orgánicos halogenados;
- compuestos orgánicos fosforados;
- sustancias con efectos cancerígenos demostrados;
- cianuros y fluoruros;
- metales pesados, en especial el mercurio y el cadmio y compuestos de los mismos;
- organismos patógenos y huevos viables de parásitos.

En consecuencia, los residuales deben ser tratados antes de su vertimiento a un cuerpo receptor con dos objetivos fundamentales:

a) reducir las posibilidades de propagación de enfermedades por los diferentes patógenos del residual;

b) evitar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

Estos objetivos son interdependientes, ya que un cuerpo de agua contaminado es una fuente potencial de infecciones y enfermedades, especialmente en los climas cálidos.

Por otra parte, actualmente existe una preocupación cada vez mayor por los aspectos de la contaminación del medio en general, en el sentido de que esto puede ser incluso más grave por sí mismo que cualquiera de los objetivos anteriores, por lo cual el tratamiento de los residuales debe enfocarse tanto desde el punto de vista ecológico como del correspondiente al mejoramiento de la salud humana. A pesar de esto, en muchos países del Tercer Mundo, la falta de financiamiento ha impedido la ejecución de no sólo las instalaciones de tratamiento, sino también de los sistemas de alcantarillado, lo cual ha incidido seriamente en la salud de las poblaciones, ha afectado el desarrollo económico y social y también ha limitado el uso de una materia prima aprovechable.

En la práctica, una de las mejores formas de prevenir la contaminación de los cuerpos de agua es utilizar los residuales tratados para obtener beneficios a partir de diferentes producciones; entre ellos el riego de diferentes cultivos y la obtención de proteínas animales a través de la acuicultura, o de proteínas vegetales por la vía del cultivo de algas y lemnáceas.

En consecuencia los ingenieros sanitarios deben aprender a considerar las aguas

residuales no como un desecho, sino como una materia prima para otras producciones, lo cual facilitaría la solución de los problemas de contaminación.

B) VENTAJAS Y POSIBILIDADES DE LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Actualmente la utilización de aguas residuales para riego tiene una alta incidencia; un estudio reciente (1986) del Banco Mundial reveló que cerca del 80% de las aguas residuales de las ciudades del Tercer Mundo se utilizaban crudas para el riego de todo tipo de vegetales.

Las ventajas de la reutilización de las aguas residuales, al menos para el riego, son indudables, pudiéndose resumir en tres aspectos principales:

a) representa una disponibilidad adicional de agua, o al menos reducen las inversiones necesarias para la captación de la misma (en dependencia de la ubicación relativa de las áreas de riego);

b) se aprovechan los nutrientes de las aguas residuales las cuales normalmente tienen una proporción DBO:N:P del orden de 100:5:1;

c) se reduce la contaminación al medio, ya que en dependencia de la forma de aplicación de estas aguas a los cultivos se pueden remover en forma importante los contaminantes de las aguas.

El principal problema de la reutilización de los residuales está asociado con los riesgos de salud, siendo éste precisamente una de las principales restricciones para la reutilización en un campo más amplio.

Sin embargo, con la relativa escasez de los recursos hidráulicos en algunas zonas y territorios de distintos países, el incremento en los costos de captación, conducción y potabilización de aguas crudas para enfrentar las crecientes demandas de aguas para diferentes usos, y el desarrollo alcanzado en las tecnologías de tratamiento y recuperación de aguas residuales, cabe preguntar hasta dónde se pudiera considerar la reutilización de las aguas residuales para suplir las demandas de aguas de las ciudades.

Llegados a este punto, convendría analizar el problema desde al menos dos puntos de vista: el primero, lo que está ocurriendo realmente con las fuentes de agua cruda destinada a la potabilización, y el segundo, los riesgos reales de salud derivados de la reutilización.

En los últimos 15-20 años, en los países desarrollados ha existido una tendencia creciente a obtener agua potable segura, y más que esto, aguas "sin riesgos"; sin embargo, actualmente ha sido reconocido que en la práctica existe un gran volumen no planificado de reutilización de las aguas residuales incluso como parte de las fuentes de agua potable, si bien en forma indirecta, debido al vertimiento de efluentes a corrientes superficiales y subterráneas, las cuales son utilizadas posteriormente como fuentes de abastecimiento de agua.

Por otra parte, el público en general y las autoridades sanitarias en particular, se están dando cada vez más cuenta de los riesgos que están asociados con las fuentes de

agua potable consideradas como seguras, sin incluir en estos criterios la cantidad de nuevos contaminantes químicos que se detectan en estas aguas. En este sentido en la actualidad existen muchos criterios y preocupaciones acerca de los riesgos de salud asociados con una gran cantidad de compuestos químicos en las fuentes de agua potable y en las aguas tratadas, compuestos éstos cuya cantidad se incrementa a medida que se utilizan nuevas y más modernas técnicas de detección.

En adición a las preocupaciones históricas acerca de los peligros derivados de la presencia de patógenos y de sustancias tóxicas en las fuentes de agua potable, actualmente existe la preocupación en relación a elementos cancerígenos potenciales, enfermedades congénitas (deformaciones) y otros riesgos de salud. Muchas de estas últimas preocupaciones y criterios se han derivado de estudios de laboratorio en mamíferos que pueden haber resultado de aplicaciones masivas de sustancias sospechosas de ser cancerígenas, conjuntamente con la extrapolación de estos resultados como incidentes en la salud humana.

La consideración y evaluación de las sustancias potencialmente cancerígenas que puedan existir en las fuentes de agua para abastecimiento es cuestionable; por ejemplo, el Dr. Robert A. Neal, Presidente del Instituto de Toxicología de la Industria Química de Estados Unidos, expresó en una conferencia en Washington en abril de 1987 que estimaba que se requerirían al menos 10 años de investigación para definir el efecto sobre la salud de un grupo simple de compuestos como los trihalometanos. Por otra parte, el Dr. Bruce N. Ames, creador del "Test de Ames" para la mutagénesis utilizado internacionalmente, concluyó que los compuestos orgánicos derivados de la actividad del hombre en las fuentes de abasto de aguas son evidentemente insignificantes como causa del cáncer en los humanos, estimando que en la práctica, el 99.99% de los

carcinógenos que se ingieren por el hombre son de "fuentes tradicionales" tales como el cigarro, el café, el alcohol y los compuestos formados al freír y asar alimentos, así como los contenidos de algunos vegetales y en las especies.

La evaluación de la factibilidad de reutilizar aguas residuales tratadas para su utilización como parte de las fuentes de agua potable en una localidad específica requiere de una cuidadosa y profunda consideración de la tecnología, los costos y los riesgos de salud en cada caso. En la actualidad se cuenta con los procesos tecnológicos para tratar prácticamente cualquier tipo de agua residual y llevarla a una calidad potable.

Los costos del tratamiento de aguas residuales para alcanzar la calidad potable serían evidentemente altos, pero también los costos del tratamiento de aguas crudas de otras fuentes que puedan considerarse en el futuro para agua potable libre de riesgos pueden tener costos muy altos, y en la práctica, comparables con los anteriores, sobre todo si consideramos la ubicación relativa de las fuentes.

En adición a lo anterior, la consideración de los riesgos de salud por el consumo de agua recuperada, si éstos fueran absolutamente ciertos (que no lo son necesariamente), nunca se comparan con los riesgos de la vida normal. Por ejemplo, ¿cuáles son los riesgos, y cómo se comparan, de muerte por accidentes de todo tipo o por otro tipo de enfermedades, con los correspondientes a los resultados de laboratorio a que hemos hecho referencia anteriormente?... La comparación sería totalmente favorable a estos últimos, pero la inmensa mayoría de la población no hace estas comparaciones.

Lo anterior no constituye una apología a la utilización de aguas residuales tratadas para el consumo humano, pero sí un llamado a la evaluación objetiva de los riesgos y de los costos, tomando en cuenta la disponibilidad previsible de nuevas fuentes y el costo de potabilización y conducción de las mismas, así como el hecho de que la mayor parte de las fuentes de agua cruda está sujeta a la contaminación por aguas de drenaje, sustancias provenientes del aire, y especialmente en el caso de las aguas subterráneas, a un número indeterminado de contaminantes no previsibles; se señala que, en la práctica, el monitoreo de estas aguas normalmente es menos intenso que el que se lleva a cabo para reutilización de aguas recuperadas.

En relación con los patógenos se puede demostrar que es totalmente factible la eliminación de los mismos, por lo cual su incidencia en la salud humana, con aguas tratadas apropiadamente, es prácticamente nula.

En consecuencia, y a partir de todas las consideraciones anteriores, el tratamiento y recuperación de aguas residuales, y su utilización como aguas no potables se han convertido en parte consustancial de lo que podríamos denominar ética ambiental. Actualmente nadie niega o cuestiona la conveniente y necesaria reutilización de las aguas residuales recuperadas en muchas actividades económicas.

Las posibilidades de reutilización de aguas residuales recuperadas, además del riego de distintos cultivos, para el caso de áreas urbanas, se relacionan a continuación:

- Instalaciones Públicas:

- parques públicos, incluyendo estanques y fuentes;
- riego de césped en "parterres" y separadores;

- Instalaciones Industriales:
 - alimentación de calderas;
 - descarga de inodoros;

- Instalaciones Comerciales:
 - descarga de inodoros;
 - equipos de aire acondicionado central;

- Instalaciones Hoteleras:
 - riego de jardines;
 - riego de campos de golf;
 - equipos de aire acondicionado central;
 - limpieza de exteriores;
 - descarga de inodoros;

- Varios:
 - actividad de construcción;
 - lavados de carros;
 - limpieza de calles.

Por otra parte, se señala que aunque los usos de aguas residuales recuperadas pueden ser muy variados, normalmente no es factible tener más de una calidad de agua para la reutilización, y esta calidad debe ser siempre la necesaria para la condición de la reutilización más exigente.

A partir de la conveniencia de recuperar y reutilizar las aguas residuales, es necesario precisar algunas características particulares de las instalaciones de

recuperación de aguas, las cuales pueden resumirse en la forma siguiente:

a) el efluente de estas plantas será un producto y no un desecho; en consecuencia es imprescindible garantizar el cumplimiento de la calidad y cantidad del afluente de acuerdo a los parámetros de diseño, ya que una afectación o variación de los mismos produciría un impacto de consideración en la reutilización prevista;

b) la ubicación de las plantas debe corresponderse con los puntos y zonas donde serán utilizadas las aguas recuperadas, y no necesariamente en el punto más bajo del sistema de alcantarillado;

c) el sistema debe satisfacer la demanda, por lo cual habrá que considerar capacidades de almacenamiento para enfrentar las variaciones de demandas horarias; a la vez, estas capacidades de almacenamiento deberán ser cubiertas con el objetivo de prevenir el crecimiento de algas debido al alto contenido de nutrientes de estas aguas;

d) el sistema debe satisfacer también las variaciones estacionales de las demandas, lo cual puede lograrse en embalses (con dilución adecuada para evitar la eutroficación) o "almacenando" los volúmenes sobrantes en el mando subterráneo, siempre que éste no esté previsto como fuente de agua potable, o que la dilución que se obtenga satisfaga las normas de calidad de las fuentes de abasto para agua potable;

e) para asegurar el control en tiempo real de la calidad del agua recuperada será necesario medir sistemáticamente los siguientes parámetros:

- turbiedad, la cual, de acuerdo a algunas investigaciones, presenta además una alta correlación con la DBO y los S.S.T;

- cloro residual, el cual deberá mantenerse en un valor mínimo de 0,4 mg/l;
- control bacteriológico de las aguas, con niveles similares a las admisibles para fuentes de aguas potables.

Por último, y dado que los costos de la recuperación de las aguas usadas normalmente pueden ser inferiores a los costos reales de obtención de nuevas fuentes de agua potable, se ha establecido una tendencia a la utilización de sistemas dobles de abastecimiento de aguas, lo cual resulta una opción altamente atractiva en los lugares y zonas con recursos hidráulicos escasos o limitados.

C) CRITERIOS GENERALES SOBRE EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Actualmente se cuenta con el conocimiento de tecnologías establecidas y en desarrollo para el tratamiento y depuración de prácticamente cualquier tipo de agua residual. El o los sistemas de tratamiento a utilizar para un residual específico dependen de diferentes aspectos y factores, entre los cuales hay que destacar los siguientes:

- objetivos del tratamiento y características necesarias del efluente para su vertimiento o disposición posterior; en la práctica, no tendría sentido tratar un residual para cumplir una "norma" de vertimiento, si no se toma en cuenta la utilización posterior de los mismos, las posibilidades de dilución, los riesgos de salud y otros;
- aprovechamiento de las condiciones naturales locales, referido esto a la temperatura, horas de sol, ubicación relativa de la instalación en relación con las zonas

pobladas y topografía del lugar entre otros;

- costos relativos de la construcción de distintas instalaciones de tratamiento y eficiencia de las mismas en cuanto a la remoción de contaminantes y patógenos;

- costos y facilidades de operación y mantenimiento, tomando en cuenta los consumos de energía y los insumos para la operación, así como las necesidades de mano de obra y su calificación para estas actividades.

En general, puede afirmarse que las instalaciones que logran los objetivos o requerimientos para el aprovechamiento y disposición final de los efluentes con el mínimo de objetos de obra y de requerimientos de operación en cuanto a la intervención del hombre son las más apropiadas. En diferentes estudios realizados se ha evidenciado que cerca de la tercera parte de las instalaciones de tratamiento, al menos en el Tercer Mundo, no funcionan por problemas de operación y mantenimiento (incluyendo calificación del personal para estas actividades y disponibilidades de partes y piezas de repuesto), otra tercera parte funciona deficientemente por estas mismas causas y sólo el resto los hace adecuadamente. De lo anterior se podría concluir que una instalación de tratamiento ideal sería aquella cuyos efluentes cumplieren con los parámetros necesarios y que fuese capaz de funcionar con una intervención mínima del hombre, aún cuando su costo inicial fuese más alto que otras alternativas. En el Capítulo IV se discuten y analizan estas posibilidades.

D) RESUMEN

Las aguas residuales deben ser tratada antes de su vertimiento a un cuerpo

receptor, o con vistas a la reutilización de las mismas con dos objetivos fundamentales:

- a) reducir las posibilidades de propagación de enfermedades por los diferentes patógenos del residual;
- b) evitar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas y del medio en general.

Una práctica altamente conveniente es la reutilización de las aguas residuales, lo cual presenta varias ventajas, entre ellas:

- a) permite una disponibilidad adicional del recurso agua;
- b) se reducen los riesgos de contaminación;
- c) en el caso de la reutilización para riego se aprovechan los nutrientes de las mismas;
- d) en dependencia de la tecnología de tratamiento utilizada se puede además producir proteínas tanto vegetales como animales, así como recursos energéticos aprovechables.

Las tecnologías existentes actualmente permiten el tratamiento y depuración de prácticamente cualquier tipo de residual, así como la eliminación de los organismos patógenos, por lo cual los riesgos de salud asociados con los mismos pueden ser eliminados, o al menos reducidos a límites totalmente admisibles.

La selección de la tecnología de tratamiento a utilizar debe considerar, además

de los costos de inversión y la eficiencia necesaria de remoción de contaminantes y patógenos, los aspectos referidos a la operación y mantenimiento; se señala que minimizar los objetos de obra y los insumos energéticos y de importación, así como la intervención del hombre en la operación, resultan ser premisas básicas a tomar en cuenta para un buen diseño de estas instalaciones, sobre todo en las condiciones de los países del Tercer Mundo.

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN ORGÁNICO

Las aguas residuales de origen orgánico pueden provenir de asentamientos humanos, de industrias y de instalaciones agropecuarias entre otras. En el caso particular de los asentamientos humanos, (pueblos y ciudades) hay que considerar, además de los residuales humanos, los correspondientes a las industrias e instalaciones socio-económicas locales. En lo que sigue, se consideran las características generales de estos tres tipos de residuales.

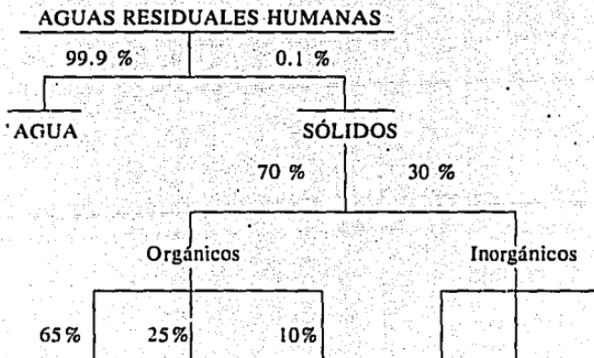
A) AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.

El residual humano está constituido por los excrementos y los residuales derivados de la higiene personal, la preparación de alimentos, el lavado de la ropa y el fregadero de utensilios, entre otros. Normalmente contiene sólidos de cierta dimensión en suspensión, (heces, envases y otros), sólidos pequeños también en suspensión, (heces parcialmente desintegradas, papeles, cortezas de vegetales, tierra) y también suspensiones coloidales, así como contaminantes en solución.

Las aguas residuales domésticas son peligrosas debido a una alta presencia de microorganismos patógenos. Contienen sobre todo bacterias E. Coli, las que generalmente son inocuas y suelen estar presentes en el tracto intestinal del hombre y de los animales de sangre caliente. Estas bacterias sirven como indicadores de la contaminación fecal, estimándose que aproximadamente entre 10^{11} y 10^{13} bacterias coli son evacuadas diariamente por una persona. Otros microorganismos patógenos también están presentes en las aguas residuales, en dependencia de las condiciones higiénico-sanitarias de la localidad y la morbilidad de enfermedades infecciosas entre otros.

Aparte de los organismos patógenos, en las aguas residuales domésticas también están presentes bacterias no patógenas que descomponen la materia orgánica mediante procesos de hidrólisis, reducción y oxidación. Además estas aguas contienen también hormonas, estimulantes y vitaminas provenientes de las excretas de personas y animales.

La composición aproximada, en forma esquemática, se muestra a continuación:



La fracción orgánica está compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas, la cuales constituyen, principalmente los dos primeros, el substrato alimenticio para los microorganismos. En adición a estos elementos se presentan un alto número de componentes químicos (detergentes, pesticidas, etc.) que deben ser considerados de forma general, pero que de acuerdo a su concentración pueden incidir en la necesidad de un tratamiento particular.

La mayor parte de las veces se caracterizan los residuales sobre la base de la concentración de distintos contaminantes e indicadores. Sin embargo, esta consideración puede llevar a resultados de dudosa validez, toda vez que la concentración de distintos contaminantes, sustancias y microorganismos dependen de varios factores, entre ellos:

- dieta y hábitos alimentarios de la población;
- instalaciones y facilidades domésticas;
- morbilidad de distintas enfermedades;
- dotación "per cápita" de agua potable;
- características del sistema de alcantarillado, considerando:
 - alcantarillados combinados o no;
 - tipos de tubos y de juntas utilizados;
 - nivel de las aguas freáticas en relación con el sistema de alcantarillado;
- régimen de lluvia y tipos de suelo de la localidad;

- conexiones clandestinas al sistema de alcantarillado.

Como se puede apreciar, la concentración de los distintos elementos y componentes de residuales dependen de factores que deben ser cuidadosamente evaluados, por lo cual a los efectos del diseño siempre deberá contarse con una caracterización del residual a tratar, aunque en muchas ocasiones, dado que el diseño del sistema de tratamiento debe anteceder a la existencia de un sistema de alcantarillado, será necesario utilizar analogías con localidades existentes o utilizar caracterizaciones típicas (con la necesaria consideración de reservas en el diseño).

Una mejor aproximación a la concentración de la carga contaminante puede derivarse del aporte "per cápita" de la DBO_5 , y considerar el volumen de agua que se aporta al alcantarillado en función de la dotación de agua potable, tomando en cuenta además los aportes por infiltración. Tal como hemos apuntado anteriormente, estos aportes dependerán de la dieta y hábitos alimentarios de la población y de las instalaciones y facilidades domésticas. Como elementos de juicio, a continuación se incluyen algunas cifras por países:

APORTE "PER CAPITA" DE DBO_5 (g / persona.día)

Kenya	23
Zambia	36
Sureste de Asia	43
Cuba:	
- campamentos de montaña	19
- asentamientos poblacionales periféricos	32

- ciudades promedio	42-54
India	30-45
Francia (zonas rurales)	24-34
Inglaterra	50-59
Estados Unidos de América	45-78

Una distribución tentativa de los aportes "per cápita" de DBO_5 por distintas actividades, para Estados Unidos de América y para países tropicales del Tercer Mundo podría ser la siguiente:

APORTE "PER CAPITA" DE DBO_5 - (g / persona.día)

<u>Concepto</u>	<u>Países</u>	
	<u>USA 1/</u>	<u>Tropicales 2/</u>
- Higiene personal	9	6
- Excretas		
· heces	11	11
· orina	10	10
· papel	2	2
- Fregado	6	8
- Disposición de basura	31	4/ -
- Lavado de ropa	9	5
TOTALES 3/	78	42

NOTAS: 1/ Fuente: K. Ligman et al.- J. Env. Eng. Div.,

ASCE, 10, 201 (1974)

- 2/ Estimados conservadores,
- 3/ Se consideran cáscaras y restos de comida.
- 4/ Desmenuzador de basuras instalado en fregadero
- 5/ Válido para personas adultas.

En consecuencia, y considerando los datos de las dos tablas anteriores, parece razonable considerar para países tropicales del tercer mundo una cifra de 40-45 g. DBO₅/persona.día como valor de diseño, y un máximo de 50 g. DBO₅/persona.día.

A los efectos de estimar la concentración de la carga contaminante hay que considerar la dotación de agua potable y las características del sistema de alcantarillado. La dotación de agua potable varía grandemente en diferentes países, desde cifras tan bajas como 100 l/hab.día hasta 500 l/hab.día en las grandes ciudades, en dependencia de la disponibilidad relativa del recurso agua, de las inversiones, los hábitos de consumo y del control y cobro sobre los servicios. En las condiciones de Cuba, la dotación "per cápita" para distintos tamaños de poblaciones es la siguiente:

DOTACIÓN DIARIA (litros/persona.día)

<u>Población</u> <u>(Mhab)</u>	<u>C.Domest</u>	<u>U.Com.</u>	<u>U.Publ.</u>	<u>Ind.Loc.</u>	<u>Perd.Sist.</u>	<u>Total</u>
< 2,0	145	87	44	15	9	300
2,0-10,0	160	96	48	16	10	330
10,0-25,0	175	105	51	18	11	360
25,0-50,0	190	112	57	19	12	390

50,0-100,0	200	116	59	20	15	410
100,0-250,0	215	125	62	22	16	440
250,0-500,0	220	132	66	23	19	460
> 500,0	225	135	68	23	19	470

NOTAS:

- **Uso Comercial:** Bares, restaurantes, cafeterías, hoteles, lavanderías, etc.
- **Uso Público:** Centros asistenciales y educacionales, edificios públicos, instalaciones deportivas, riego y limpieza de calles.
- **Total:** Incluye pérdidas en el sistema de entrega y distribución (15-20%).

Se señala que las dotaciones anteriores se refieren a las fuentes, y que en el sistema de acueductos se presentan pérdidas de consideración. El nivel de pérdidas (fugas) admisible es del orden del 15 al 20%, pero en la práctica, y particularmente en los países del Tercer Mundo estas pérdidas, según la experiencia, son considerablemente mayores estando en el orden del 30 al 40% y aún superiores, lo cual depende del estado técnico, la edad y las condiciones de construcción de la red y las acometidas.

Por otra parte, del total de agua potable suministrado a los consumidores, puede estimarse que se vierten al alcantarillado de un 60 a un 80% de las mismas, lo cual permite, a partir de la dotación de agua potable, calcular la concentración de contaminantes. Este cálculo debe corregirse tomando en cuenta la infiltración de aguas dentro del sistema de alcantarillado, el cual puede considerarse de la forma siguiente:

La infiltración puede variar desde 50 a 5000 litros por día por mm de diámetro de la tubería y por kilómetro, en dependencia de:

- tipo de tubos y de juntas;
- carga de agua freática por encima de la tubería de circulación;
- calidad de la construcción.

A los valores anteriores habría que añadirle un volumen de 300-400 litros/día por registro. En ensayos realizados en tuberías de 150 mm de diámetro, tanto de hormigón como de barro vitrificado con distintos tipos de juntas y de cargas sobre la rasante de circulación se obtuvieron desde infiltraciones despreciables (juntas de goma en tuberías de hormigón y PVC para cargas de hasta 0.7 m) hasta niveles de 35 600 litros por día por Km para tuberías de barro con juntas de yute. Se evidencia, por tanto, que con una construcción y materiales adecuados la infiltración puede despreciarse. Un criterio práctico de cálculo para la infiltración sería considerar un valor de 90 litros por día y por mm de diámetro y kilómetro de longitud, lo cual según criterio de la USEPA (1000 GPD/plg.milla) no es excesivo.

Con independencia de lo anterior, y a los efectos de brindar algunos elementos de juicio sobre la concentración de diferentes contaminantes, a continuación se presentan los rangos típicos de concentración clasificados en altos (fuertes), medios y bajos (débiles) para residuales humanos. Se señala que las cifras deben considerarse solamente como referencia, toda vez que la incidencia de grandes industrias o zonas comerciales pueden introducir variaciones de importancia en las cifras.

TABLA 2-1

CONCENTRACIONES CONTAMINANTES EN AGUAS RESIDUALES HUMANAS

Parámetro	Alto	Prom.	Bajo mg/l
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	350	200	100
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)	800	400	200
- Carbono Orgánico Total	300	200	100
- pH	7,5	7,0	6,5
- Sólidos Totales	1200	700	400
· Sólidos Suspendidos Totales	350	200	100
- Fijos	100	50	25
- Volátiles	250	150	75
· Sólidos Disueltos Totales	850	500	300
- Fijos	500	300	200
- Volátiles	350	200	100
- Sólidos Sedimentables	20	10	5
- Nitrógeno Total (como N)	60	40	20
- Amoníaco Libre (como NH ₃)	30	15	10
- Fósforo Total (como P)	20	10	5
- Cloruros (como Cl)	150	100	50
- Sulfatos (como SO ₄)	40	20	10
- Alcalinidad (como CO ₃ CA)	350	225	150
- Grasas	150	100	50

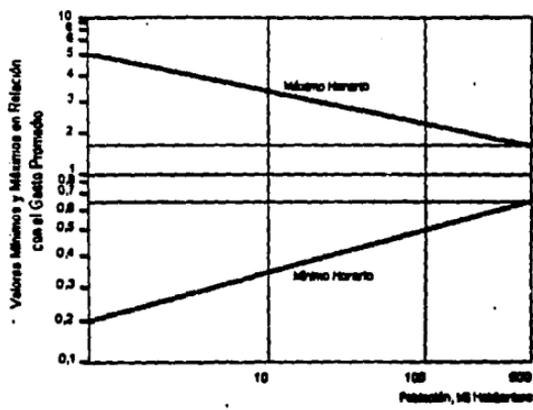
Variaciones de los Gastos

El gasto de circulación de los alcantarillados varía, como es conocido y evidente, en las distintas horas del día. Los sistemas de alcantarillado y las instalaciones de tratamiento deben ser diseñados para admitir los gastos picos; y a la vez, los gastos mínimos varían principalmente en función del tamaño de la población, presentándose gastos máximos horarios, máximos diarios, mínimos diarios y mínimos horarios.

Los gastos mínimos y mínimo horarios pueden estimarse a partir de **GRAFICO 2-2** a continuación:

GRAFICO 2-2. - Relación de los Valores Mínimo y Máximo Horario con el Gasto Promedio en Función de la Población Servida.

Fuente: Joint Committee of ASCE and WPCF (1969).



Para poblaciones entre 20 y 30 mil habitantes, la relación entre los distintos gastos puede tomarse en la forma siguiente:

<u>Gastos</u>	<u>Relación con el Gasto Promedio</u>
- Máximo horario.	3,0 : 1
- Máximo diario.	2,25 : 1
- Mínimo diario.	0,67 : 1
- Mínimo horario.	0,33 : 1

Por otra parte, como es conocido, los sistemas de alcantarillado funcionan normalmente a gravedad, con las conducciones parcialmente llenas, lo cual permite amortiguar los "picos"; para manejar adecuadamente los gastos en sistemas pequeños, los conductos secundarios pueden diseñarse para conducir de 2 a 4 veces (ver GRAFICO 2-2) el gasto promedio diario en cada turno de conducción. Los "picos" son atenuados por la capacidad de almacenamiento del sistema, lo cual a su vez depende de la configuración geométrica y de la pendiente del área (los sistemas alargados y de poca pendiente permiten una mayor atenuación).

Las instalaciones de tratamiento, a su vez, se deberán diseñar para manejar al menos el doble del gasto promedio diario.

Variaciones de la Carga Contaminante

Al igual que los gastos, la carga y las concentraciones contaminantes de las aguas residuales humanas en los sistemas de alcantarillado varían en las horas del día.

Se señala que la obtención de muestras representativas para la caracterización de los residuales tomando en cuenta todos los aspectos considerados implica un análisis casuístico, lo cual debe realizarse a partir de los gráficos de variación de los gastos y de la DBO₅.

B) AGUAS RESIDUALES DE INSTALACIONES PECUARIAS.

Al igual que para los residuales humanos, se ha considerado más conveniente referirnos al aporte de carga contaminante de distintos animales y no a la concentración de los mismos en las aguas residuales, ya que este parámetro depende de varios factores que se relacionan más adelante. En la TABLA 2-2 se presenta una composición de los residuales de algunos animales, con excepción del ganado vacuno y caballar, dado que la composición de las aguas residuales de estos últimos varían ampliamente en dependencia de los objetivos y tecnologías de producción; los datos que se presentan pueden utilizarse como base de cálculo preliminar, ya que siempre será necesario precisar con el inversionista los datos a utilizar para proyectos específicos dado que la composición de los residuales de cada tipo de granja y animal es variable en función de los principales factores siguientes:

- tipo y raza del animal (características genéticas);
- tipo de alimentación (dieta);
- tipo y objetivos de la granja (rústica, semirústica, ceba, producción de leche, etc.);
- tecnología de producción y limpieza, lo cual incluye el agua para alimentación, así como los problemas derivados por consumos excesivos de agua y el desperdicio y arrastres de alimentos.

En el caso particular de los residuales porcinos, y tomando en cuenta la carga contaminante que aportan estos animales, se ha preparado la TABLA 2-3, donde se ha incluido la información disponible de distintos autores y países, así como experiencias y mediciones realizadas en Cuba. Los datos que aparecen en la TABLA 2-3 se han elaborado teniendo en cuenta que:

- a) el alimento principal de los puercos es en base de pienso seco, pienso líquido y miel (de caña);
- b) dado que el tipo y objetivos de las granjas porcinas es diferente (reproducción, ceba, granjas integrales, etc.), y consecuentemente la población es diferente, los datos están referidos a "puercos equivalentes" de 100 kg.
- c) la limpieza con agua; la norma de consumo de 50 litros/puerco equivalente incluye, además, el consumo del animal y la preparación del pienso líquido;
- d) el 90% del agua se consume durante un periodo de 12 horas durante el día.

A partir de los datos de las TABLAS 2-2 y 2-3 es posible estimar considerando el volumen de agua que participaría en la composición de los residuales según lo indicado anteriormente. Al igual que para los residuales de origen humano, se producirán gastos máximos y mínimos, tanto diarios como horarios, y habrá una concentración también variable de la DBO, lo cual deberá tomarse en cuenta para el diseño de las instalaciones de tratamiento.

C) AGUAS RESIDUALES DE ORIGEN ORGÁNICO

En la industria, el agua se utiliza como materia prima, como un medio de producción (agua de proceso) y para fines de enfriamiento.

Las aguas residuales de origen orgánico de procesos industriales pueden presentar variaciones de importancia en cuanto al volumen y a la concentración de distintos contaminantes. Además de la evidente diferencia de las aguas residuales para cada tipo de industria, inciden en la concentración de los contaminantes los siguientes factores:

- tecnología del proceso (procesos secos o húmedos);
- utilización o no de recirculación de aguas;
- dimensiones de las plantas;
- forma de operación (proceso continuo, por turnos, por campaña, etc.);
- variedad de las producciones.

De nuevo, la caracterización de las aguas residuales para el tratamiento de las mismas es una condición obligada, tanto considerando las concentraciones de distintos contaminantes como la variación de los gastos. Como referencia, y a modo de orientación, en la TABLA 2-4 se incluyen algunos valores típicos de las aguas residuales de distintos procesos industriales de productos de origen vegetal y animal, referidos a las "unidades de fin" (cabezas, toneladas, litros, etc.) así como algunos valores de las concentraciones más probables, bien entendido que las mismas deberán ser rectificadas de acuerdo a la tecnología de producción que se esté considerando.

D) RESUMEN.

La concentración de distintos contaminantes en las aguas residuales depende de muchos factores, y por lo tanto es preferible utilizar la carga de contaminantes aportada "per cápita" o por unidad de fin y calcular el aporte de agua que correspondería en función de la tecnología de producción, facilidades instaladas y otros.

La mejor práctica de la caracterización de los residuales a tratar de cada localidad o instalación, incluyendo tanto los contaminantes como la variación de los gastos durante el día; como segunda opción se pueden utilizar datos provenientes de instalaciones análogas. La utilización de datos "típicos" debe hacerse con reserva, y sólo para cálculos preliminares.

La composición de muestras integradas tiene reglas de procedimiento que deben ser respetadas.

Un aspecto de importancia a los efectos del cálculo de las concentraciones es el posible aporte de aguas pluviales en dependencia de las condiciones de los colectores para la conducción de los afluentes a la instalación de tratamiento.

En relación a los organismos patógenos, las concentraciones previsible's se comentan en el Capítulo-III.

TABLA 2-2

UM: kg/cabeza/día

CARACTERÍSTICAS PROMEDIO DE RESIDUALES PECUARIOS.

Fuente: FEEDLOTS, USEPA, Enero de 1974.

CONCEPTO	Puercos	Pollos	Ovejas	Carceros	Pavos
- Peso promedio del animal, kg.	45	1	68	39	11
- Tipo de instalación y forma de recogida de las excretas.	Piso ranurado y vía húmeda	Fresco	50% de estabulación	50% de estabulación	Fresco
- Total de excrementos (promedio).	7,7	0,059	3,6	2,04	0,68
- Humedad (agua).	7,5	0,042	2,6	1,47	0,51
- Sólidos secos.	0,2	0,017	0,97	0,56	0,17
- Sólidos volátiles.	0,	0,013	0,79	0,42	0,11
- Sólidos en suspensión.	0,07	s/i	s/i	s/i	s/i
- pH.	7,5	s/i	6,9	6,9	6,7
- DBO ₅ .	0,09	0,004	0,08	0,046	0,039
- DQO.	0,25	0,016	1,1	0,63	0,118
- Nitrógeno total.	0,02	0,011	0,032	0,018	0,008
- Nitrógeno (amoníaco).	0,011	s/i	0,003	1,6x10 ⁻³	0,004
- Fósforo total.	0,064	0,010	8,9x10 ⁻³	0,005	0,007
- Potasio total.	0,009	0,011	0,039	0,023	0,003
- Mag. esio.	0,002	0,3x10 ⁻³	0,004	0,003	0,1x10 ⁻³
- Sodio.	0,002	0,3x10 ⁻³	0,006	0,003	0,5x10 ⁻³

TABLA 2-3

UM: kg/día

CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUALES DE INSTALACIONES PORCINAS.

CONCEPTO	Referencias		Experiencias de Cuba		
	1	2	CNIC 3/	CIRH 4/	CIRH 5/
- Demanda Química de Oxígeno. (DQO)	0,69	0,25	2,088	0,656	1,666
- Demanda Bioquímica de Oxígeno. (DBO ₅)	0,34	0,09	0,976	0,334	1,108
- Relación DBO ₅ : DQO, en %	49	—	47	51	66
- Sólidos totales. (ST)	0,76	0,2	1,206	0,628	1,182
de ellos, volátiles. (STV)	0,68	—	0,914	0,452	0,840
- Relación STV : ST, en %	—	—	76	72	71
- Sólidos disueltos totales. (SDT)	—	—	0,630	0,379	0,659
de ellos, volátiles. (SDV)	—	—	0,408	0,277	0,459
- Relación SDV : SDT, en %	—	—	65	73	70
- Sólidos en suspensión totales. (SST)	—	0,07	0,576	0,249	0,523
de ellos, volátiles. (SSV)	—	—	0,506	0,175	0,381
- Relación SSV : SST, en %	—	—	88	70	73
- Nitrógeno Total. (N)	0,043	0,02	0,071	—	0,044
- Amoniaco. (NH ₃)	0,023	0,01	—	0,035	—
- Fósforo Total. (P)	0,007	0,06	0,037	—	0,014
- Fosfatos. (PO ₄)	—	—	—	0,010	—

E) OBSERVACIONES:

- 1/ La Referencia 1 corresponde al "promedio" de 8 trabajos de diferentes autores y países.
- 2/ Corresponde a la publicación "Feedlots", U.S.E.P.A., Enero/74; en este caso, los animales tenían un peso promedio de 45 kg, en piso ranurado y con limpieza por vía húmeda, incluyendo una biodegradación del 20%.
- 3/ Trabajos de investigación del Ing. Silvio Montalvo, del Centro Nacional de Investigaciones Científicas (CNIC) de Cuba.
- 4/ Trabajos realizados por el Centro de Investigaciones de Recursos Hidráulicos (CIRH) de Cuba, en dos granjas porcinas de 20,000 cabezas, con muestreos integrados de 24 horas; en este caso, la alimentación incluía miel de caña en una proporción menor al 20% de la dieta básica a partir de pienso líquido.
- 5/ Ídem anterior, pero con una proporción de miel de caña superior al 60%.

Tabla 2-4

CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUALES ORGANICOS DE INDUSTRIAS SELECCIONADAS

<u>TIPO DE INDUSTRIA</u>	<u>Unidad de fin</u>	<u>Carga DBO (kg/UF)</u>	<u>Cant. de aguas residuales (m³/UF)</u>	<u>Concentración DBO₅ (mg/l)</u>
<u>Procesamiento de Alimentos</u>				
- Productos Lácteos	Ton. de leche	0,5 - 3	0,5 - 3	800 - 1200
- Fabricación de leche condensada	Ton. de leche	1,6 - 4,4	3 - 5	500 - 1000
- Fabricación de helados	Ton. de helados	8 - 10	4 - 6	1500 - 2200
- Mataderos				
. Vacuno (400 kg de peso vivo)	animal	2,4 - 10,4	0,6 - 9,6	1200 - 4000
. Cerdo (100 kg de peso vivo)	animal	0,4 - 2,1	0,3 - 0,4	1000 - 5000
. Aves	100 cabezas	0,6 - 3,0	0,2 - 0,4	3000 - 6000
- Procesamiento de pescado	Ton. de pescado	40	24	1300 - 2000
- Cervecerías (no incluye la elaboración de malta)	HI de cerveza	0,4 - 2,7	0,4 - 1,2	800 - 2500
- Fábricas de refresco	1000 botellas	1,24	1,9	700 - 800
- Fábricas de jugos	1000 litros	2,1 - 6,8	2,6 - 13,5	500 - 800
- Fábricas de conservas				
. Tomates	Ton.	2,1 - 5,5	1,8 - 3,6	1000 - 1800
. Remolacha		15 - 20	4,5 - 35	500 - 3500
. Frijoles		4 - 8	14 - 23	3000 - 5000

2.2 ELEMENTOS DE MICROBIOLOGÍA, REMOCIÓN DE ORGANISMOS PATÓGENOS

A) INTRODUCCIÓN

Los microorganismos acuáticos son de una importancia fundamental para el ingeniero sanitario, dado que los procesos de tratamiento biológico de los residuales dependen en gran medida de las bacterias, las algas y los protozoos. Por otra parte, algunas bacterias y unos pocos protozoos afectan la salud humana, al igual que un número importante de virus y otros animales superiores. Por lo tanto, el control de estos organismos patógenos es de la mayor importancia, y las instalaciones de tratamiento de residuales deben ser diseñadas para eliminar al máximo los mismos, de forma tal de minimizar los riesgos a la salud pública que resultan de la disposición de aguas residuales insuficientemente tratadas.

Se señala, sin embargo, que los microorganismos en general tienen un rol positivo en el tratamiento de los residuales; las bacterias resultan ser los principales degradadores de la materia orgánica, y por lo tanto en los diseños de instalaciones de tratamiento biológico es necesario crear las condiciones para el máximo crecimiento de las mismas, con el objetivo de lograr mayores tasas de oxidación; las algas, por su parte, en el proceso de fotosíntesis producen también el oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica, lo cual es imprescindible en el funcionamiento de sistemas de lagunas de oxidación. Los protozoos, a su vez, son importantes depredadores, alcanzando poblaciones relativamente altas en las aguas contaminadas, y dado su carácter holozoico, resultan ser un factor importante en la destrucción de microorganismos patógenos aunque también afectan al resto de los microorganismos.

Por otra parte, también resultan de importancia para el ingeniero sanitario los animales y plantas superiores; de ellos, y por su incidencia en la salud humana, nos referiremos principalmente a los anélidos, nemátodos y platelmintos; en el caso de las plantas acuáticas, resultan de interés las espermofitas, tomando en cuenta la capacidad de algunas de ellas para la depuración de residuales.

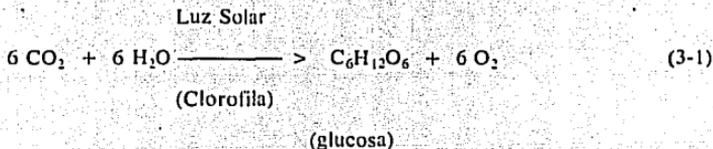
En lo que sigue, se presentan los aspectos y consideraciones más importantes para el ingeniero sanitario, con un ordenamiento no necesariamente formal, desde el punto de vista de la biología. Por lo tanto, partiremos de una agrupación de las algas, las bacterias y los protozoos, (los "protistas"), que algunas autoridades consideran que forman un "reino" separado antecesor de los reinos animal y vegetal, tal como se indica en el ESQUEMA a continuación:

Seres	REINO	REINO
<u>Superiores</u>	<u>VEGETAL</u>	<u>ANIMAL</u>
"Protistas"	ALGAS	HONGOS
<u>Superiores</u>		
"Protistas"	ALGAS	BACTERIAS
<u>Inferiores</u>	<u>VERDI-AZULES</u>	

B) PLANTAS PRIMITIVAS (Talofitas).

Las Talofitas están representadas por las especies pigmentadas solamente, o sea las algas, de estructura muy simple. Las células de las algas de aguas frescas son generalmente microscópicas, variando desde algunas micras a decenas de micras. La

clorofila y pigmentos similares caracterizan las diferentes familias de algas, y estos pigmentos posibilitan la utilización de la energía solar para convertir el anhídrico carbónico en compuestos orgánicos por el proceso de fotosíntesis, según la siguiente reacción, que resulta ser una de las más importantes para el desarrollo de la vida:



En esta reacción, con el anhídrico carbónico como única fuente de carbono, se libera oxígeno, o sea, que las algas son autótrofos fotosintéticos, derivando energía a partir de sustancias inorgánicas simples con la ayuda de la luz del sol.

C) HONGOS ACUÁTICOS, VIRUS Y BACTERIAS.

Este agrupamiento presentado como categoría se debe a que la morfología y fisiología de los hongos, virus y bacterias son lo suficientemente diferentes a los animales y plantas acuáticas. Por otra parte, este ordenamiento está dirigido a la consideración de aspectos de importancia en el manejo de la calidad de las aguas, y en particular a:

- a) la selección de diferentes organismos y microorganismos como indicadores de la contaminación.
- b) la relación de las poblaciones acuáticas con la degradación de diferentes sustancias contaminantes.

Existe una enorme cantidad de hongos acuáticos, virus y bacterias. En los tres grupos se encuentran patógenos al hombre y a los animales superiores, aunque la mayor parte de las especies son depredadores que además recirculan elementos nutricionales esenciales en el medio ambiente. Ninguno de ellos contiene clorofila, aunque existen bacterias con pigmentos capaces de utilizar energía radiante para la síntesis de la materia orgánica. Más aún, existen bacterias no pigmentadas que pueden sintetizar sustancias orgánicas a través de reacciones químicas inorgánicas. Los virus resultan ser los menos suficientes, constituyendo parásitos obligados que dependen totalmente de las células vivas de los organismos hospederos para sus funciones de crecimiento y reproducción.

Hongos Acuáticos.

Todos los hongos excepto las levaduras y los hongos muy pequeños se presentan como filamentos ramificados o formando un micelo. La reproducción es por esporas. Tres ramas de hongos son acuáticos, a saber: los Ficomicetos, los Ascomicetos y los hongos imperfectos.

Los hongos son estrictamente heterótrofos, y la mayor parte de ellos son aerobios; la mejor temperatura para su desarrollo está entre los 20 y 30° C. Pueden vivir en un rango amplio de pH (entre 4 y 10) y por sí mismos pueden modificar el pH por la vía de producir tanto ácidos orgánicos por procesos de fermentación, como amonio.

Virus.

El término virus se aplica a un grupo específico de agentes infecciosos de dimensiones mínimas, capaces de pasar a través de filtros ultramicroscópicos. Una partícula típica de virus consiste en una envoltura externa de proteínas que engloba grandes moléculas de ácido nucléico, y en rigor se ubican en la frontera de los seres vivos. Debido a sus dimensiones, los virus carecen de los sistemas bioquímicos necesarios para las funciones metabólicas características de una célula, y en la práctica su organización le permite solamente la reproducción, a partir de invadir y actuar como parásitos de células mayores.

Un grupo de virus, los bacteriófagos, son agentes infectivos y depredadores de las bacterias y por lo tanto pueden jugar un papel de importancia en la reducción de bacterias patógenas en aguas contaminadas. Otros virus pueden atacar a las algas y eventualmente a plantas acuáticas superiores.

Numerosos virus pueden infestar el tracto intestinal de los animales superiores. Un gramo de heces humanas puede contener hasta 10^9 partículas de virus infecciosos con independencia de que se manifiesten o no síntomas clínicos de enfermedad. Normalmente la concentración de diferentes virus infecciosos puede llegar al orden de 10^5 , lo cual depende principalmente del nivel de higiene de la comunidad, de las enfermedades existentes en la misma y de la época del año, entre otros. Por estas razones, la concentración de virus en las aguas residuales varía grandemente; en este caso se señala que la mayor parte de la información está referida a los enterovirus y a los reovirus, siendo escasa la referida a otros tipos de virus. Otro aspecto de importancia es que los virus excretados pueden sobrevivir varias semanas en el medio

VIROS PATÓGENOS EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Virus	Número de Tipos	Enfermedades
- Enterovirus:		
· Polivirus	3	Meningitis, parálisis, fiebre.
· Ecovirus	31	Meningitis, diarrea, fiebre, enfermedades respiratorias.
· Coxsackievirus	23	Meningitis, fiebre, enfermedades respiratorias.
· Coxsackievirus	6	Miocarditis, anomalías congénitas del corazón, pleurodinia, enfermedades respiratorias, fiebre, meningitis.
· Nuevos Tipos (del 68 al 71)	4	Meningitis, conjuntivitis hemorrágicas agudas, fiebre, enfermedades respiratorias.
· Hepatitis Tipo A.	1	Hepatitis infecciosa.
-Norwalk.	1	Diarrea, vómitos y fiebre.
- Calcivirus.	1	Gastroenteritis.
- Astrovirus.	1	Gastroenteritis.
- Reovirus.	3	No precisadas.
- Rotavirus.	2	Diarrea, vómitos.
- Adenovirus.	40	Enfermedades respiratorias, infecciones de los ojos.

ambiente, especialmente a temperaturas menores de 15° C.

Cinco grupos de los virus patógenos resultan ser especialmente importantes: los adenovirus, los enterovirus (incluyendo los polivirus), los de la hepatitis A, los reovirus y los rotavirus. En las aguas residuales se presentan más de 110 tipos diferentes de virus, según se indica en la TABLA 3-1, donde se han incluido además las enfermedades causadas por los mismos. Es de señalar que la lista de virus patógenos al hombre ha ido aumentando en los últimos tiempos, aún cuando no se cuenta en general con métodos de laboratorio para el estudio de todos los virus, lo cual debe ser un objetivo de investigación y desarrollo.

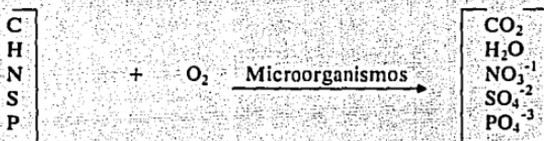
BACTERIAS

Las bacterias en general son organismos unicelulares de pequeño tamaño, variando en diámetros desde 0,5 hasta 1.5 μ , aunque pueden alcanzar dimensiones de hasta 10 μ . Se presentan en diversas formas, a saber:

- células esféricas (cocos) aisladas, agrupadas en pares (diplococos), en cuatro, en cadenas (estreptococos), en bultos, o en agrupaciones irregulares (estafilococos);
- células rectas, como barras, con los bordes casi cuadrados o redondeados (bacilos);
- células alargadas y curvadas, en forma de una "coma" (vibrio) o helicoidales (spirillum).

Las bacterias pueden formar además cápsulas celulares de espesores apreciables (esporas) y mantenerse latentes en condiciones adversas.

Las bacterias saprofiticas son las responsables principales del proceso de descomposición por el cual la materia orgánica en los residuales es bioquímicamente degradada y eventualmente mineralizada y estabilizada; esta mineralización puede representarse esquemáticamente en la forma siguiente:



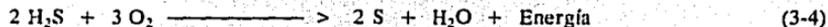
Las bacterias heterótrofas descomponen las sustancias carbonáceas y nitrogenadas; otras también reducen los nitratos y los sulfatos en presencia de oxígeno. Entre las bacterias autótrofas, las formas pigmentadas derivan energía por la fotosíntesis, y otras no pigmentadas por la vía de la quimiosíntesis, según se indica en las ecuaciones a continuación:

Bacterias pigmentadas



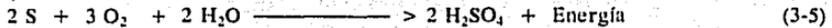
(glucosa)

Beggiatoa



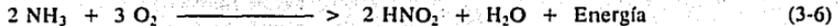
Quimiosíntesis

Beggiatoa



Quimiosíntesis

Nitrosomas



Quimiosíntesis

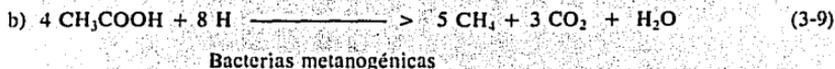
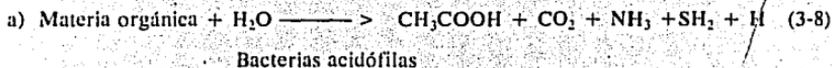
Nitrobacterias



Quimiosíntesis

La ecuación (3-3) difiere de la ecuación (3-1) en que se produce sulfato en lugar de oxígeno. Las bacterias del azufre, *Beggiatoa*, almacenan partículas de azufre y las oxidan a sulfatos cuando no hay sulfhídrico disponible. Las bacterias nitrificantes, esto es, las *Nitrosomonas* y las *Nitrobacterias*, utilizan la energía de reacciones químicas inorgánicas en presencia de oxígeno y de carbono como anhídrico carbónico o carbonatos; las primeras aprovechan y reducen el nitrógeno a partir de amoníaco, mientras que las segundas lo hacen a partir de los nitritos, ocurriendo ambos procesos en un medio alcalino. Otras bacterias autótrofas derivan energía a partir de la oxidación del metano y del hidrógeno; se señala que esta última reacción no debe confundirse con la resultante de la actividad de las bacterias heterótrofas que producen metano en condiciones anaeróbicas. En este último caso existen dos grupos de bacterias: las acidófilas y las metanogénicas; las primeras oxidan los compuestos orgánicos a ácidos

grasos, principalmente el acético, y en secuencia el segundo grupo convierte estos ácidos grasos a metano, según las siguientes reacciones generales:



Todas las bacterias son sensibles al pH y a la temperatura; el pH óptimo fluctúa entre 6.5 y 7.5, aunque algunas toleran niveles de pH tan bajos como 4.5 y otras valores tan altos como 9.5. En cuanto a la temperatura, existen tres grupos: las psicrófilas, las cuales se desarrollan a temperaturas entre 10° y 20° C, las mesófilas con mejor desarrollo entre los 20° y 40° C y las termófilas que medran a temperatura entre 45° y 60° C. En términos generales, las bacterias son menos sensibles al frío que al calor; a temperaturas bajas pueden permanecer en estado latente y sobrevivir largos periodos de tiempo; a altas temperaturas pueden formar esporas, pero en general son destruidas a temperaturas superiores a 80° C, aunque existen esporas que pueden resistir 100° C por cortos periodos de tiempo.

Desde el punto de vista de la incidencia en la salud humana, en la TABLA 3-2 se presentan las bacterias patógenas más comunes asociadas con las aguas residuales domésticas, así como las enfermedades asociadas con las mismas. La concentración de las mismas en los residuales varía, al igual que en el caso de los virus, con la morbilidad de distintas enfermedades en la comunidad.

TABLA 3-2

PRINCIPALES BACTERIAS PATÓGENAS EN LAS AGUAS RESIDUALES

Bacterias	Tipos o Especies	Enfermedades
- Salmonella.	1700	Tifus, paratífus, salmonelosis.
- Shigella.	(4 especies)	Disentería.
- Yersinia enterocolítica.		Gastroenteritis.
- Campilobacter jejuni.		Gastroenteritis.
- Vibrio cholera.		Cólera.
- Leptospira.		Leptospirosis.

NOTA: La Leptospira no es una bacteria acuática; las mismas son excretadas a través de la orina de animales portadores, principalmente roedores, y pueden infectar al hombre a través de las mucosas o pequeñas heridas en la piel que se contaminen con orina infectada. Sin embargo, pueden estar presentes en los sistemas de alcantarillado, constituyendo un riesgo potencial.

D) PROTOZOOS.

Sólo algunas especies de protozoos resultan ser patógenos al hombre. La mayor parte de los protozoos acuáticos son importantes depredadores; desde el punto de vista de su desarrollo, existen especies aeróbicas, anaeróbicas y algunas facultativas.

Las amebas resultan ser los animales más elementales; se mueven por pseudópodos y algunas pueden formar cistos esféricos muy resistentes. Los Flagelados poseen apéndices en forma de látigo, pudiendo ser pigmentados (Fitomastigóforos) o sin pigmentos (Zoomastigóforos). Los Ciliados presentan apéndices como pelos, pueden presentarse en grandes cantidades en las aguas contaminadas, y debido a su carácter holozoico, resultan de importancia en la destrucción de bacterias normales y patógenas.

Otros Ciliados resultan ser saprozoicos, utilizando los carbohidratos y proteínas solubilizados por las bacterias y otros microorganismos.

De los protozoos comunes en las aguas residuales sólo tres especies son de importancia por la transmisión de enfermedades al hombre a través de las aguas residuales domésticas (TABLA 3-3). Algunos estudios de los resultados de la desinfección de las aguas han demostrado que los cistos de *Giardia* son considerablemente más virus entéricos. Los niveles de cistos de *Giardia* en las excretas de personas infectadas pueden ser tan altos como $1-5 \times 10^9$ cistos/gramo, mientras que el nivel de concentración en aguas residuales domésticas crudas se estima en 10^4 cistos/litro.

TABLA 3 - 3

PRINCIPALES PROTOZOOS PATÓGENOS EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Protozoos	Enfermedades
- Entamoeba histolítica	Disentería amebiana, accesos hepáticos, ulceraciones del colon.
- Giardia Lamblia	Diarreas, deficiencias de absorción y nutrición.
- Balantidium Coli	Diarreas, ulceraciones del colon.

E) GUSANOS O HELMINTOS.

De los gusanos o helmintos hay sólo tres grupos que son acuáticos: los Anélidos, los Nemátodos y los Rotíferos. Los huevos de los Nemátodos y de los Platelminfos (aunque estos últimos no son realmente acuáticos), pueden sobrevivir en el agua e

infectar a los peces, y a través de éstos a los animales superiores, incluido el hombre. Por otra parte, con la excepción de los Rotíferos, el habitat preferido de estos parásitos es el sedimento de los fondos, resultando ser, además, importantes depredadores. Los Platelminfos, a su vez, se dividen en Céstodos y Tremátodos; los primeros son segmentados, y los segundos tienen un cuerpo simple y plano no segmentado.

Muchas especies de helmintos son parásitos del hombre, y algunos de ellos pueden causar enfermedades graves. Todos, excepto el Schistosoma hematobium, (agente de la esquistosomiasis urinaria, que es excretado en la orina), son excretados en las heces. El ciclo de la vida de los helmintos y las etapas de desarrollo, así como la mecánica de infección al hombre, pueden ser muy complejos.

En la TABLA 3-4 se relacionan los principales helmintos patógenos del continente americano y las enfermedades que producen. Los Anélidos pueden causar obstrucciones mecánicas (Ascaris Lumbricoides), prolapso rectal (Trichuris Trichiura) o anemia; los Platelminfos adultos afectan principalmente por la vía de consumo de nutrientes, y algunos pueden afectar el hígado o los pulmones.

TABLA 3 - 4

PRINCIPALES HELMINTOS PATÓGENOS

Helmintos	Enfermedades
- Ancylostoma duodenal.	
- Ascaris lumbricoides.	Ascariasis.
- Enterobius vermicularis.	Enterobiasis.
- Fasciola hepática.	Fasciolosis.
- Himenolepsis nana.	Himenolipiasis.
- Necator americanus.	
- Strongiloides stercoralis.	Estrongiloidiasis.

TABLA 3 - 4 (Cont.)

PRINCIPALES HELMINTOS PATÓGENOS

Helmintos	Enfermedades
- Taenia sanguinata.	Teniasis.
- Taenia solium.	Teniasis.
- Trichuris trichiura.	Tricuriasis.

F) IMPORTANCIA Y PRIORIDADES DE LA REMOCIÓN DE ORGANISMOS PATÓGENOS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

De acuerdo con las posibilidades de transmisión de enfermedades por la vía de las aguas residuales, tanto por el vertimiento a un cuerpo receptor, como por la disposición en suelos -que constituye una forma de tratamiento- y en particular

cuando se considera la reutilización de estas aguas, se hace imprescindible la remoción y eventual eliminación de los organismos patógenos. Las características generales de los microorganismos y correspondientemente de los patógenos han sido revisadas en los epígrafes anteriores, todo lo cual nos facilita analizar las probables consecuencias del vertimiento de residuales crudos al medio.

Se han llevado a cabo muchos estudios sobre la concentración y supervivencia de microorganismos patógenos (incluyendo virus, bacterias, protozoos y helmintos) en las excretas, las aguas residuales, los fangos, los suelos y los cultivos y su remoción o inactivación por los procesos de tratamiento de residuales. Se reporta la existencia de cientos de publicaciones técnicas, monografías e informes (incluso no publicados) sobre la materia en los últimos 50 años, lo cual permite estimar los problemas potenciales de salud asociados con la contaminación por aguas residuales ya sean crudas o con distintos grados de tratamiento.

A partir de la emisión de las excretas, la concentración de todos los patógenos normalmente disminuye debido a la muerte o la pérdida de infectividad de algunos de estos organismos. Los virus y los protozoos siempre disminuyen, pero las bacterias pueden multiplicarse si encuentran un medio propicio. Los helmintos (excepto los Tremátodos) también disminuyen.

La capacidad de los organismos presentes en las excretas para sobrevivir en el medio de una vez fuera del cuerpo humano se denomina persistencia, mientras que la latencia se refiere al intervalo de tiempo entre la emisión de las excretas y la capacidad de infección a un nuevo hospedero; algunos organismos, incluyendo todos los virus, bacterias y protozoos, no tienen periodo de latencia, y son capaces de producir

infecciones de inmediato. Los requerimientos para la disposición segura de excretas con estos organismos son diferentes a los que contienen helmintos que tienen periodos de latencia mucho más prolongados. En la práctica, la latencia tiene incidencia en la selección del proceso de tratamiento y disposición de los residuales. Por otra parte, un patógeno con una alta persistencia constituye un riesgo tanto a lo largo del proceso de tratamiento como en la reutilización de las aguas.

Los organismos patógenos pueden agruparse en función de la latencia y la efectividad en causar infecciones (enfermedades) a través de la contaminación con aguas residuales. En la TABLA 3-5 se muestran algunas características cualitativas de patógenos seleccionados, y a continuación se resumen en forma agrupada algunas de ellas:

TABLA 3 - 5

CARACTERÍSTICAS CUALITATIVAS DE LOS ORGANISMOS PATÓGENOS

Patógenos	Persistencia en el Medio	Dosis Mínima Infecciosa	Inmunidad	Vías de Infección Concurrentes	Necesidad de latencia en los suelos en la etapa de desarrollo
Virus	Media	Baja	Larga	Contactos en la casa; alimentos y agua	NO
Bacteria	Corta/Media	Media/Alta	Corta/Media	Idem.	NO
Protozoos	Corta	Baja/Media	Ninguna/Poca	Idem.	NO
Helmintos	Larga	Baja	Ninguna/Poca	Principalmente suelos y contactos fuera de las casas; alimentos.	SI

Aunque el resumen anterior es totalmente esquemático, permite establecer en términos generales una base para jerarquizar los grupos de patógenos en función de su efectividad potencial para transmitir enfermedades a través de la contaminación con aguas residuales. En teoría, las enfermedades debidas a los helmintos, en aquellas áreas donde son endémicas, serán las más efectivamente transmitidas debido a su alta persistencia en el medio, a las dosis mínimas inectivas y a la prácticamente inexistencia de inmunidad.

Los virus, por otra parte, deben ser los que menos eficientemente transmitan las

enfermedades de acuerdo a la inmunidad que se crea, a pesar de las bajas dosis infectivas y a su relativa persistencia en el medio; a partir de estos dos extremos, la transmisión de enfermedades por bacterias y protozoos por la misma vía y con los criterios utilizados se ubican entre los riesgos de aquellos.

Por lo tanto, los patógenos pueden ser jerarquizados en el siguiente orden ascendente de riesgos, lo cual se corresponde con las categorías de la TABLA 3-6.

TABLA 3-6

**ORDENAMIENTO ASCENDENTE DE LOS RIESGOS DE SALUD POR
DISTINTOS PATÓGENOS**

Riesgo	Categoría	Patógeno	Enfermedades
Mínimo	I	Virus	Gastroenteritis viral; hepatitis infecciosa.
Bajo	I	Protozoos	Amebiasis; giardiasis.
	II	Bacterias	Cólera; fiebre tifoidea, shigelosis.
Alto		Helmintos	
	III	a) Nematelmintos	
	IV	b) Platelmintos	

Es evidente, por lo tanto, que la eliminación de los patógenos de la III y IV Categorías (Helmintos) debe ser priorizada para la reutilización de residuales desde el punto de vista de los riesgos de la salud. Este criterio se reafirma a partir de los datos que aparecen en la TABLA 3-7 en relación al tiempo de supervivencia; efectivamente, los virus, protozoos y bacterias viven como máximo 120 días, aunque como promedio

menos de 50 (caso de los enterovirus en agua), y como "promedio" para todos estos patógenos en los distintos medios puede considerarse una supervivencia máxima de 50 días y un promedio de 20 días. Sin embargo, los Helmintos tienen tiempo de supervivencia mucho mayor, siendo de varios (muchos) meses.

Correspondientemente, y como se analiza en el Capítulo referente a la reutilización de las aguas residuales, los criterios modernos para la restricción en el uso de las mismas, referidos al riego, establecen como principal restricción la eliminación de huevos viables de helmintos.

G) REMOCIÓN DE PATÓGENOS EN LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO CONVENCIONALES.

Los diferentes patógenos se encuentran en concentraciones variables en las aguas residuales, pero a la vez son afectados en forma distinta por una tecnología de tratamiento determinada. En la TABLA 3-8 se resumen las eficiencias de remoción expresadas en unidades logarítmicas de varias tecnologías para diferentes patógenos; esta información fue incluida en el informe "Wastewater Irrigation in Developing Countries", WB Techn. Paper No. 51, 1986 de Shuval H. et al, y se basó en la revisión de numerosas publicaciones sobre estudios de laboratorio y de campo.

TABLA 3 - 8

**EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE PATÓGENOS EN DIFERENTES
TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO**

Fuente: "Wastewater Irrigation Developing Countries",

WB Techn. Paper No. 51

CM: Remoción en Unid. Log. 1/

PROCESO DE TRATAMIENTO	VIRUS	BACTERIAS	PROTOZOOS	HELMINTOS
- Sedimentación primaria	0-1	0-1	0-1	0-1
- Tanques Sépticos	0-1	1-2	1-2	1-2
- Filtros Biológicos	0-1	0-2	0-1	0-1
- Cieno Activado	1-2	2-3	1-2	1-2
- Sistema de lagunas de oxidación (20 días; 4 lagunas en serie)	2-4	4-6	4-6	4-6

NOTA: 1/Las unidades logarítmicas, v.gr. 3UL implican una remoción de 10^3 , o sea un 99,9%.

Como se puede apreciar, los sistemas de lagunas de estabilización son los únicos que garantizan remociones de patógenos del orden del 99,99% (4 unidades logarítmicas) y superiores.

A partir de los datos disponibles y de los cálculos teóricos se puede asumir que los principales parásitos (protozoos, patógenos y helminto) se encuentran en las aguas residuales urbanas en concentraciones que varían de 10 a 10³/litro. Para reducir en forma significativa los riesgos de salud, es necesario remover o inactivar más del 90% de estos parásitos.

Remoción por Sedimentación.

Los tratamientos primarios de separación mecánica y desarenadores no tienen incidencia en el contenido en la remoción de patógenos del agua. En los sedimentadores primarios con 2 o 3 horas de tiempo de retención se produce una remoción ya sea por sedimentación directa o por absorción dentro de sólidos que están en proceso de sedimentación.

Un cálculo teórico de las posibilidades de sedimentación sobre la base de la información disponible sobre el tamaño, forma y densidad de los huevos de los parásitos se realizó por Shuval (1977). Se consideró que estos huevos son partículas aisladas y no deformables, que la sedimentación ocurría según la Ley de Stokes, y se asumió que el periodo de aceleración era despreciable y que se alcanzaba la velocidad final de inmediato. Los resultados (velocidad de sedimentación) fueron los siguientes:

<u>Dimensiones</u>	Densidad	Forma	Velocidad Final	Velocidad de Sedimentación
--------------------	----------	-------	-----------------	----------------------------

Parásitos	(μm)	(g/cm^3)	Supuesta	(cm/seg)	(m/hora)
- Ascaris Lumbricoides	55 X 40	1,11	esfera	0,0181	0,65
- Trichuris Trichiura	22 X 50	1,15	CILINDRO	0,0426	1,53
- Schistosoma	50 X 150	1,18	CILINDRO	0,3386	13,55
- Taenia Saginata	36	1,1	esfera	0,0074	0,26
- Endoameba Histolítica	a) 5	1,1	esfera	0,0002	0,007
	b) 20	1,1	esfera	0,0033	0,11

De los resultados anteriores se evidencia que en sedimentadores con velocidad ascensional de 1,2 m/hora, se producirán remociones importantes de los parásitos con velocidad de sedimentación mayores que ésta, produciéndose remociones parciales de ascaris, "hookworm" y tenias (con velocidades de 0,65; 0,39 y 0,26 m/h) mientras que es poco probable que se produzca remoción alguna de ambas.

Por otra parte, las condiciones teóricas de sedimentación son afectadas por cortecircuitos, flujos no uniformes, presencia de detergentes y otras materias flotantes, todo lo cual incide en una menor eficiencia en la remoción, por lo cual, aunque teóricamente los helmintos con densidades mayores de $1,1 \text{ gm}/\text{cm}^3$ debían ser eliminados en gran medida, la realidad es que permanecen en concentraciones importantes después de una sedimentación primaria. Se recomienda por tanto utilizar la coagulación química como vía para una remoción efectiva de estos patógenos, o como alternativa, además de los sistemas de lagunas de estabilización, utilizar filtros lentos de gravedad.

Remoción de Parásitos por los Procesos de Tratamiento Convencionales.

Las posibilidades pueden resumirse en la forma siguiente:

- Los filtros biológicos no parecen ser eficientes en la remoción de huevos de helmintos y de cistos de protozoos, aunque se han reportado remociones de endoamebas histolíticas del orden del 83-99%; el proceso de cieno activado por sí mismo tiene poco efecto en los cistos de protozoos y en los huevos de helmintos aunque es previsible que se produzca una reducción importante de los huevos en la sedimentación secundaria, habiéndose reportado en algunas plantas remociones entre el 80 y el 100% de huevos de helmintos, aunque con resultados bastante variables;
- Los filtros rápidos pueden retener parcialmente los cistos de protozoos y los huevos de los helmintos a causa de sus dimensiones, mientras que los filtros lentos son capaces de retenerlos totalmente; la disposición de residuales en los suelos puede tener un comportamiento similar, siempre y cuando sean diseñados y operados correctamente y si no hay incidencias de contaminación del manto freático;
- La cloración de los efluentes no es eficiente para la eliminación de los cistos de protozoos, debido a que son más resistentes que los virus y que las bacterias; la mayor parte de los huevos de helmintos no son afectados por la cloración;
- Los sistemas de lagunas de estabilización resultan ser el proceso más

efectivo para la eliminación de los patógenos; integrando la información disponible se puede establecer que se logra prácticamente un 100% de remoción en sistemas de lagunas de estabilización multicelulares con más de 20 días de retención. (Ver GRÁFICO 3-1).

H) RESUMEN.

Los microorganismos son de una importancia fundamental para el ingeniero sanitario, dado que los procesos de tratamiento biológico de los residuales dependen en gran medida de las bacterias, las algas y los protozoos. Si bien el control de los organismos patógenos es fundamental, los microorganismos en general tienen un rol positivo en el tratamiento biológico de los residuales, y en la práctica, las bacterias pueden considerarse como minúsculos reactores autorregulables.

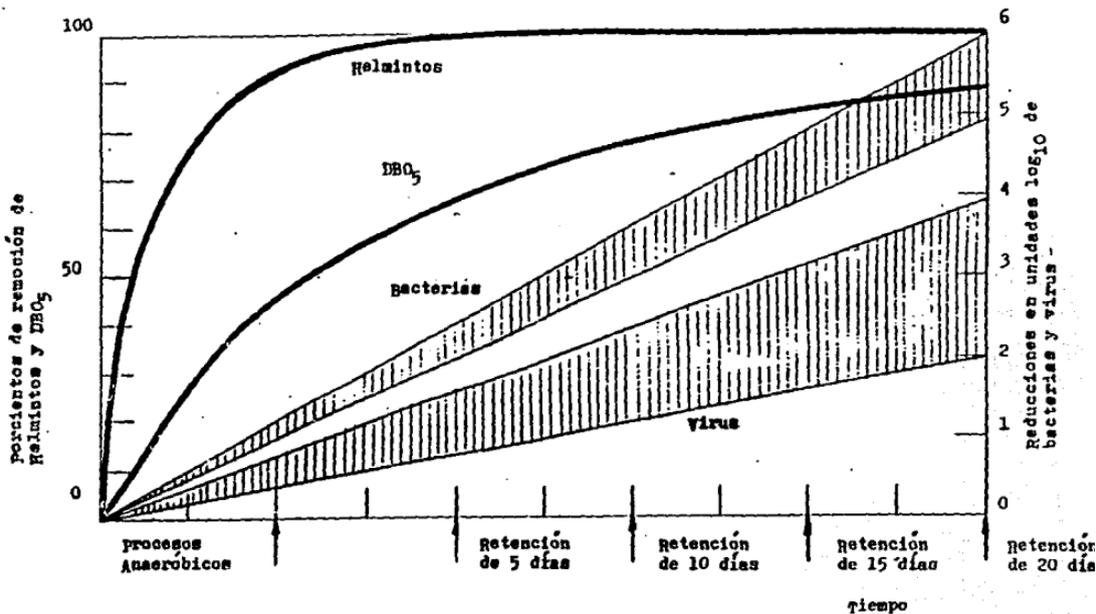
Las bacterias saprofitas mineralizan los elementos de la materia orgánica en presencia del oxígeno; las bacterias heterótrofas descomponen las sustancias carbonáceas y nitrogenadas, y otras reducen los nitratos y los sulfatos en presencia de oxígeno.

Sólo algunas especies de protozoos resultan ser patógenos al hombre, y la mayor parte de las especies acuáticas son importantes depredadoras.

Muchas especies de helmintos son parásitos del hombre y algunos de ellos pueden causar enfermedades graves.

De acuerdo a las posibilidades de transmisión de enfermedades se hace imprescindible la remoción y eventual eliminación de los organismos patógenos. En

CURVAS GENERALIZADAS DE REMOCION DE DBO. HUEVOS DE HELMINTOS, BACTERIAS EXCRETADAS
Y VIRUS EN LAGUNAS DE ESTABILIZACION PARA RESIDUALES URBANOS A TEMPERATURAS
SUPERIORES A 20°C



FALLA DE ORIGEN

TIEMPO DE SUPERVIVENCIA DE PATOGENOS SELECCIONADOS EN DIFERENTES MEDIOS.

TABLA 3-7

PATOGENO	CARGA EN LAS EXCRETAS			SIS MEDIA INFECTIVA	TIEMPO DE SUPERVIVENCIA DE PATOGENOS DE EXCRETAS EN DISTINTOS MEDIOS, A 20-30 °C, EN OJAS			
	1/	2/	3/		llozes y Fagos	Aguas Residuales y Limpias	Suelos (20°C)	Cultivos
<u>CATEGORIA I (Virus y Protozoos)</u>								
- Enterovirus	10 ⁷	0	3 meses	< 2x10 ²	< 100; PROM: < 20	< 120; PROM: < 30	< 100; PROM: < 20	< 60; PROM: < 15
- Hepatitis A	10 ⁶ (?)	0	(?)	< 2x10 ² (?)	(?)	(?)	(?)	(?)
- Rotavirus	10 ⁶ (?)	0	(?)	< 2x10 ² (?)	(?)	(?)	(?)	(?)
- Endoncha histolítica	10 ⁵	0	25 días	2x10 ²	< 30; PROM: < 15	< 30; PROM: < 15	< 20; PROM: < 10	< 15; PROM: < 10
- Giardia Lamblia	10 ⁵	0	25 días	2x10 ²	(?)	(?)	(?)	(?)

TAJUA 3-7 (Cont.)

PATÓGENO	CARGA EN LAS EXCRETAS			DOSIS MEDIA INFECTIVA	TIEMPO DE SUPERVIVENCIA DE PATÓGENOS DE EXCRETAS EN DISTINTOS MEDIOS, A 20-30 °C, EN LÍQUIDOS			
	1/	2/	3/		Heces y Fungos	Aguas Residuales y Limpias	Suelos (20°C)	Cultivos
CATEGORÍA II (Bacterias)								
- Coliformes Focales (E.Coli)	10 ⁸	0	3 meses	> 10 ⁶	< 90; PROM:<50	< 60; PROM:<30	< 70; PROM:<20	< 30; PROM:<15
- Salmonella spp.	10 ⁷	0	1 mes	> 10 ⁶	< 60; PROM:<30	< 60; PROM:<30	< 70; PROM:<20	< 30; PROM:<15
- Salmonella typhi	10 ⁸	0	3 meses	> 10 ⁶	(?)	(?)	(?)	(?)
- Otras salmonellas	10 ⁸	0	3 meses	> 10 ⁶	(?)	(?)	(?)	(?)
- Shigella spp.	10 ⁷	0	1 mes	> 10 ⁶	< 30; PROM:<10	<30; PROM:<10	(?)	<10; PROM:<5
- Vibrio Cholerae	10 ⁷	0	1 mes (?)	> 10 ⁶	<30; PROM:<5	< 30; PROM:<10	< 20; PROM:<10	< 20; PROM:<10
CATEGORÍA III (Helminetos)								
- Ascaris lumbricoides 6/	10 ⁴	10 días	1 año	< 2X10 ²	varios meses	varios meses	varios meses	varios meses

CARGA EN IAS EXCRETAS	LATENCIA	PERSISTENCIA	DOSIS MÉDIA INIECTIVA	TIEMPO DE SUPERVIVENCIA DE PATÓGENOS DE EXCRETAS EN DISTINTOS MEDIOS, A 20-30 °C, EN DÍAS			
				Heces y Fungos	Aguas Residuales y Limpias	Suelos (20%)	Cultivos
<u>PATÓGENO</u>	1/	2/	3/				
Ancylostom duode- nal. Necator ame- ricano 6/	10 ²	7 días	3 meses	< 2X10 ²	(?)	(?)	(?)
- Trichuris trichiura 6/	10 ³	20 días	9 meses	< 2X10 ²	(?)	(?)	(?)
<u>CATEGORÍA IV</u> (Helminos)							
- Fascia Saginata y T. Solium	10 ⁴	2 meses	9 meses	< 2X10 ²	(?)	(?)	(?)

NOTAS:

(?) No precisado

1/- Número promedio típico de organismos por gramo de excretas.

2/- Tiempo mínimo típico desde la deposición de excretas hasta la posibilidad (capacidad) de infección.

3/- Tiempo máximo estimado de la etapa infectiva a 20-30°C.

4/- Cistos.

5/- Se refiere a la Escherichia Coli.

6/- Huevos.

ESTA TESIS
NO DEBE
SALIR DE LA
BIBLIOTECA

correspondencia con los riesgos de salud, y tomando en cuenta la latencia y la persistencia de los patógenos, así como las dosis mínimas infectivas y la inmunidad posible a desarrollar, se concluye que el ordenamiento ascendente de los riesgos para la salud humana es el siguiente: virus, protozoos, bacterias y helmintos.

De la comparación general de los sistemas convencionales de tratamiento se concluye que los sistemas de lagunas de estabilización resultan ser con mucho los más eficientes en la remoción de organismos patógenos, seguidos (con una eficiencia del 50% en relación con la obtenida por las lagunas) por los procesos de cieno activado y finalmente con una eficiencia menor, por los filtros biológicos; en la práctica los procesos que permiten la eliminación de los helmintos (que resultan ser los patógenos de mayor riesgo para la salud) son en primer lugar los filtros lentos por gravedad, seguidos por los sistemas de lagunas de estabilización y eventualmente por los métodos de disposición en suelos.

2.3 OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

A) INTRODUCCIÓN

Según hemos analizado anteriormente, las aguas residuales deben ser tratadas de su vertimiento a un cuerpo receptor con los siguientes objetivos principales:

- a) reducir las posibilidades de propagación de enfermedades por los diferentes patógenos del residual;
- b) evitar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas;

- c) contribuir a la preservación de la calidad del medio ambiente en general.

Normalmente para lograr los objetivos anteriores será necesario, además de reducir los organismos patógenos a los límites requeridos para el vertimiento o para la reutilización, eliminar los elementos contaminantes de estas aguas, siendo los más frecuentemente encontrados los siguientes:

- sólidos en suspensión;
- sustancias orgánicas biodegradables;
- nutrientes, principalmente compuestos del nitrógeno y el fósforo;
- metales pesados;
- sólidos (sales) inorgánicos disueltos.

El tratamiento de las aguas residuales puede definirse como una combinación de operaciones y procesos unitarios, tanto físicos como biológicos y químicos. Un sistema o instalación de tratamiento ideal debería satisfacer los siguientes criterios:

a) de salud, en el sentido de que los organismos patógenos o de vectores que propicien la transmisión de éstos o de enfermedades sean eliminados al máximo de posibilidades de acuerdo al destino final de los efluentes;

h) ecológicos y de protección de las aguas interiores, tomando en cuenta que los efluentes no excedan la capacidad de autodepuración del cuerpo receptor o que por otra parte no comprometan la utilización posterior de los mismos;

c) de reutilización, con vistas a disponer de efluentes que puedan ser aprovechados en la agricultura (riego), en la producción de proteínas, tanto de origen

vegetal (cultivo de lemnáceas y de algas) como de origen animal (piscicultura) y eventualmente en otras actividades tales como limpieza de áreas exteriores, aguas de enfriamiento en la industria y otros;

d) de costos de inversión, en el sentido de que éstos, incluyendo la construcción civil sean mínimos, al igual que los insumos de importación, haciendo un máximo aprovechamiento de los materiales e insumos locales;

e) de costos de operación y mantenimiento, con el objetivo de minimizar los insumos de energía y de productos químicos, así como la reposición de equipos y componentes necesarios para estas actividades, con especial énfasis en la reducción de las necesidades de fuerza de trabajo calificada o no para las mismas;

f) culturales, tomando en cuenta que las instalaciones no sean "ofensivas" desde el punto de vista estético, ni se produzcan molestias por olores o proliferación de vectores; así mismo, deberá tomarse en cuenta que la instalación en sí misma y las actividades de operación y mantenimiento sean compatibles con los hábitos sociales locales.

Dado que es prácticamente imposible que un sistema satisfaga totalmente los criterios anteriores, las acciones del diseñador deberán estar dirigidas a minimizar las desventajas e inconvenientes de las distintas combinaciones de operaciones y procesos posibles de utilizar para el tratamiento específico de un residual, así como a reducir la cantidad de procesos unitarios, lo cual no puede hacerse sin un análisis riguroso de las distintas alternativas, implicando el estudio de decenas de combinaciones; la no consideración de lo anterior probablemente conduzca a diseños no optimizados tanto

desde el punto de vista técnico como económico.

B) PRINCIPALES OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Los procesos unitarios no son tan fácilmente definibles como las operaciones unitarias; éstas resultan ser procesos físicos que pueden ser formulados con expresiones matemáticas generalmente bien definidas. Los procesos unitarios, por otra parte, son de naturaleza biológica o química, y resultan ser más difíciles de expresar o formular matemáticamente.

En la práctica, un proceso de tratamiento de aguas residuales puede definirse como un método particular para lograr la remoción de uno o varios contaminantes, lo cual implicará generalmente uno o más operaciones y procesos unitarios. Las operaciones y procesos unitarios se definen como los procesos, tanto físicos como químicos o biológicos individuales que pueden distinguirse claramente unos de otros por los principios fundamentales de los mismos.

El diseño de un proceso o de una instalación de tratamiento de aguas residuales se facilita partiendo del concepto de las operaciones y procesos unitarios, lo cual permite evitar duplicidades y a la vez enfocar el problema sobre los aspectos fundamentales a considerar con una mayor objetividad.

A los efectos de facilitar la comprensión de lo anteriormente expuesto, y a la vez considerar distintas posibilidades y alternativas para la remoción de los contaminantes

más frecuentes, en la TABLA 4-1 se indican las operaciones y procesos más adecuados para la remoción de distintos contaminantes, señalándose que éstos no son los únicos posibles, aunque sí los más comúnmente utilizados.

La selección de las operaciones y los procesos unitarios a emplear y la integración de los mismos en una instalación de tratamiento depende de varios factores, entre ellos:

- a) especificaciones de la calidad de los efluentes a lograr en función de los cuerpos receptores o la utilización posterior de aquellos;
- b) características del residual crudo;
- c) nivel admisible de las inversiones para el sistema de tratamiento;
- d) facilidades locales de construcción y montaje, así como de la disponibilidad (o posibilidad de importación) de equipos tecnológicos;
- e) disponibilidad de energía;
- f) requerimientos de calificación para la operación;
- g) nivel deseado de confiabilidad del sistema;
- h) nivel de automatización;
- i) costos admisibles de operación;

- j) exclusión específica de algunos procesos;
- k) requerimientos para el crecimiento futuro o mejoras de la eficiencia.

En general, un sistema de tratamiento completo puede emplear desde 1 hasta 20 operaciones y procesos unitarios, y a la vez, para un tratamiento de un residual determinado pueden haber decenas de combinaciones, procesos y operaciones viables o apropiados; en consecuencia, es virtualmente imposible para un equipo de diseño evaluar todos los procesos y operaciones viables y las combinaciones de los mismos sin ayuda de la computación.

Para limitar la cantidad de evaluaciones necesarias, el diseñador debe confiar fuertemente en la experiencia derivada de otros sistemas, y eliminar de esta forma algunos procesos unitarios, aunque los resultados no siempre serán los óptimos desde el punto de vista económico; a la vez, se señala que la "experiencia" derivada de otros sistemas a la que nos hemos referido, no debe limitarse a la del diseñador propiamente, sino a la del "estado del arte" para el tratamiento de residuales similares, en condiciones climáticas igualmente similares y para distintas alternativas de eficiencia del tratamiento.

Con vistas a facilitar la selección inicial, y como complemento a lo considerado en la TABLA 4-1, se presenta el DIAGRAMA 4-1 el cual resulta útil como orientación para el diseño de un sistema y en su evaluación. Para una mayor facilidad de impresión el diagrama se ha fraccionado en función de las etapas y objetivos del tratamiento, las cuales pueden agruparse (clasificarse) en la forma siguiente:

- tratamiento preliminar;

- tratamiento primario;
- tratamiento secundario;
- tratamiento terciario o de pulimento;
- tratamiento avanzado (*);
- disposición de lodos.

Nota: (*) algunos autores incluyen el tratamiento avanzado en el tratamiento terciario.

Se señala que los distintos procesos y operaciones unitarias que aparecen ordenados en forma de columna en el DIAGRAMA 4-1 no son excluyentes, y en muchos casos, sobre todo en el pre-tratamiento será necesario considerar varios de ellos en secuencia.

El tratamiento preliminar comprende el tamizado (cámaras de rejillas de limpieza manual o mecánica, cribas), el desarenado, el molido o la trituración, la separación de grasas y la homogenización; en algunas ocasiones, el pre-tratamiento puede incluir para el caso de residuales con DBO muy altas, un proceso de dilución, una pre-aeración o una pre-cloración.

El tratamiento primario puede incluir operaciones y procesos unitarios de dos tipos: físicos y químicos; entre los primeros se incluye la sedimentación, la flotación y la disposición en suelos, mientras que en los segundos se consideran la neutralización y la coagulación. Normalmente en esta etapa la concentración de la DBO puede reducirse al menos en un 30% y los sólidos en suspensión entre un 50 y un 65%.

En el tratamiento secundario se pueden considerar varios tipos de operaciones y

procesos unitarios; los biológicos, los físicos y combinaciones de ambos (sistemas de lagunas de oxidación).

En el tratamiento secundario se elimina una gran parte de la materia orgánica tanto suspendida como disuelta; en la mayor parte de los casos la remoción de la DBO y los sólidos en suspensión pueden alcanzar eficiencias entre un 60 a un 90%. El tratamiento fundamental es la oxidación biológica, pudiendo utilizarse las lagunas de estabilización, los filtros biológicos, el lodo activado, los biodiscos, las zanjas de oxidación y las lagunas aeradas, entre otros. En cuanto a la parte física del tratamiento secundario, se considera la sedimentación secundaria la cual es un complemento del tratamiento biológico.

El tratamiento terciario, denominado también de "pulimento" se utiliza para la remoción de sólidos suspendidos muy finos y para la desinfección del efluente con vistas a reducir la concentración de patógenos y otros microorganismos; en esta etapa del tratamiento se utilizan dos tipos de operaciones unitarias; las físicas y las químicas.

Por otra parte, en algunos casos, aún los residuales que han pasado por un tratamiento terciario pueden contener ciertos compuestos y sustancias orgánicas no biodegradables tales como los tensoactivos (detergentes), sólidos disueltos (sales inorgánicas) y nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. Los procesos requeridos para la eliminación de estos contaminantes se denominan tratamiento avanzado, aunque algunos autores los incluyen en el tratamiento terciario. Las operaciones y procesos unitarios considerados en el tratamiento avanzado generalmente son del tipo químico, incluyéndose además operaciones físicas y procesos biológicos; algunos de ellos resultan ser la nitrificación-desnitrificación, la remoción de fósforo, la recarbonatación,

la separación de amonio, la absorción por carbón activado, la coagulación convencional o con polímeros, la filtración, el intercambio iónico y la ósmosis inversa.

Como se puede apreciar, el tratamiento avanzado resulta muy costoso, y sólo debe ser utilizado en condiciones muy especiales, siendo preferible reutilizar los efluentes sin este tratamiento, bien por recirculación o por reutilización para el riego.

Los efluentes resultantes de las distintas combinaciones de las operaciones y procesos unitarios (instalaciones de tratamiento) pueden verterse directamente a los cuerpos de agua o al suelo, incluyendo en este caso la infiltración. Sin embargo, dada la escasez de los recursos hídricos y la necesidad de preservar el medio ambiente, la mejor opción es la reutilización de los mismos, lo cual frecuentemente resultará en una alternativa más económica.

Por último, los lodos derivados de las diferentes etapas del tratamiento deben ser tratados (digeridos), secados o deshidratados y posteriormente extraídos de la instalación de tratamiento, con vistas a su disposición final, para lo cual, al igual que la fase líquida, resulta más conveniente su utilización como fertilizante o compostado. En consecuencia, se tendrá una etapa o proceso adicional al que denominaremos disposición de lodos, que puede incluir varias operaciones y procesos unitarios, tanto físicos como biológicos. Entre los primeros se considera el espesamiento, la deshidratación y el secado, mientras que en los biológicos, la digestión anaeróbica es la más común. Los cienos o lodos digeridos pueden ser normalmente vertidos o dispuestos en los suelos sin problemas de olor o de salud, teniendo además utilidad como fertilizante. Se señala que para la utilización directa como fertilizante deberá tenerse en cuenta el contenido de sales de los cienos o lodos digeridos y su incidencia

en los suelos; una alternativa atractiva puede ser su utilización para la lombricultura, de lo cual existen experiencias muy alentadoras.

C) SISTEMAS DE TRATAMIENTO CONVENCIONALES.

El concepto de sistema de tratamiento convencional se refiere a métodos y tecnologías de proceso establecidas que combinan distintas operaciones y procesos unitarios utilizados normalmente para el tratamiento de residuales en climas templados. En la práctica, incluyen las siguientes etapas de tratamiento:

- preliminar (varias operaciones, en dependencia de las características del residual):

- primario, fundamentalmente la sedimentación;

- secundaria, principalmente por la vía de la oxidación biológica, incluyendo la sedimentación secundaria; normalmente la oxidación biológica se lleva a cabo por distintas vías, entre ellas:

- lodo activado;

- filtros biológicos;

- biodiscos;

- tratamiento y disposición de lodos.

En general, y a los efectos de mejorar la eficiencia de los sistemas, se utiliza la recirculación en proporciones variables a partir de la sedimentación secundaria.

Por otra parte, el criterio de sistemas de tratamiento convencionales puede extenderse a los sistemas de lagunas de estabilización, a las lagunas aereadas y a las zanjas de oxidación; en las segundas, al contrario de las lagunas, no se utiliza la recirculación, señalándose además que estos sistemas son también utilizables en climas templados y no únicamente en climas tropicales. Las características específicas de cada uno de los sistemas de tratamiento convencionales y de las eficiencias esperadas de remoción de contaminantes se tratan en detalle en el Capítulo V.

D) COSTOS RELATIVOS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO.

Los costos de los distintos sistemas de tratamiento convencionales varían grandemente, dependiendo de los costos locales de materiales, equipos y mano de obra, así como del costo de los terrenos; incide además definitivamente la complejidad de las instalaciones. En los países no productores de equipos y maquinaria, los costos de importación pueden resultar en una variación muy alta.

En la TABLA 4-2 se incluyen costos relativos generalizados por habitante para algunos países y sistemas de tratamiento. En esta Tabla se ha considerado el costo de los sistemas de lagunas de oxidación como unidad (1,0) y se han referido los costos de los restantes sistemas a estos costos unitarios. Obsérvese que las lagunas aereadas cuestan como mínimo el doble que los sistemas de lagunas de estabilización, las zanjas de oxidación de 1,4 a 3,6 veces, los sistemas con filtros biológicos desde 1,0 (Venezuela) hasta 5,6 veces los costos de los sistemas de lagunas, y finalmente las plantas de tratamiento convencionales (lodos activados) de 3,8 a 5,0 veces más.

Se señala, además que los costos por sí mismos no indican ni consideran la eficiencia de remoción de la DBO_5 y los patógenos; como hemos visto, los sistemas de lagunas de estabilización resultan ser mucho más eficientes que los restantes sistemas en la remoción de patógenos, lo cual es un aspecto de primordial importancia en el tratamiento de las aguas residuales domésticas y de origen agropecuario.

E) COSTOS ESTIMADOS DE CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

A continuación, y como información de referencia se presenta un resumen de los costos de construcción de cerca de 350 plantas de tratamiento en Estados Unidos de Norteamérica (USA). Los datos corresponden a costos reales que fueron ajustados a precios de 1987 según índices de la U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). Los costos que se relacionan en la TABLA 4-3 no incluyen la amortización de la inversión, ni tampoco la reposición de componentes mayores.

Si bien los costos en diferentes países y para el mismo periodo de tiempo serán variables debido a diferencia en los salarios, los costos y precios de la importación y transporte de equipos y materiales, así como los precios locales de materiales de construcción entre otros, los datos de la TABLA 4-3 permiten, además de una orientación general, conformar un criterio sobre los costos relativos de distintas operaciones unitarias y sistemas de tratamiento, y eventualmente, de conocerse los precios y los costos relativos de los equipos, materiales y mano de obra de cada país en relación a los de USA, elaborar un costo orientativo de la construcción de una instalación de tratamiento.

Un aspecto a tomar en cuenta en relación a los datos de costo es que en los mismos no se incluyen los costos indirectos, los gastos de administración, los costos de inspecciones y otras contingencias. Tampoco se incluyen los costos de condiciones no convencionales en el lugar, tales como cimentación en pilotes, excavaciones en roca, agotamiento (drenaje) de aguas y otros. Un criterio orientativo para tomar en cuenta estos aspectos es considerar un 25% adicional a los costos señalados en la TABLA 4-3.

Por último, debe tomarse en cuenta que la información corresponde a plantas en USA, y por lo tanto, las temperaturas promedio serán evidentemente inferiores a los de la zona tropical y sub-tropical, incidiendo esto en, por ejemplo, mayores costos para algunos procesos unitarios por la necesidad de mantener una temperatura mínima y mayores áreas para los sistemas de lagunas de oxidación, entre otros.

F) VENTAJAS Y DESVENTAJAS RELATIVAS DE LOS DISTINTOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUALES.

En el Capítulo III se analizaron las eficiencias relativas de remoción por distintos sistemas de tratamiento y operaciones y procesos unitarios y en los Epígrafes 4.4 y 4.5 anteriores se resumió una información sobre los costos relativos de distintos sistemas y procesos de tratamiento.

Por otra parte, en la TABLA 4-4 se consideran las características calculadas de los efluentes de diferentes procesos y operaciones, y en la TABLA 4-5 se han consolidado las eficiencias relativas de los procesos de tratamiento de aguas residuales, tanto en relación con los patógenos como para la remoción de la DBO₅, la DQO y los sólidos suspendidos. Finalmente, en la TABLA 4-6 se resumen las ventajas y

desventajas relativas en forma cualitativa de varios sistemas de tratamiento de residuales convencionales. De la revisión de las tablas anteriores se concluye que los sistemas de lagunas de estabilización en condiciones de clima adecuado, resultan ser el sistema más eficiente de tratamiento de residuales orgánicos en general ("promedios") tomando en cuenta la alta eficiencia en la remoción de patógenos y por ser el único sistema que puede eliminar el 100% de los helmintos (aparte de los filtros lentos), por lo cual, siempre deberán ser considerados como primera alternativa de tratamiento en climas cálidos, y ser desechados únicamente cuando las condiciones locales (áreas disponibles, costos de los terrenos(o los requerimientos de la calidad del efluente así lo aconsejen.

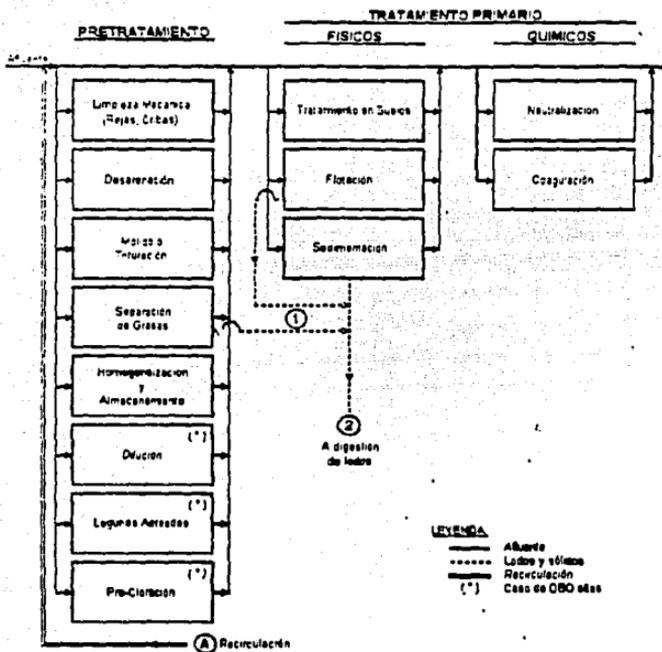
G) RESUMEN

Los sistemas de tratamiento de residuales deben satisfacer necesariamente los criterios de salud, ecológicos y de protección al medio, de reutilización, los económicos (inversión y operación y mantenimiento) así como los culturales. Estos requerimientos pueden ser eventualmente contradictorios entre sí, siendo poco probable que un sistema satisfaga totalmente, por lo cual el esfuerzo del ingeniero debe dirigirse a minimizar las desventajas e inconvenientes de cada sistema a considerar.

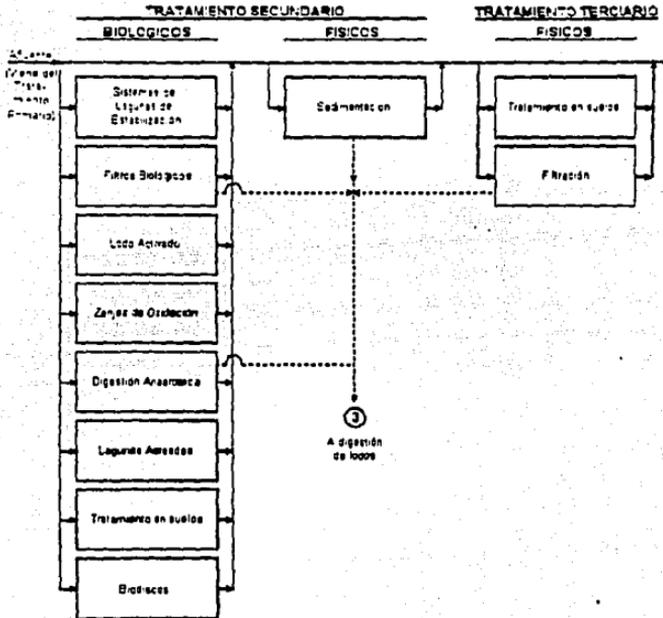
Una práctica conveniente para el diseño de las instalaciones de tratamiento es partir de las operaciones y procesos unitarios, lo cual permite evitar duplicidades y manejar sistemáticamente diferentes alternativas; se señala, sin embargo, que las posibles combinaciones de operaciones y procesos adecuados pueden alcanzar decenas, y que rara vez se podrá lograr un diseño óptimo sin la ayuda de la computación. Para limitar la cantidad de evaluaciones necesarias el diseñador deberá basarse en la

DIAGRAMA 4-1

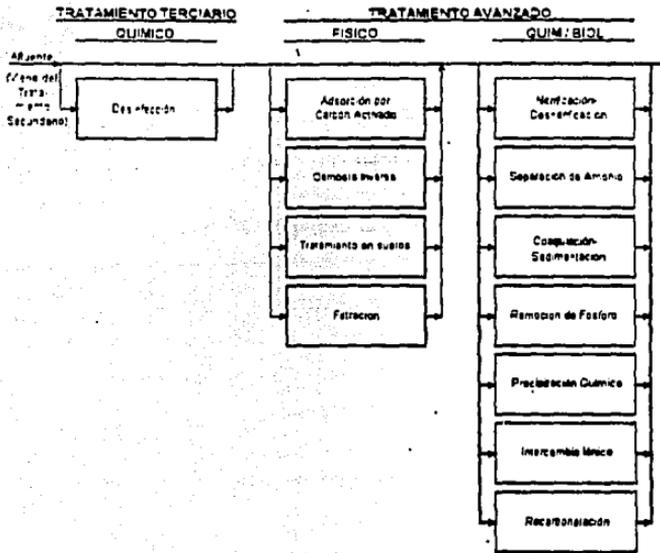
ALTERNATIVAS DE OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS PARA LAS ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE RESIDUALES



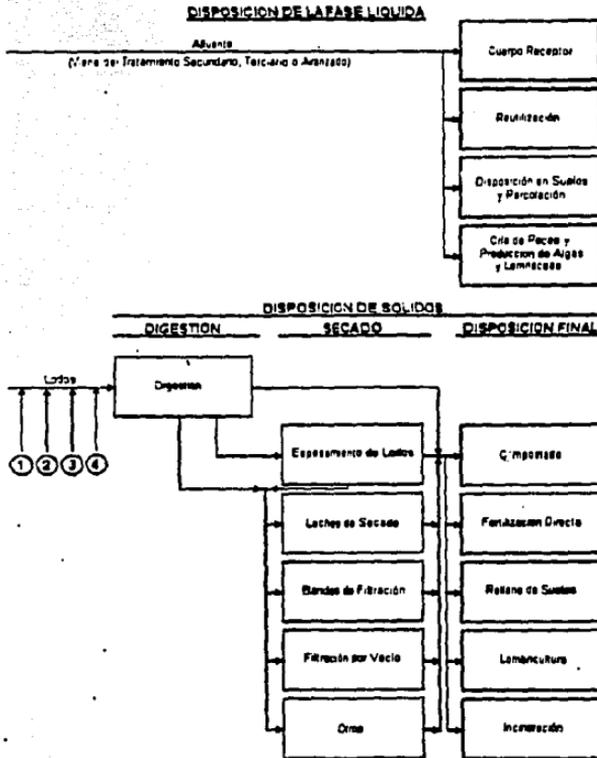
ALTERNATIVAS DE OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS PARA LAS ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE RESIDUALES



ALTERNATIVAS DE OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS PARA LAS ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE RESIDUALES



ALTERNATIVAS DE OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS PARA LAS ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE RESIDUALES



OPERACIONES, PROCESOS UNITARIOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO MAS UTILIZADOS PARA LA REMOCION DE LOS CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES

LEYENDA:

- 1a. CLASIF: se refiere a la siguiente clasificación:
 . OU: operación unitaria
 . PU: proceso unitario
 . ST: sistema de tratamiento

- 2a. CLASIF: se refiere a la siguiente clasificación:
 . F: proceso físico
 . Q: proceso químico
 . B: proceso biológico

CONTAMINANTE	OPERACION, PROCESO UNITARIO O SISTEMA DE TRATAMIENTO	1a. CLASIF.			2a. CLASIF.		
		OU	PU	ST	F	Q	B
Sólidos en suspensión	Tamizado (incluye rejés o cribas)	X			X		
	Molido o trituración	X			X		
	Sedimentación (incluye decantando)	X			X		
	Filtración (distintas variantes)	X			X		
	Flotación	X			X		
	Coagulación-sedimentación		X				X
	Sistemas de tratamiento por disposición en suelos		X				X
			X				X
Materia orgánica biodegradable	Lodo activado (distintas variantes)		X				X
	Filtros biológicos (distintas variantes)		X				X
	Biodiscos		X				X
	Lechadas de oxidación		X	(X)			X
	Leguas de estabilización			X			X
	Disposición en suelos			X		X	(X)
	Sistemas físico-químicos	X			X	X	
	Digestión anaeróbica		X				X
Patógenos	Sistema de leguas de estabilización			X			X
	Sistemas de tratamiento por disposición de residuales			X			(X)
	Cloración	X				X	
	Ozonización	X				X	

OPERACIONES, PROCESOS UNITARIOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO MAS UTILIZADOS PARA LA REMOCION DE LOS CONTAMINANTES DE LAS AGUAS RESIDUALES

CONTAMINANTE	OPERACION, PROCESO UNITARIO O SISTEMA DE TRATAMIENTO	1a. CLASIF.			2a. CLASIF.		
		OU	PU	ST	P	Q	B
Remoción de nutrientes: - Nitrogeno	Procesos de nitrificación-desnitrificación (distintas variantes biológicas--)		X				X
	Remoción de amonio		X			X	
	Cloración al punto de quiebre	X				X	
	Sistemas de tratamiento por disposición en suelos			X			X
	Intercambio iónico	X				X	
	Osmosis inversa	X			X		
- Fósforo	Adición de sales metálicas	X				X	
	Cosulación-sedimentación con cal		X		(X)	X	
	Remoción biológico-química		X			X	X
	Sistemas de tratamiento por disposición en suelos			X			X
Metales pesados	Precipitación química	X				X	
	Intercambio iónico	X				X	
	Sistemas de tratamiento por disposición en suelos			X		X	
	Lagunas con jacintos de agua			X			X
Sólidos disueltos (sales inorgánicas)	Intercambio iónico	X				X	
	Osmosis inversa	X			X		
	Electrodialisis	X				X	

Nota: (*) Incluyen los procesos de lodo activado, los reactores de lecho fijo y los sistemas de lagunas de oxidación.

TABLA 4-2

COSTOS RELATIVOS DE DIFERENTES SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Fuente: Community Waste Water Collection and Disposal.- D.A. Okun, WHO, 1975.

PAIS	Sistemas de Lagunas de Oxidación	Lagunas Aireadas	Zanjas de Oxidación	Filtros Biológicos	Lodos Activados	Observaciones
<u>Estados Unidos de América</u>						
- Costos de construcción	1,0	-	-	4,9:1	5,0:1	Tomado para un promedio de 10000 habitantes
- Costos de operación	1,0	-	-	5,7:1	6,7:1	
<u>Jordania</u>						
- Costos de construcción	1,0	-	-	1,5:1	4,2:1	
<u>Targuía</u>						
- Costos anuales de construcción y operación	1,0	2,0:1	3,8:1	-	-	Temperaturas 15°C
<u>Venezuela</u>						
- Costos anuales de inversión	1,0	-	1,0:1	0,5:1	0,5:1	Poblaciones entre 5 y 10 mil habit.
- Costos de operación y mantenimiento	1,8	-	3,0:1	5,0:1	4,7:1	
- Costos totales	1,0	-	1,3:1	1,0:1	0,7:1	
<u>Nueva Islandia</u>						
- Costos totales anuales	1,0	-	1,7:1	-	3,8:1	No incluye el costo de terreno. Pobl. de 10 mil habitantes
<u>India</u>						
- Costos totales anuales	1,0	2,5:1	3,3:1	5,8:1	-	Poblaciones de 5 a 200 mil habitantes

COSTOS DE CONSTRUCCION DE LOS COMPONENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUALES

Resumen de 30 Plantas en USA

Un: MSD (1987)

Fuente: "Guidelines for Project and Financing".-- Word Technical Paper No.73

CONCEPTO	1 lpa	2 lpa	3 lpa	5 lpa	10 lpa	20 lpa	30 lpa	50 lpa	100 lpa
- Facilidades temporales y traslado de equipos del constructor	(6,0)	(9,5)	(12,0)	10,0	20,0	45,0	60,0	85,0	130,0
- Movimiento de tierra con excavaciones convencionales	(20,0)	(31,6)	(41,0)	50,0	93,0	150,0	190,0	270,0	425,0
- Bombeo de afluentes	15,0	24,0	31,0	43,0	67,0	101,5	138,0	190,0	300,0
- Tratamiento preliminar (rejillas, molido, desarmador)	3,0	5,5	7,5	11,0	21,0	37,6	52,0	80,0	140,0
- Igualización de los gastos	(11,0)	(17,0)	(21,0)	28,0	42,0	62,0	79,0	106,0	155,0
- Adición de reactivos (incluye cal, alúmina y polímeros)	14,6	30,0	39,0	50,0	67,0	89,0	114,0	153,0	230,0
- Sedimentación primaria	(10,0)	(17,0)	(23,0)	(34,0)	92,0	100,5	123,0	180,0	300,0
- Cusmo activado	40,0	67,0	92,0	103,5	230,0	390,0	530,0	740,0	1300,0
- Filtros biológicos	(40,0)	(85,0)	(104,0)	136,0	192,5	240,0	340,0	440,0	635,0
- Cloración para desinfección	22,5	31,0	36,5	46,0	63,0	85,0	103,0	130,0	175,0
- Digestión anaeróbica (Primera generación)	(9,3)	(10,0)	(26,0)	(42,0)	(80,0)	(155,0)	221,0	460,0	700,0
- Lechos de secado	4,8	0,0	11,0	16,0	27,0	45,0	61,0	90,0	150,0
- Construcciones civiles para el control, laboratorio y mantenimiento	29,0	42,0	53,0	71,0	107,0	180,0	200,0	265,0	400,0
- Instalaciones eléctricas	14,0	23,0	31,0	71,0	107,0	180,0	200,0	265,0	400,0
- Instrumentación y control	(6,0)	(9,7)	(13,0)	10,4	30,0	49,5	66,0	95,0	155,0
- Conducciones y tuberías	(10,0)	16,0	21,5	31,0	50,0	82,0	101,0	157,0	256,0
- Lagunas de estabilización	18,0	32,0	55,0	105,0	250,0	600,0	1000,0	(2000,0)	

Nota: () Datos extrapolados

TABLA 4-6

**CARACTERÍSTICAS CALCULADAS DE LOS EFLUENTES
DE DIFERENTES PROCESOS Y OPERACIONES**

<u>PROCESO</u>	<u>DBO₅</u> <u>(mg/l)</u>	<u>DBO</u> <u>(mg/l)</u>	<u>Sólidos</u> <u>Suspendidos</u> <u>(mg/l)</u>	<u>Coliformes</u> <u>(por 100 ml)</u>
- Residual urbano crudo	300	450	270	10 ⁶
- Filtración por malla fina	270-285	405-430	215-265	10 ⁶
- Cloración del residual crudo	210-215	-	-	5x10 ⁵ -10 ⁶
- Sedimentación primaria	180-225	290-360	80-160	10 ⁵ -5x10 ⁵
(tr \geq 3 horas)				
- Precipitación química	45-150	135-270	30-80	(2-6)x10 ⁶
- Filtros biológicos (incluye sedimentación primaria y secundaria)	15-150	90-225	20-135	1/ (5-8)x10 ⁶
- Lodo activado (incluye sedimentación primaria y secundaria)	15-135	90-225	15-120	1/ 10 ⁶
- Lagunas de estabilización (en serie; tr \geq 20 días)	15-30	90-135	15-40	2/ 10 ⁶
- Cloración del residual tratado biológicamente	-	-	-	10-20 3/

NOTAS:

1/ La mayor parte como "flóculos" de bacterias

2/ La mayor parte como "flóculos" de algas

3/ En algunos casos se han reportado valores altos; sin embargo también ocurre una reproducción de bacterias posteriormente.

EFICIENCIAS RELATIVAS DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

PROCESO	DBO, (20°C)	DBP	Sólidos Suspendidos	Setero Virus	Bacterias	Cistos de Protozoos	Huevos de Helminetos	Observaciones
- Cloración del residual crudo	15-30	-	-	(?)	90-95	(?)	(?)	
- Sedimentación primaria	25-60	20-35	60-70	0-30	50-90	10-50	30-90	1/
- Precipitación química	50-85	40-70	70-90		40-80			
- Filtros biológicos	50-95	50-80	50-92	90-95	90-95	50-90	50-90	2/
- Lodo activado	55-95	50-80	55-95	90-99	90-99	50	50-90	2/ 3/
- Ranjas de oxidación				90-99	90-99	50	50-99	2/
- Sistemas de lagunas de estabilización	90-95	70-80	85-95	99,99	99,99	100	100	4/
- Tanques sépticos				50	50-90	0	50-90	
- Cloración del residual tratado biológicamente	-	-	-	-	99-99			

OBSERVACIONES: 1/ Considera de 3 a 6 horas de retención y disminuye un 10% con tiempos menores

2/ Incluye sedimentación y digestión y secado de lodos

3/ Puede disminuir hasta un 60% para un proceso con una aereación deficiente, pero puede considerarse hasta un 99,9% para aereación extendida con 24 horas

4/ Sistemas de 3 lagunas en serie con tiempos de retención superiores a 21 días.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE VARIOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUALES URBANOS

LEYENDA: 3: bueno; 2: adecuado; 1: pobre

CONCEPTO	Plantas Compactas	Lodo Activado	Filtros Biológicos	Aeración Exteendidos	Tanjas de Oxidación	Lagunas Aereadas	Sistemas de Lagunas Estabilización	
							Incluyendo Anaeróbicas	Sin Anaeróbicas
- Remoción de DBO ₅	2	2	2	2	3	3	3	3
- Remoción de coli fecales	1	1	1	2	2	3	3	3
- Remoción de sólidos totales	2	3	3	3	3	2	2	2
- Remoción de helminios	1	2	1	1	2	2	3	3
- Remoción de virus	1	2						
- Posibilidad de reutilización de los efluentes	1 a/	1 a/	1 a/	2	2	3	3	3
- Simplicidad y bajo costo de construcción	1	1	1	1	2	2	3	3
- Simplicidad de operación	1	1	2	1	2	1	3	3
- Requerimiento de terreno	3	3	3	3	3	2	2	1
- Costo de mantenimiento	1	1	2	1	1	1	3	3
- Demanda de energía	1	1	2	1	1	1	3	3
- Mínimo de extracción de lodos	1	2 b/	2 b/	2 b/	1	2	3	3
TOTALES	16	30	21	21	24	25	34	33

NOTAS: a/ Los efluentes de plantas de lodos activados, filtros biológicos y plantas compactas en ocasiones presentan alto contenido de amoníaco (mayor 5 mg/l) y de concentración de bacterias fecales y pueden no ser adecuados para riego sin un tratamiento terciario.

b/ Se asume la existencia de digestores de lodos.

experiencia de funcionamiento de otros sistemas y en el "estado del arte" para el tratamiento de residuales similares.

Por último y de acuerdo con la información disponible, los sistemas de lagunas de estabilización resultan ser los sistemas más eficientes para el tratamiento de residuales orgánicos "promedio" y siempre deberán ser considerados como la primera alternativa de tratamiento al menos en condiciones de climas cálidos.

2.4 CONSIDERACIONES SOBRE LA SELECCIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A) INTRODUCCIÓN

Anteriormente hemos relacionado las distintas operaciones y procesos unitarios utilizados comunmente para el tratamiento de las aguas residuales, así como los criterios generales a considerar en el diseño de estas instalaciones, concluyéndose que en la práctica es extremadamente difícil cumplir con todos estos criterios y que la actividad principal del ingeniero debe dirigirse a minimizar las desventajas previsibles de las distintas combinaciones de procesos y operaciones.

A reserva de analizar casuísticamente las ventajas y desventajas de los sistemas convencionales, queremos señalar varios aspectos que normalmente no son tomados en cuenta con la suficiente fuerza. En primer lugar, de acuerdo a diferentes encuestas realizadas, y principalmente en países del Tercer Mundo, cerca del 35% de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales están fuera de servicio debido a problemas de operación y mantenimiento, mientras que otro 30% funciona en forma

deficiente por esas mismas causas, entre las que se incluyen la actitud y aptitud (calificación) de los operadores, disponibilidad de técnicas, tecnología y equipamiento para las reparaciones y para las actividades de mantenimiento así como la disponibilidad de insumos como problemas principales.

De todo lo anterior se desprende que los diseños, y en definitiva los objetos de obra que compongan una instalación de tratamiento tienen que ser concebidos en forma tal que la incidencia de las deficiencias humanas en el funcionamiento de la instalación sean mínimas; por otra parte el aumento de la complejidad de la instalación por la vía de la utilización de muchos procesos básicos y complementarios en áreas de obtener una eficiencia técnicamente óptima, introduce mayores complejidades en el control y la operación, así como las posibles fuentes y posibilidades de fallo, además de incrementar y multiplicar probablemente las necesidades de insumos.

Tomando en cuenta los aspectos anteriores, podríamos llegar a la conclusión de que una instalación de tratamiento ideal sería aquella que cumpliera totalmente los criterios generales a que hemos hecho mención en el Capítulo IV y que además cumpliera, con especial importancia en el caso particular de los países del Tercer Mundo, con la siguiente "filosofía" de diseño:

1.- Incidencia mínima del operador en el funcionamiento de la operación de la instalación, lo cual está referido no solo a la cantidad y calificación del personal para operar la planta, sino a que los posibles fallos humanos no afectasen el funcionamiento de la instalación. Este objetivo podría lograrse o bien utilizando operaciones y procesos unitarios que no sean prácticamente afectados por deficiencias en la operación, o bien por procesos muy

automatizados, con la utilización de componentes de la mejor calidad; se señala que este último criterio no es necesariamente contradictorio con las condiciones promedio de los países del Tercer Mundo, y que pueden ser casi obligadas en instalaciones que deban asegurar una calidad estable de los efluentes, como podrían ser en instalaciones turísticas internacionales.

2.- Utilización del mínimo imprescindible de objetos de obra (operaciones y procesos unitarios) con el objetivo de disminuir las posibilidades de fallo; en todo caso se considera que este mínimo de objetos de obra debe asegurar razonablemente el cumplimiento de los requerimientos establecidos para el vertimiento y reutilización de los residuales.

3.- Utilización de componentes e insumos de la máxima calidad posible, lo cual si bien incrementará el nivel de las inversiones iniciales necesarias, a la larga resultan en costos totales de operación y mantenimiento menores.

4.- Minimizar los componentes mecánicos y eléctricos de las instalaciones, con el objetivo de disminuir los componentes e insumos que deberían probablemente ser importados en gran parte de los países del Tercer Mundo, y que incidirán además en la operación y mantenimiento de la instalación.

5.- Considerar el máximo aprovechamiento de las condiciones (temperatura, horas de sol) y materiales locales.

En resumen, se considera que la mejor concepción y diseño de una instalación de tratamiento, lo cual debe ser la premisa de partida del ingeniero, es aquella que minimice las desventajas de las operaciones y procesos unitarios o sistemas y que

conjugue el mínimo de objetos de obra, insumos de energía y de importación así como la incidencia del factor humano en la operación y el mantenimiento, con el cumplimiento de los parámetros requeridos del efluente; con esta concepción probablemente se cumpla además con los criterios económicos, siendo necesario en caso contrario analizar variantes adicionales.

B) TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ORGANICAS DE ALTA CARGA.

Según conocemos, el principio básico del tratamiento de las aguas residuales es eliminar los organismos patógenos y los contaminantes hasta el grado requerido por las condicionales de vertimiento de los efluentes o la reutilización de los mismos. Esto puede lograrse, según hemos visto, utilizando distintas combinaciones de operaciones y procesos unitarios o con sistemas de tratamiento convencionales. Sin embargo, estos últimos tienen limitaciones no sólo en cuanto a las cargas contaminantes que pueden asimilar con eficiencia, siendo necesario analizar otras alternativas para los residuales de alta carga (mayores de 2000 mg DBO₅/litro).

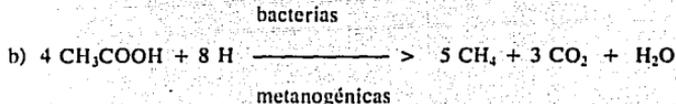
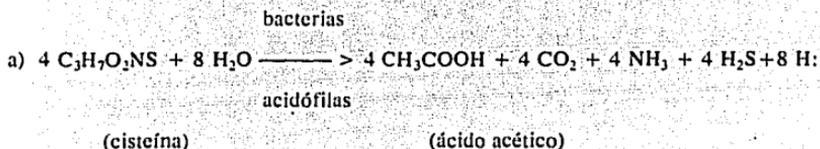
Digestión anaerobia.

Una alternativa muy conveniente para el tratamiento de las aguas residuales orgánicas de alta carga es la utilización de la digestión anaeróbica.

La digestión anaerobia se puede considerar como un conjunto de reacciones catalizadas por enzimas en ausencia de oxígeno lo que estabiliza las materias orgánicas transformándolas, en el mayor grado posible, en gas metano y anhídrico carbónico. La

materia orgánica es degradada en dos etapas por dos grupos (en rigor cuatro) de bacterias anaeróbicas: el primero, las bacterias acidófilas, transforman los compuestos orgánicos complejos en ácidos grasos (acético, propiónico, butírico), los cuales a su vez sirven de alimento al segundo grupo de bacterias, las metanogénicas, que descomponen estos elementos en metano y anhídrico carbónico.

Lo anterior puede esquematizarse a partir de la degradación de un aminoácido, la cisteína:



Las bacterias metanogénicas son los microorganismos básicos de la digestión anaeróbica, teniendo las características de desarrollarse muy lentamente y ser muy sensibles a las condiciones de temperatura y pH.

La digestión anaeróbica se desarrolla normalmente por bacterias mesofílicas, que mantienen su actividad óptima en el entorno de los 34° C.

Un líquido digerido en un medio anaeróbico puede representarse, desde el punto de vista del equilibrio ácido-base, como una solución acuosa de productos intermedios

y finales. Se señala que los microorganismos anaeróbicos no pueden estabilizar la materia orgánica completamente, debido a que por cada molécula oxidada tiene que haber una molécula reducida; como consecuencia comienzan a aumentar las moléculas de materia orgánica reducidas, lo cual evita la completa estabilización.

Otro aspecto a considerar en la digestión anaeróbica es que las bacterias acidófilas se desarrollan mucho más rápidamente que las bacterias metanogénicas (relación de horas a días); en consecuencia para estabilizar este proceso es necesario garantizar la población y el desarrollo del segundo grupo de bacterias las cuales además requieren de una alcalinidad mínima de 1000 mg/litro como CaCO_3 y un pH neutro o ligeramente alcalino; valores del pH menores ponen en peligro la estabilidad del proceso, y de hecho, valores cercanos a 6 indican la inminencia de un fallo del mismo.

Por otra parte, el calor liberado en el proceso anaeróbico es sólo el 5% del liberado en el proceso aeróbico; este resultado sugiere que la multiplicación celular (a igualdad de energía necesaria para la reproducción de las células) será mucho más abundante en el primer caso que en el segundo, y como consecuencia, el proceso de degradación hasta el estado final será mucho más rápido en igualdad de condiciones. En adición a lo anterior, las bacterias aeróbicas utilizan en el proceso de síntesis de nuevas células de un 60 a un 65% de la energía del sustrato, mientras que la fracción restante es utilizada para otras funciones metabólicas y disipada en forma de calor, generalmente prácticamente 5 veces más la cantidad de lodos (células) en relación al proceso anaeróbico: en el caso de este último proceso, los microorganismos utilizan el 10% de la energía para funciones de reproducción, transformando el 90% restante en gas metano.

De todo lo anterior, se pueden deducir las ventajas de la utilización de la digestión anaeróbica para el tratamiento de aguas residuales, las cuales se resumen a continuación:

1.- Permiten el tratamiento de residuales con altas cargas orgánicas.

2.- El manejo de los lodos es mas sencillo que en el proceso aeróbico; por una parte, el volumen es mucho menor, y por otra, la digestión de los lodos de otros procesos del sistema puede realizarse en el mismo digestor, no requiriendosse un proceso adicional para la disposición de lodos como sucede en los Sistemas aeróbicos.

3.- El proceso es un productor de energía (gas metano) que puede aprovecharse bien en insumos de la planta o para consumo de terceros; sin embargo este gas deberá ser procesado (eliminación del azufre y lavado) y almacenado en gasómetros para su utilización, lo cual complica las instalaciones.

4.- La utilización de digestores anaeróbicos permite, de acuerdo a las características del residual, eliminar la sedimentación primaria, con las ventajas económicas que esto conlleva.

Por otra parte, el proceso, si bien presenta bondades, tienen desventajas de importancia, entre ellas:

1.- Los efluentes normalmente requieren un proceso adicional dado que no toda la maateria orgánica se degrada, y por otra parte no contienen oxígeno disuelto; en la práctica normalmente es necesario combinar el tratamiento

anaeróbico de residuales crudos con un tratamiento aeróbico complementario para el efluente de los digestores.

2.- El proceso es lento, y tiene requerimientos (inóculos) para su inicio y estabilización.

3.- El proceso requiere de temperaturas relativamente altas (35°C para el mesofílico), afectándose de forma importante e inhibiéndose eventualmente a temperaturas menores de 17°C .

Digestores Anaeróbicos.

Un proceso anaeróbico ideal debe desarrollarse en un sistema de flujo continuo de acuerdo al modelo de mezcla completa, y además en un reactor cerrado con ausencia de oxígeno y con la remoción de los gases que se forman. La alimentación debe ser continua y la tasa de dilución (lo inverso del tiempo de retención) debe ser lo suficientemente baja para evitar que las bacterias metanogénicas -que tienen menor velocidad de crecimiento- sean arrastradas fuera del reactor.

Para el proceso anaeróbico ideal debería asegurarse:

- a) dispersión inmediata y completa del afluente en el reactor;
- b) posibilidades óptimas de contacto entre la materia orgánica y los microorganismos;
- c) un tiempo de retención suficiente para establecer un balance entre las

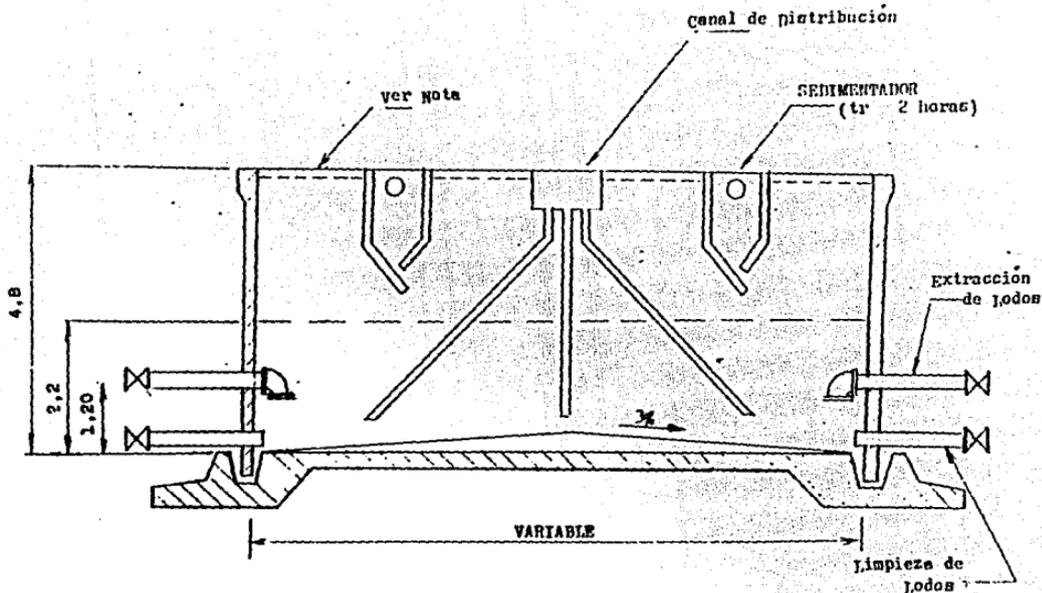
actividades metabólicas de los dos grupos principales de bacterias que actúan en el proceso.

Sin embargo, en la práctica no es posible lograr todas las condiciones para un proceso anaeróbico ideal, ni siquiera en reactores cerrados; incluso en estos casos, sin mecanismos específicos de mezclado, el afluente es introducido en el reactor en distintos puntos por lo cual existe una limitante para el contacto entre los microorganismos y la materia orgánica; por otra parte, el gasto del afluente no es constante y parte del volumen del reactor estará ocupado por lodos que no estarán en un proceso de digestión activa.

Digestor Anaeróbico de Manto de Lodo Flujo Ascendente.

Este tipo de digestor fue desarrollado hace aproximadamente tres décadas en la Universidad para la Agricultura en Wageningen, Holanda, incluyéndose en la llamada "segunda generación", conjuntamente con los filtros anaeróbicos, el reactor tubular de película fija y el reactor giratorio-estático. (Ver ESQUEMA 5-1)

El funcionamiento del digestor es el siguiente: a partir de la formación del manto de lodo (consistente en "agrupaciones" de bacterias anaeróbicas en forma de gránulos o floculos), el agua residual es bombeada a través de toberas distribuidas en forma regular en el fondo del reactr. circulando de abajo o arriba a través del manto de lodos; durante este proceso las bacterias anaeróbicas digieren la materia orgánica formándose biogás. En el digestor se produce una separación física y una recirculación de lodos, pudiéndose considerar tres zonas: el manto de lodos, la de mezcla completa entre el lodo, el líquido y el biogás y la de sedimentación (separación de fases), en la cual el



ESQUEMA 5-1.- DIGESTOR ANAEROBICO ABIERTO DE MANTO DE LODOS DE PLUJO ASCENDENTE (version prefabricada)

CARGA: 2,5 - 3,0 kg DBO₅/M³ de volumen activo

NOTA: posibilidad de cierre para captación de biogás

lodo retorna a la zona de digestión en contracorriente con el flujo ascendente propiciando un mezclado efectivo.

Las principales ventajas de estos digestores anaeróbicos son las siguientes (en relación con tratamientos convencionales):

- no requieren agitación;
- se produce energía en forma de biogás;
- no se pierden los nutrientes;
- necesidades menores de operación y mantenimiento;
- estabilidad a variaciones en la alimentación.

En cuanto al funcionamiento y diseño de estos digestores, hay que considerar los siguientes principios básicos:

- el efluente debe introducirse en la parte inferior del digestor, variando el número de orificios (toberas) de entrada en función del tipo de lodo y de la carga;
- es necesario asegurar que el lodo anaeróbico presente una buena capacidad de sedimentación y que se desarrolle como un lodo granular, lo cual requiere, entre otros, la utilización de un inóculo adecuado;
- el dimensionamiento debe garantizar una separación efectiva del lodo, y

efluente y el biogás.

Estos tipos de digestores son especialmente adecuados para residuales de alta carga contaminante; sobre estas bases, se consideran los siguientes parámetros preliminares de diseño:

a) Carga orgánica: varía en función de la temperatura y se pueden considerar los rangos a continuación:

<u>T (°C)</u>	<u>Kg DQO/m³.día</u>
40	15 - 25
30	10 - 15
20	5 - 10

Se señala que se reportan cargas hasta de 50kg DQO/m³.día, con reactores totalmente llenos de lodo granular y afluentes con altas cargas; para residuales domésticos, sin embargo, las cargas máximas oscilan entre 1 - 2 kg DQO/m³.día debido a limitaciones en cuanto a la velocidad ascensional y al tiempo de retención.

b) altura de lodos: se han utilizado alturas entre 1.5 y 4.9 m, recomendándose (de acuerdo a ensayos realizados en Cuba) niveles entre el 20 y el 40% de la altura total del digestor, pudiendo considerarse para cálculos preliminares valores entre 1.8 y 2.2 m.

c) carga hidráulica y velocidad ascensional: se reportan (Lettinga y colaboradores, citando varios experimentos) valores de carga hidráulica entre 0.6 y 3.8 m³/m³ día y volidades ascensionales entre 0.04 y 0.16 m/h, aunque en

otros experimentos con un lodo bien adaptado se han obtenido buenas separaciones de lodo con velocidades ascensionales de hasta 1 m/h; en relación con la velocidad en la apertura entre los colectores de gas se recomienda no exceder los 2 - 3 m/h para lodo floculante, aunque los valores pueden ser de 2 - 3 veces mayores para lodo granular.

d) tiempo de retención: que resulta ser de importancia fundamental ya que de este valor depende el volumen del reactor; normalmente el tiempo de retención mínimo podrá ser de 8 - 12 horas para residuales de baja carga, y de hasta 48 horas y más para residuales de alta carga.

e) orificios (toberas) de entrada: se proponen los valores que se indican a continuación como guía preliminar:

Tipo de lodo	m ² /orificio	Cargas (KgDOO/m ³ .día)
- Floculante denso (> 40 Kg SD/m ³)	1	< 1 - 2
- Floculante medio (< 40 Kg SD/m ³)	5	> 3
- Granular espeso	1	1 - 2

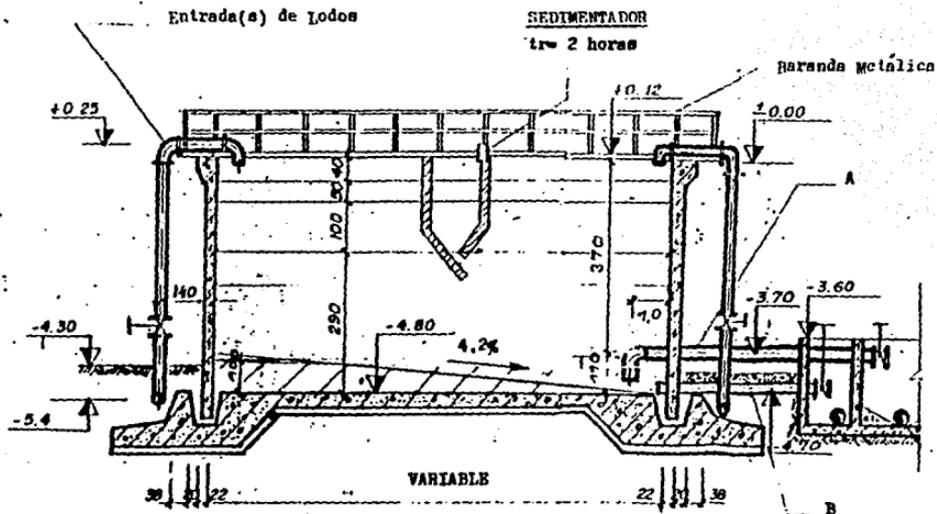
Se señala que la cantidad de orificios es de la mayor importancia, con vistas a evitar los "corto-circuitos" ("channeling") lo cual afectaría el mezclado, sobre todo en residuales de baja carga, ya que los mismos tienen una producción de biogás muy baja siendo esto inadecuado para la mezclado lodos.

f) decantores; se pueden dimensionar para velocidades de 20 - 30 $m^3/m^2.día$ (0.8 - 1.2 m/h), y como máximo de 1.5 m/h, aunque valores tan altos como 2 m/h pueden admitirse en forma temporal; en cuanto a las pendientes de las paredes, pueden utilizarse ángulos (con la horizontal) de 50° - 60°.

g) eficiencia; este parámetro depende de varios factores, entre ellos: temperatura, carga y tiempo de retención; normalmente pueden estimarse eficiencias en el rango del 65% - 85% para la DBO⁵ y de un 80% - 90% para los sólidos suspendidos con los parámetros de cálculo considerados anteriormente.

Digestores Abiertos y Horizontales.- Experiencias de Cuba.

Dada la necesidad de tratar residuales orgánicos de alta carga como es el caso de los efluentes de granjas porcinas, en Cuba se comenzaron a utilizar digestores prismáticos, abiertos, habiéndose construído este tipo de digestores tanto para residuales porcinos como para otros residuales orgánicos de alta carga. Una variante interesante, con vistas a reducir la cantidad de objetos de obra y procesos unitarios fue eliminar la sedimentación primaria, alimentando el digesor anaeróbico abierto con los residuales crudos con sólo un tratamiento preliminar de limpieza mecánica. (Ver ESQUEMA 5-2)



ESQUEMA 5-2.- DIGESTOR ANAEROBICO ABIERTO SIN RECIRCULACION

- A.- Alternativa de extracción de lodos para digestión adicional en digester de flujo de lodos de flujo Ascendente
- B.- Alternativa de extracción de lodos para lecho de secado

Evidentemente un diseño de este tipo no se corresponde con el proceso anaeróbico ideal y por lo tanto no se pueden extrapolar las experiencias derivadas de digestores cerrados. Los parámetros de diseño preliminares, derivados de la experiencia obtenida puede resumirse de la forma siguiente:

<u>Parámetro</u>	<u>UM</u>	<u>Valor</u>
- Altura total; de ella:	m	3,7 - 4,6
- capa de espuma	m	0,6 - 0,8
- sobrenadante	m	0,4 - 0,6
- zona activa de digestión (*)	m	1,8 - 2,2
- almacenamiento de lodos	m	0,6 - 0,7
- reserva	m	0,3
- Carga orgánica (referida al volumen activo del digestor)	Kg DBO ₅ /m ³ .d	2 - 2,5
- Tiempo de digestión de los sólidos	días	> 20
- Eficiencia de remoción de los DBO ₅	%	55 - 65

NOTA: (*) Obsérvese que para un digestor prismático de zona activa de digestión resulta ser aproximadamente el 50% del volumen total, por lo cual la carga orgánica contra el volumen total de reactor será de 1-1,2 kg DBO₅/m³.d.a, valor que está dentro de los rangos máximos recomendados para tiempos de retención mayores de 20 días.

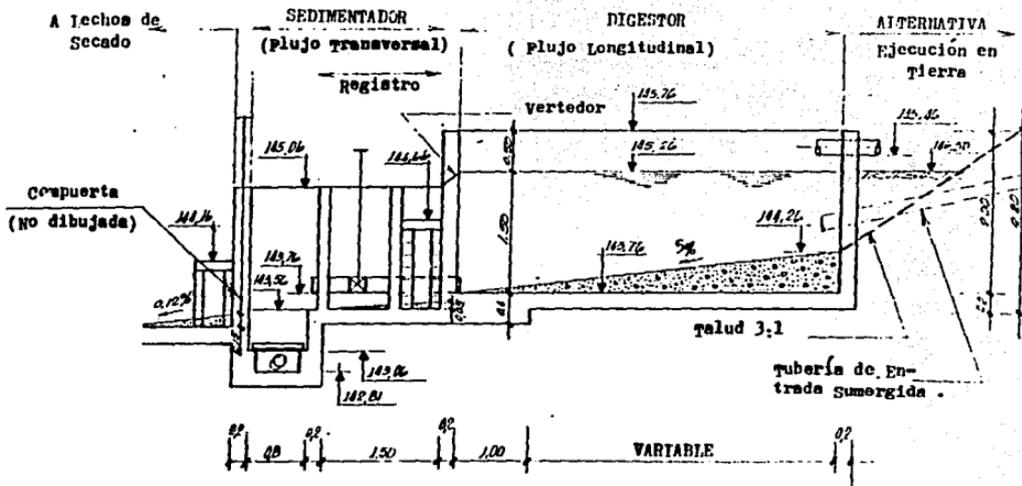
En relación con el tiempo de retención, la práctica usual ha sido considerar siempre tiempos mínimos de 20 días; sin embargo, las investigaciones realizadas en la

decáda de los años 60 han demostrado que los digestores pueden operar con tiempo de retención tan reducidos como de 5 días (y menos, si consideramos los de mantos de lodo de flujo ascendente), siempre y cuando el tiempo de retención de los sólidos esté por encima de un cierto valor crítico el cual, de acuerdo con la velocidad de regeneración de las bacterias del metano, está en el orden de los 10 días a 35° C.

Por otra parte, y con vistas a la reducción de insumos de importación, minimizar el consumo de hormigón y acero, y disminuir las capacidades de bombeo, se desarrollaron también para el tratamiento de aguas residuales de alta carga digestores abiertos de flujo horizontal. Estos digestores se construyeron en excavación, con profundidades de operación de 1,5 a 1,8 m y con cargas del orden de los 2 kg de sólidos volátiles/m³ de digestor; en el extremo del digestor se ubicó un sedimentador con velocidades ascensionales menores de 0.6 mm/min. y tiempo de retención del efluente líquido de 1.5 a 2 horas. Los resultados fueron altamente satisfactorios y los costos de construcción y operación, como es evidente, muy bajos. (Ver ESQUEMA 5-3)

Tratamiento de los Efluentes de los Digestores.

La fase líquida de los digestores debe tratarse, como hemos apuntado anteriormente, por métodos aeróbicos para completar su estabilización. En condiciones de climas tropicales, la mejor solución resulta ser un sistema de lagunas de estabilización, tomando en cuenta que es el sistema que asegura la mayor remoción de organismos patógenos y especialmente de helmintos, y a la vez es el de menor componentes de insumos de importación, de energía y de requerimientos para la operación y el mantenimiento. En las condiciones de Cuba, esta fue la solución adoptada, con el tratamiento de los efluentes de los diferentes digestores construídos con un sistema de lagunas de oxidación que incluían



ESQUEMA 5-2.- SECCION LONGITUDINAL TIPICA DE DIGESTOR ANAEROBICO ABIERTO DE FLUJO HORIZONTAL PARA PEQUEÑOS GASTOS

Carga: 2,5 KG SV/M³

lagunas anaeróbicas, facultativas y de maduración. La disposición de los lodos se hizo por la vía de lechos de secado, obteniéndose eficiencias totales en la remoción de la DBO_5 cercanas al 90% para todo el sistema.

C) SISTEMAS DE TRATAMIENTO CONVENCIONALES.

Para aguas residuales de origen orgánico de cargas menores de 2000 mg DBO_5 /litro se utilizan los procesos a los que hemos denominado convencionales. En lo que sigue se analizan brevemente las características de los mismos así como sus ventajas y desventajas en un ordenamiento descendente en cuanto a las eficiencias en la remoción de patógenos, aspecto éste que fue tratado en los Capítulos III y IV.

Sistemas de Lagunas de Oxidación.

Los sistemas de lagunas de oxidación se analizan en detalle en un Capítulo aparte. Las ventajas de estos sistemas pueden resumirse en la forma siguiente:

1.- Cuando se construyen en serie con las etapas anaeróbica, facultativa y de maduración, con tiempos totales de retención superiores a los 21 días pueden eliminar totalmente los helmintos y reducir las bacterias y los virus en más de un 99.9% (más de 3 unidades logarítmicas).

2.- La remoción de la DBO_5 (0 sub) puede alcanzar valores entre un 90 y 95%.

3.- La remoción de los sólidos en suspensión está en el orden del 85 al 95%.

- 4.- No requieren insumo de energía.
- 5.- Los requerimientos de operación y mantenimiento son mínimos.
- 6.- La construcción es sencilla y de acuerdo al tipo de terreno puede resultar la menos costosa en comparación con otros sistemas.
- 7.- No requieren del manejo de lodos.
- 8.- Si bien resultan ser más eficientes en climas cálidos (en cuanto a cargas por unidad de área en función de la temperatura) pueden utilizarse también en climas templados.

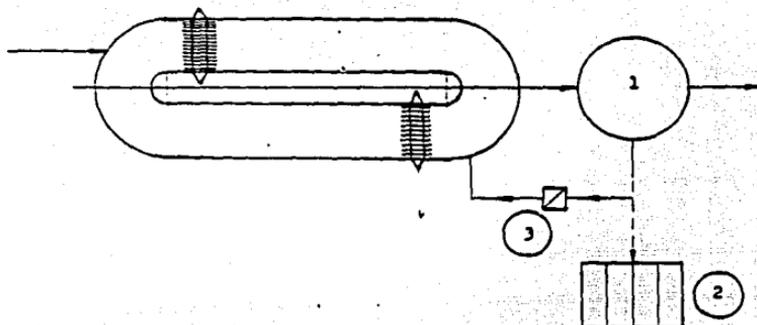
Las principales desventajas están dadas por:

- 1.- Un mayor requerimiento de área en relación con otros sistemas de tratamiento, lo cual puede encarecer su construcción en caso de costos altos de los terrenos, o eventualmente impedir su utilización en función de la disponibilidad de área.
- 2.- Los efluentes normalmente tienen algas en suspensión lo cual puede afectar la reutilización de los mismos para fines distintos al riego, la piscicultura o la producción de plantas acuáticas.

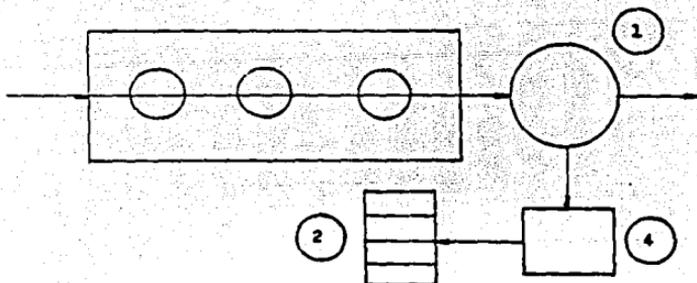
Zanjas de Oxidación.

Las zanjas de oxidación pueden considerarse como una modificación del sistema de lodos activados convencional. El sistema consiste en un canal continuo de

A.- Zanja de Oxidación



B.- Laguna Aerada



ESQUEMA 5-4.- INSTALACION TIPICA DE :

A.- Zanja de Oxidación

B.- Laguna Aerada

1.- Sedimentador

2.- Lecho de Secado

3.- Bucle de Recirculación

4.- Digestor

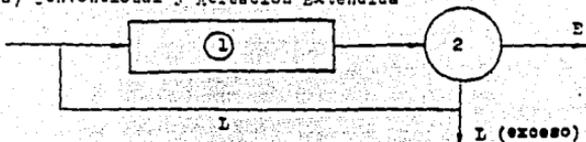
profundidades de 1.0 a 1.5 m con aereación y circulación inducidas por un aereador cilíndrico horizontal. El tiempo de retención del líquido es de 1 a 1.5 días y el de los sólidos de 20 a 30 días, lo cual se logra con un alto porcentaje de recirculación; bajo estas condiciones se produce un mínimo de lodos en exceso altamente mineralizados, por lo cual se pueden disponer directamente a lechos de secado. El esquema típico de la instalación incluye una reja mecánica, la zanja de oxidación como tal, un sedimentador, una bomba de recirculación y los lechos de secado. (Ver ESQUEMA 5-4)

Las principales ventajas de este sistema resultan ser:

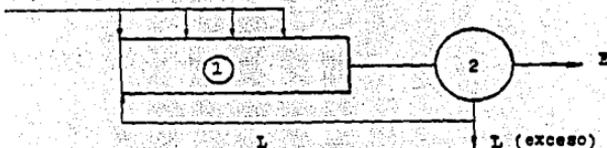
- 1.- Remociones de la DBO_5 del orden del 95%.
- 2.- La remoción de sólidos en suspensión es tan alta como las de los sistemas de lodos activados y filtros biológicos.
- 3.- El manejo de los lodos es mínimo.
- 4.- Los requerimientos de área son similares a los de otros sistemas convencionales, aunque menores que los sistemas de lagunas de oxidación.
- 5.- Son relativamente fáciles de operar y mantener (menor complejidad que otros sistemas convencionales); la construcción y los costos de la misma se comparan favorablemente con los otros sistemas convencionales (excepto con los sistemas de lagunas de oxidación).

En cuanto a las desventajas, las principales son las siguientes:

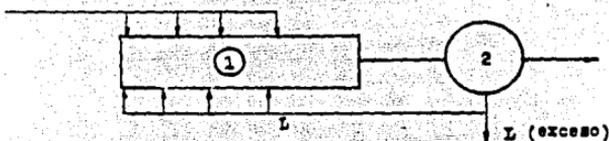
a) convencional y Aeración Extendida



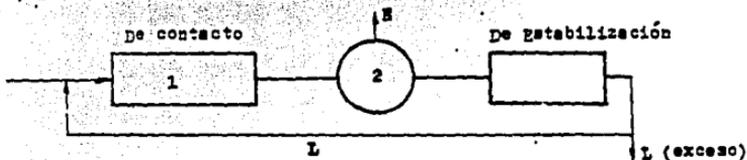
b) por pasos



c) mezcla completa



d) Estabilización por contacto



ESQUEMA 5-5.- PROCESOS DE LODO ACTIVADO

Leyenda: 1. Tanque de aeración
L: Recirculación de lodos
2. Sedimentador
E: Efluente

1.- La remoción de cistos de protozoos es baja (50%); en el caso de los helmintos es del orden del 50 al 99% (2 unidades logarítmicas). Las remociones de virus y bacterias también están en este orden, por lo cual para la reutilización de residuales normalmente se requerirá un tratamiento adicional.

2.- Los costos de mantenimiento y las demandas de energía son altos y similares a los del sistema de lodos activados.

Sistemas de Lodos Activados.

En los sistemas de lodos activados las aguas residuales provenientes de una sedimentación primaria son llevadas a un tanque donde se le suministra oxígeno, principalmente por difusores. Las bacterias que se desarrollan en este residual oxigenado son separadas en un sedimentador secundario y son recirculadas al tanque de aereación con el objetivo de mantener altas concentraciones de células en el mismo (del orden de 2000 a 8000 mg/l). Los lodos contienen algunos sólidos inertes, pero la mayor parte consiste en flóculos con bacterias y protozoos vivos (activos), de donde se deriva el nombre de lodos activados. (Ver ESQUEMA 5-5)

Existen varios procesos de lodos activados: el proceso convencional consiste en un reactor a flujo de pistón con recirculación de lodos y en el reactor se suministra oxígeno a un ritmo constante en toda su longitud; en el proceso de aereación por paso, el suministro se reduce progresivamente a lo largo del tanque. En los dos procesos anteriores el tiempo de retención hidráulica promedio es de 8-12 horas.

En el proceso de estabilización por contacto, las fases de la remoción de la DBO

(adsorción a los flocos y solubilización y oxidación de los compuestos del residual (por las bacterias) están separados, a diferencia de los dos primeros procesos; en un tanque de aereación por contacto con un tiempo de retención de 0.5 -1 hora se produce la adsorción; los sólidos son sedimentados y después aereados durante un período de 2 a 4 horas para permitir la solubilización y oxidación y reactivar los lodos, señalándose que este proceso es apropiado para residuales cuya DBO esté asociada con sólidos suspendidos y coloidales. Este proceso permite considerables ahorros en las inversiones y en los costos de operación dado que el volumen total de aereación es mucho menor.

Finalmente el proceso de aereación extendido es similar al convencional, pero la aereación se "extiende" a un período de 18-48 horas, con lo cual se producen mucho menos lodos.

En adición a los cuatro procesos anteriores se podría considerar el proceso de mezcla completa y eventualmente un sexto (super-aereación).

Las ventajas del sistema de lodos activados pueden resumirse en la forma siguiente:

- 1.- La remoción de la DBO_5 puede alcanzar valores del 95%, al igual que el de los sólidos en suspensión, pero en rigor habría que considerar un rango entre un 60 y un 95%.
- 2.- Los requerimientos de área son de los más reducidos en comparación con otros sistemas de tratamiento (excepto los de plantas compactas).

3.- El sistema tiene una mejor remoción de nutrientes que otros sistemas convencionales, pudiendo lograr la nitrificación completa en los sistemas de baja carga.

Por otra parte, las desventajas relativas se pueden resumir en la siguiente forma:

1.- La remoción de cistos de protozoos es pobre (50%) no siendo factible la remoción total de los helmintos.

2.- La remoción de las bacterias y los virus están en el orden de las 2 unidades logarítmicas (menos del 99%) por lo cual los efluentes de estas plantas no son apropiados para la reutilización de los residuales, a menos que se añada un tratamiento terciario.

3.- El sistema, sobre todo trabajando con cargas altas, no es capaz de asimilar cargas "pico".

4.- Se requiere de una operación de cierta precisión para mantener la eficiencia de la planta.

5.- Los costos de energía, mantenimiento y operación son altos.

6.- La construcción es más compleja y costosa que la de otros sistemas convencionales.

Sistemas de Filtros Biológicos.

Los sistemas convencionales de filtros biológicos consisten en un lecho

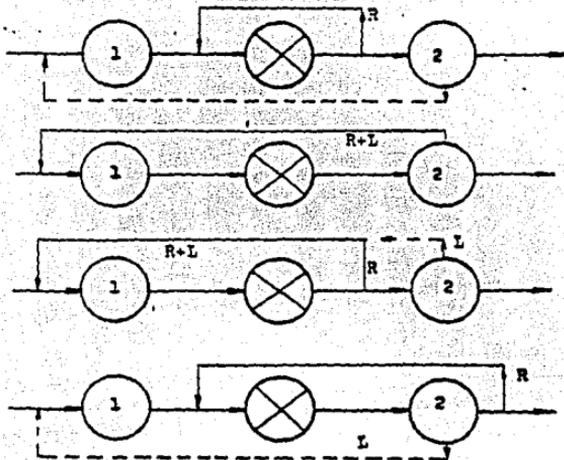
percolador alimentado con aguas residuales previamente sedimentadas. Al circular por el material de soporte del filtro, se crea una zooglea la cual oxida el residual durante su paso por el filtro. Parte de esta zooglea es lavada por la circulación, por lo cual se requiere de una sedimentación secundaria.

Existen filtros de varias cargas (bajas, medias, altas, superaltas) incidiendo en las posibilidades de aplicación de diferentes cargas el régimen de recirculación, el tipo de soporte (área de superficie por m^3 de volumen) y la altura del filtro. A la vez, existen distintas combinaciones para la recirculación y la utilización de filtros en serie. La recirculación es importante con el objetivo de reducir y uniformar el ritmo de crecimiento de la zooglea y para mejorar la distribución del agua en toda el área del filtro. (Ver ESQUEMA 5-6)

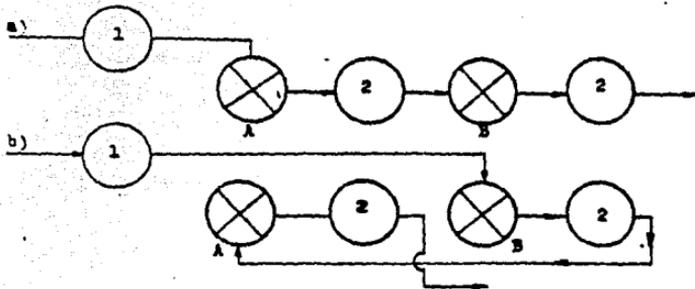
Las ventajas de este sistema resultan ser:

- 1.- Alta eficiencia en la remoción de la DBO (hasta un 95%).
- 2.- Alta eficiencia en la remoción de los sólidos suspendidos.
- 3.- Puede lograr la nitrificación completa especialmente en los filtros de baja carga.
- 4.- Necesidades mínimas de área.
- 5.- Los requerimientos de energía y los costos de esta operación son menores que para los sistemas de cieno activado y que para las zanjas de oxidación.

A.- Alternativas de Recirculación (Una Etapa)



B.- Doble filtración Alternas



ESQUEMA 5-6.- INSTALACIONES TÍPICAS DE FILTROS BIOLÓGICOS DE UNA ETAPA CON RECIRCULACION

legenda: 1. sedimentador Primario R. Recirculación
2. sedimentador Secundario L. Retorno de lodos

Por otra parte, las desventajas pueden resumirse en la forma siguiente:

- 1.- La remoción de virus, bacterias y huevos de helmintos es inferior a la que se logra en los procesos de lodo activado; en consecuencia los efluentes no deben ser reutilizados sin un tratamiento terciario.
- 2.- Los costos y complejidades de la construcción resultan ser de los más altos en relación con otros sistemas de tratamiento.
- 3.- La demanda de energía, los costos de mantenimiento y la simplicidad de la operación no compiten con los correspondientes a los sistemas de lagunas de estabilización y las zanjas de oxidación.

Otras Combinaciones de Sistemas de Tratamiento Convencionales **Filtros Biológicos.**

En el presente material no se han considerado otras alternativas de tratamiento de residuales como podrían ser los sistemas de filtros biológicos de dos etapas, ni tampoco el Proceso de Activación Biológica el cual combina un tratamiento inicial con filtros biológicos seguido de un proceso de lodo activado. La no consideración de estos procesos y de otras alternativas se debe por una parte a que el aumento de la eficiencia de remoción de tales instalaciones es discutible, y por otra, que tales procesos implican bombeos y sedimentación intermedias, aumentando la cantidad de operaciones y procesos unitarios lo cual está en contra de la "filosofía" de diseño que habíamos considerado.

Tampoco hemos incluido un análisis de los sistemas de tratamiento por

disposición en suelos, lo cuales tiene ventajas de importancia, pero requieren de extensiones de terreno considerables y también tienen un insumo importante de fuerza de trabajo.

D) RESUMEN

El tratamiento de los residuales orgánicos de alta carga debe realizarse por la vía de la digestión anaeróbica, la cual, a su vez, deberá ser complementada con un tratamiento aerobio del afluente, en atención a que la digestión anaeróbica no puede estabilizar totalmente la materia orgánica.

La utilización de un proceso anaeróbico, si bien tiene la ventaja de producir un mínimo de lodos y aportar energía (gas metano), tiene dificultades de importancia, entre ellas la afectación por bajas temperaturas y las dificultades para la puesta en marcha y estabilización del proceso.

Una combinación adecuada para el tratamiento de residuales de alta carga, es la utilización de la digestión anaeróbica con digestores simplificados y omitiendo la sedimentación primaria con sistemas completos de lagunas de estabilización; según la experiencia cubana, estos sistemas son confiables, fáciles de operar y permiten obtener eficiencias de remoción de la DBO del orden del 85% para residuales de granjas porcinas.

En relación con los sistemas de tratamiento convencional, y con vistas a la selección de los mismos se evidencia que en principio los sistemas se pueden ordenar en orden descendente de sus eficiencias para eliminar los organismos patógenos. En

este caso, el sistema más eficiente a utilizar, y que debe ser siempre considerado como la primera alternativa de selección es el sistema de lagunas de estabilización, el cual presenta como principal desventaja los requerimientos de área.

Finalmente la selección del tipo de sistema a emplear dependerá de una evaluación técnico-económica de variantes.

Se señala, por otra parte, que las soluciones para el tratamiento de los residuales tienen que ser consideradas casuísticamente, no existiendo "recetas" únicas para todas las situaciones.

E) BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

DORTICOS, P. L.- "Contribución al Tratamiento de Residuales Agropecuarios". II Taller de Residuales de Montaña.

KORBITZ, W.E.- "Implementing Water Reuse for Potable Purposes- What are the Risks?".- IV Water Reuse Symposium, Denver, Colorado, USA, 1987.

OKUM, Daniel A.- "Non Potable Water Reuse... A Proven Resource".- IV Water Reuse Symposium, Denver, Colorado, USA, 1987.

SHUVAL, H. et al.- "Wastewater Irrigation in Developing Countries".- World Bank Technical Paper No. 51, 1986.

WESTERHOFF, G.P.; BERKUM, J.- "Water Reuse 2000: Trends Influencing Changes".- IV Water Reuse Symposium, Denver, Colorado, USA, 1987.

DEGREMONT, G.- "Manual Técnico del Agua".

DORTICOS, P.L.- "Contribución al Tratamiento de Residuales Pecuarios en Condiciones de Montaña".- III Taller de Tratamiento de Residuales en la Montaña, Plan Turquino, 1990.

GTZ (RFA).- "Manual de Disposición de Aguas Residuales".- CEPIS/OPS/OMS.- Lima, 1991.

MARA, D.- "Waste Water Treatment in Hot Climates".- J. Willy and Sons, 1976.

OKUM, D.A. y PONGHIS, G.- "Community Wastewater Collection and Disposal".-

136
FALLA DE ORIGEN

WHO, Ginebra, 1975.

YANEZ, F.- "Criterios Generales para la Selección de Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales".

PESCOD, M.B.- "Integration of Wastewater Treatment and Agricultural Decision - Making for Effluent Reuse in Developing Country Irrigation".- Proceedings of the IV Symposium in Water Reuse, Denver, Colorado, USA, 1987.

SHUVAL, H.I. et al.- "Wasterwater Irrigation in Developing Countries".- World Bank Techical Paper No. 5º, Washington D.C., 1986.

FAIR, G.M.: GEYER, J.C. y OKIN, D.E.- "Water and Wastewater Engineering", Vol. II, John Wiley and Sones, 1968.

GERBA, CH.P.- "Pathogens".- "Proceedings of the Workshop on Utilization of Municipal Wastewater and Sludge on Land".- California, 1983.

MARA, D.- "Sewage Treatment in Hot Climates".- John Wiley and Sones, 1986.

DORTICOS, P.L.- "Tratamiento y Reutilización de las Aguas Residuales de la Ciudad de La Habana a Partir de Emisario de la Playa El Chivo".- ETE, INRH, Cuba, 1990.

ECKENFELDER, W.W.- "Industrial Water Pollution Control".- Mc Graw-Hill, N.Y., USA, 1966.

FAIR, G.M: GEYER J.C. y OKUM, D.A.- "Water and Wastewater Engineering".- John Wiley and Sones, 1967.

GTZ.- "Manual de Disposición de Aguas Residuales".- CEPIS, Lima, Perú, 1991.

MARA, D.- "Sewage Treatment in Hot Climates".- John Wiley and Sons, 1976.

OKUN, D.F. y PONGHIS, G.- "Community Wastewater Collection and Disposal".- WHO, Ginebra, 1975.

SHUVAL, H.I. et al.- "Wastewater Irrigation in Developing Countries".- World Bank Technical Paper No. 51, Washington D.F., 1986.

U.S.E.P.A.- "Design of Wastewater Treatment Facilities. Major Systems".- 1978.

MONROY, MM. et al.- "Biodegradabilidad Anaerobia del Efluente de una Industria Embotelladora de Bebidas Gaseosas".- IX Congreso SMISA, México, 1933.

GTZ.- "Manual de Disposición de Aguas Residuales".- CEPIS, Lima, Perú, 1991.

OKUN, D.A. y PONGHIS, G.- "Community Wastewater Collection and Disposal".- WHO, Ginebra, 1975.

SHUVAL, H.I. et al.- "Wastewater Irrigation in Developing Countries".- World Bank Technical Paper No. 51, Washington D.C., 1986.

U.S.E.P.A.- "Design of Wastewater Treatment Facilities. Major Systems".- 1978.

ECKENFELDER, W.W.- "Industrial Water Pollution Control".- Mc Graw-Hill, N.Y., USA, 1966.

DORTICOS, P.L.- "Criterios sobre la Remoción de los Patógenos en el Tratamiento y

Reutilización de Aguas Residuales". - CENHICA, Cuba, 1990.

DORTICOS, P.L.- "Tratamiento y Reutilización de las Aguas Residuales de la Ciudad de La Habana a partir de Emisario de la Playa El Chivo".- ETE, INRH, Cuba, 1990.

FAIR, G.M.; GEYER J.C. y OKUN, D.A.- "Water and Wastewater Engineering".- John Wiley and Sons, 1967.

MARA, D.- "Sewage Treatment in Hot Climates".- John Wiley and Sons, 1976.

CAPITULO 3

SELECCIÓN DE EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS

DESCRIPCIÓN DE UNA PLANTA PROTOTIPO

Como puede comprenderse, una planta de tratamiento de aguas residuales no se compone solamente de los tanques donde se lleva a cabo el proceso, sino que también incluye las instalaciones del edificio central, laboratorio de control, talleres, almacén, subestación, etc., además de los equipos, dispositivos y/aditamentos necesarios para el suministro de energía, medición, control y alumbrado, bombeo, aereación, etc.

Para efecto de facilitar el proyecto, este trabajo se enfoca únicamente a contemplar el equipo que interviene directamente en el proceso (subestación, sistemas de fuerza, control y alumbrado, equipo eléctrico y de bombeo), así como el denominado equipo auxiliar (tales como sopladores aspersores, tableros de medición eléctrica y mecánica, etc.)

La demanda de agua en el Área Metropolitana de la ciudad de México ha aumentado de tal manera que ha resultado necesario establecer ciertos planes para optimizar su manejo, distribución y aprovechamiento; entre éstos, se encuentra el enfocado al tratamiento y uso de las aguas residuales generadas en la ciudad de México y el área metropolitana, para rescatar volúmenes apreciables de aguas de primer uso en aplicaciones tales como el riego de áreas verdes y llenado de estanques y lagos recreativos, suministro a industrias, recarga del acuífero y, eventualmente, agua potable.

A) JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO EJECUTIVO

A fin de evaluar la posibilidad de aprovechar partes del sistema actual para el proyecto y, además verificar la disponibilidad de agua en el efluente de la planta contra las necesidades de agua totales, incluyendo las del proyecto, se procedió a estudiar el funcionamiento del sistema actual.

Debido a la alta demanda de agua potable en el área tanto para riego como para consumo humano y de tipo industrial, se propone el siguiente estudio de factibilidades a fin de seleccionar la opción más viable.

El sistema de abastecimiento de aguas negras tratadas para riego deberá funcionar de la siguiente forma:

- De la planta de tratamiento prototipo de la cual se está hablando, el agua es bombeada hacia un tanque de almacenamiento de agua tratada para su distribución y consumo.
- Por medio de bombeo se regarán Ha de aguas verdes.
- Esta acción será constante durante todo el año incrementándose durante los meses de estiaje (OCTUBRE a JUNIO) y programarse trabajos de mantenimiento al equipo durante las temporadas de lluvias (JULIO a SEPTIEMBRE).

Cuando el agua no es utilizada para regar, ésta puede ser almacenada y distribuida en tanques de almacenamiento para canalizarse para otros servicios tales como limpieza de áreas docentes y servicios sanitarios.

A partir del anterior planteamiento se propone regar todo el año, excepto en los meses de julio, agosto y septiembre en los que se considera que la precipitación pluvial es suficiente para conservar en buenas condiciones las áreas verdes y, consecuentemente en este periodo se programarán el mantenimiento a los equipos que presentan deficiencia en su funcionamiento.

Del análisis del gasto promedio requerido por hectárea será:

$$Q = 5.5 \text{ m/hora/ha}$$

$$Q = 1.527 \text{ LPS/ha}$$

B) BASES DEL PROYECTO

A partir de los resultados obtenidos se deberán contemplar los siguientes puntos:

Levantamientos Topográficos

Estudios de Mecánicos de Suelos y Geotecnia

Diseños Hidráulicos

Diseños Estructurales, y

Diseños Electromecánicos.

Documentos Topográficos

Estos consistirán en: trazo de la línea de conducción, configuración de los sitios en que se construirá la planta de tratamiento, tanque de almacenaje y regulación y configuración de un cruceo especial de la conducción.

A partir del trazo propuesto para la línea de conducción se debe efectuar un reconocimiento detallado de la zona para establecer los sitios obligados de paso de dicha obra.

Estudios de Mecánica de Suelos y Geotecnia

Para definir la capacidad de carga de los terrenos en los que se construirá el proyecto y presentar las recomendaciones de cimentación y desplante de las estructuras se deberán efectuar sondeos de penetración estándar y análisis de suelos en los sitios seleccionados para su ubicación.

Diseños Hidráulicos

Con base en los resultados se procederá a efectuar el diseño de las obras y la selección de los equipos que integran el sistema de captación, bombeo, conducción y regulación de aguas residuales tratadas de la planta para el riego.

Diseños Estructurales

El proyecto de conducción y almacenamiento de aguas residuales tratadas de la planta para su aprovechamiento en riego contempla la construcción de tanques para el tratamiento del agua residual, caseta para la subestación eléctrica y sala de máquinas de control del proceso, así como un tanque de almacenamiento y regulación del efluente.

Con base en las dimensiones de las estructuras, resultantes del diseño hidráulico, y de las condiciones del subsuelo reportados en el estudio de mecánica de suelos, se

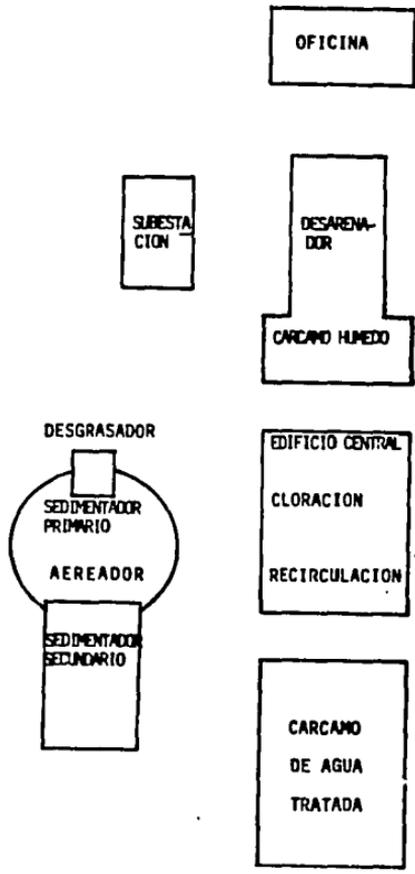
realizarán los diseños estructurales para condiciones estáticas y dinámicas de cargas.

Diseños Electromecánicos

El proyecto eléctrico de la planta de tratamiento incluye:

- Cálculo y selección de los equipos y alimentación de los sistemas de fuerza, control y alumbrado.
- Cálculo y selección de los equipos electromecánicos para el bombeo de agua residual.
- Cálculo y selección de los equipos auxiliares que intervienen en el proceso.
- Programa de mantenimiento a los equipos que intervienen en el proceso de tratamiento de aguas negras.

DISPOSICION DE LA PLANTA



D) DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

CLASIFICACIÓN	EQUIPOS, ACCESORIOS Y/O ADITAMENTOS REQUERIDOS			PRONÓSTICO	DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
	HIDRAULICO	ELECTRO-MECÁNICO	OBRA CIVIL Y OTROS			
1. Captación y Conducción de Aguas Residuales.	-Bombas (generalmente centrífugas) -Tubería -Accesorios (Válvulas, codos)	-Motores -Tableros de control -Protectores térmicos -Arrancadores -Cableado	-Cárcamos	-Recepción y conducción de las aguas residuales por tratar. -Regulación del caudal por tratar		*Deben proveerse varias unidades con capacidad suficiente para bombear el caudal máximo previsto a fin de realizar los programas de mantenimiento preventivo.
2. Tratamiento Preliminar	-Tubería y accesorios para alimentación y drenaje -Bombas en algunos casos: -Tubería de conducción de aire y accesorios -Difusores -Cabezales de distribución	-Motores -Tablero de control -Protectores térmicos -Arrancadores -Cableado en algunos casos: -Sopladores o compresores	-Canal desarenador -Rejas de barras -Tanques desgrasadores -Tanques de compensación -Desmenuzadores -Cárcamo	-Acondicionamiento de las aguas residuales para evitar perjuicios a los equipos de bombeo principalmente -Inhibición de incrustaciones, en líneas de conducción -Separación de materiales flotantes	*La función principal de las rejas es detener el paso de sólidos, granes, suspendidos o flotantes *El canal desarenador permite la sedimentación de arenas y otras partículas que ocasionan daños por abrasión al equipo de bombeo	*Inclinación usual de rejas: 30 a 45° *Tiempo de retención en desgrasadores: 3-5 minutos *Velocidad superficial en desarenadores: 0.3 m/s
3. Tratamiento Primario	-Tubería y accesorios para (alimentación, efluente, desvate y drenaje)	-Motorreductores -Arrancadores -Mecanismos de rastras: Engranajes	-Tanques de sedimentación -Vertederos y canaletas de recolección -Mamparas de	-Separación de sólidos suspendidos de las aguas residuales -Separación de	*El agua entra a baja velocidad y los sólidos suspendidos se sedimentan debido	*Pueden ser rectangulares, con difusión homogénea del influente

		Catarinas Cadenas -Cableado	Necturas -Rastras -Canaletas de desnate	grasas, aceites, y material flo- tante	a su peso es- pecífico, de ahí son remo- vidos mediante las rastras que los empujan hacia las tolvas de recolección de donde son extraídos hi- dráulica o me- cánicamente para su dispo- sición. El me- canismo de rastras también empujan las natas a una ca- naleta, de don- de se descar- gan al drenaje	
4. Tratamiento Secundario	-Tubería y ac- cesorios para (alimentación, efluente y dre- naje) -Tubería y ac- cesorios para conducción de agua tratada para rompi- miento de es- puma (incluye hoquillas de aspersión) -Tubería y ac- cesorios para conducción de aire comprimi- do (incluye di- fusores, múlti- ples, cabezales de distribución y válvulas de aivio) -Tubería y ac- cesorios para conducción del	-Compresores o sopladores (incluye filtros de aire) -Motores para las bombas de recirculación y rompimiento de espuma -Arrancadores -Protectores térmicos -Cableado	-Tanque de aereación -Canaletas y vertederos para recolec- ción de mezcla biomasa + agua residual -Caja partidora para la recir- culación	-Proveer los requerimientos de nutrientes necesarios para la degra- dación de la materia orgá- nica -Mantener en suspensión la biomasa -Mantener constante el nivel de SSVLM. Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado. Li- cor mezclado. Mezcla de bio- masa + aguas residuales. Mediante la tasa de recir- culación ade- cuada.	-La dosifica- ción de aire se evalúa en fun- ción de los requerimientos que se tengan considerando el tipo de agua; en cual- quier caso; el nivel de oxígeno disuelto en cualquier pun- to del tanque no debe disminu- ir de 2 mg/l	-Eficiencia de transferencia de oxígeno -Difusores de burbuja fina 9% -Difusores de burbuja gruesa

	caudal de recirculación -Bombas para: rompimiento de espuma -Recirculación			-Romper la espuma ocasionada por la agitación del licor mezclado por el aire comprimido		
4b. Sedimentación Secundaria	-Tubería y accesorios para alimentación, efluente (si es necesario), colección de lodos de las tolvas y conducción a la bomba de recirculación y drenaje	-Motorreductores -Arrancadores -Cableado -Mecanismos de rastras: Engranajes Catarinas Cadenas	-Tanques de sedimentación -Vertederos y canaletas de recolección -Mamparas deflectoras -Rastras -Canaletas de desnate	-Separar floculos del licor mezclado, clarificando el efluente -Colectar lodos activados en las tolvas para recircularlos al tanque de aereación		*Tiempo de retención aproximadamente 2 hrs *Carga superficial similar al primario *Carga en vertederos similar al primario
5. Desinfección	-Tubería y accesorios para conducción de efluente -Tubería y accesorios para conducción de solución de cloro hacia el tanque de contacto -Rotámetros -Bombas dosificadoras (cloradores) -Tubería y accesorios para conducción de agua y gas cloro hacia la bomba dosificadora	-Motores para bombas dosificadoras -Cableado -Sistema de control	-Tanque de contacto (incluye mamparas) -Tanque de almacenamiento de cloro gaseoso	-Eliminar la mayor cantidad posible de bacterias patógenas	-La adición de una solución de gas cloro en agua al afluente del tratamiento secundario con un tiempo de contacto de ± 30 min. Elimina las bacterias patógenas	*Tiempo de contacto: 30 minutos *Dosificación: en función de las determinaciones de organismos coliformes y cloro residual *Cantidad de cloro residual deseable al término de 30 minutos: 0.5 mg/l
6. Almacenamiento y Distribución	-Tubería y accesorios para conducción de aguas tratadas -Bombas para	-Motores -Protectores térmicos -Arrancadores -Cableado	-Conducir el agua renovada hasta los lugares de reuso evitando la al-			-Dependientes del programa de optimización de la distribución de

	distribución de aguas tratadas	-Tanque de almacenamiento	teración de sus características propias		aguas tratadas
7. Servicios Auxiliares 7a. Suministro de Energía y Otros Equipos Eléctricos		-Subestación -Transformadores -Interruptores -Fusibles -Líneas de conducción de energía -Equipo de aislamiento -Tableros de control -Alumbrado interno y externo -Tomas de corriente -Obra civil para la subestación -Red de distribución interna -Obra civil para el tablero de control	-Proporcionar el necesario suministro de corriente con el alto voltaje adecuado -Protección de los motores eléctricos contra sobrecargas -Control adecuado, mediante el tablero de control, de la operación de equipo eléctrico		-Las señaladas en el proyecto eléctrico de la planta
7b. Medición y Control	-Vertederos -Canales -Otros dispositivos	-Sólo cuando se utilicen indicadores o registradores -Obra civil para canales de medición (P.ej. Parshall)			
7c. Laboratorio de Control	-Tubería y accesorios para conducción de: -Aire y vacío -Agua -Gas -Drenaje -Bombas de vacío	-Instalación eléctrica y alumbrado -Motores para bombas -Obra civil -Mobiliario -Materiales y reactivos	-Ejecutar el control de calidad del agua renovada -Apoyar la realización del control del proceso -Apoyar al control de	-El laboratorio en conjunto con el encargado de la planta diseña y ejecuta sus propios programas de muestreo y análisis, los cuales responderán a lo establecido en las políticas de operación de la planta y a los recursos materiales y humanos con que se cuenta.	-Iluminación suficiente -Ventilación apropiada -Conducciones de seguridad adecuadas -Equipamiento apropiado -Abastecimiento

			situaciones de emergencia respecto a la operación		to oportuno de materiales y reactivos
7d. Edificio Central, comprende: Oficinas, Almacenes, Talleres, etc.	*Tubería y accesorios para conducción de: -Agua -Drenaje	-Instalación eléctrica y alumbrado -Obra civil -Mobiliario y equipo diverso	-Oficinas: facilitar el control técnico y administrativo de la planta -Almacén: apoyar el programa de mantenimiento preventivo manteniendo siempre cantidades y tipos adecuados de refacciones apoyo al laboratorio -Talleres: facilitar la reparación y/o adecuación de equipos y dispositivos cuando sea posible		-Iluminación suficiente -Ventilación apropiada -Almacén: instalaciones adecuadas para el almacenaje y manejo de refacciones y equipos -Talleres funcionalidad

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EQUIPO DE BOMBEO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

3.1 PLANTEAMIENTO GENERAL DE LA PLANTA PARA LA SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO DE LAS DIFERENTES ÁREAS

A) DISEÑO DEL TANQUE DESARENADOR O TRATAMIENTO PREVIO

Se halla mucha materia arenosa o granular en las aguas residuales de sistemas colectores, bien unitarios o separados, en este caso se plantea unitario, a fin de que la cantidad será menor. Esta materia debe ser extraída de modo que no cause incomodidades tales como desgastes, obstrucciones, interrupciones y aún formaciones duras y compactas en los cierres y deben tomarse las debidas provisiones para su dispersión.

Con este propósito se construyen los desarenadores, los cuales constan de un estanque se sedimentación, donde, por control de la velocidad, la materia orgánica, que es de menor gravedad específica, se sostiene en suspensión mientras la materia minera, por ser de mayor gravedad, se deposita en el fondo.

Teóricamente, una partícula de alta gravedad específica suspendida en el agua se sedimenta a velocidad constante, según la Ley de Stokes, que está gobernada por la fuerza de la gravedad y la resistencia debida a la viscosidad del líquido.

Supóngase que, como en el croquis de la figura, una parcial P carga una

distancia d en un tiempo t con una velocidad de caída R .

Mientras hace la travesía l por ser llevada con una velocidad horizontal v , que corresponde al cociente Q/bd , siendo ésta la velocidad promedio a lo largo del estanque de sedimentación indicado.

Tenemos que:

$$Q = Vdb$$

$$Q = bd/vt$$

$$d = Rt$$

y finalmente

$$Q = Rbl$$

Así, la teoría indica que manteniendo Q constante para cualquier valor de R (que estará ligado por el diámetro de las partículas que se requieran remover, habrá un área superficial bl inversamente proporcional. O sea: el área bl será necesariamente mayor si se seleccionan partículas más pequeñas para ser extraídas, y viceversa. Además, no hace falta que la profundidad del estanque sea mayor que la que corresponde a la distancia vertical que ha de caer la partícula durante el periodo de su travesía o retención.

A continuación se propondrá el tanque desarenador para la planta de tratamiento tomando en cuenta diversos factores de diseño.

Para el cálculo del área superficial del desarenado que se requiere con el fin de

eliminar los sólidos suspendidos los cuales se consideran con un diámetro efectivo de 0.20 mm o más.

Así también con el fin de eliminar dichos sólidos se manejará una velocidad de sedimentación de 1.13 m/min, teniendo un gasto promedio de 25 L.P.S., lo que representa $2160 \text{ m}^3/\text{día} = 0.025 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$V = 1.13 \text{ m/min} \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) \left(\frac{24 \text{ h}}{\text{día}} \right)$$

$$V = 1627.2 \text{ m/día}$$

Utilizando la ecuación de continuidad de los fluidos, se tiene:

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{2160 \text{ m}^3/\text{día}}{1627.2 \text{ m/día}}$$

$$A = b l$$

$$A = 1.3274 \text{ m}^2$$

El largo del tanque se obtiene según:

$$L = \frac{A}{v}$$

L - largo del desarenador en m

V - Velocidad del agua en m/s = 0.30 m/s

v - velocidad de sedimentación = 1.13 m/min = 0.01883 m/s

d - profundidad, altura del agua = 0.80 m.

$$L = \frac{0.30 \text{ m/s}}{0.01883 \text{ m/s}} \quad (0.8 \text{ m})$$

$$L = \underline{12.7456 \text{ m}}$$

En la práctica se acostumbra aumentar el largo en 50% por lo que:

$$L = 12.7456 \text{ m} \quad (1.5)$$

$$L = \underline{19.1184 \text{ m}}$$

El cálculo del ancho del desarenador será:

$$b = \frac{Q}{0.3 H}$$

b - ancho

$$Q - \text{gasto} = 25 \text{ L.P.S.} = 0.025 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H - \text{altura del agua} = 0.80 \text{ m}$$

$$b = \frac{0.025 \text{ m}^3/\text{s}}{0.2 (0.8 \text{ m})}$$

$$b = \underline{0.1041 \text{ m}}$$

$$b = \underline{1.00 \text{ m}}$$

El largo varía entre 17 y 36 veces la profundidad, por lo que:

$$L = 17 d$$

$$L = 17 (0.8 \text{ m})$$

$$L = 13.6 \text{ m} / (\text{longitud mínima})$$

$$L = 36 \text{ (0.8 m)}$$

$$L = 28.8 \text{ m} / (\text{longitud máxima})$$

Por lo tanto, la longitud de 19.00 m es admisible.

El periodo de retención mínimo deberá ser de un minuto, por lo que:

$$Q = AV$$

$$Q = bdl/t$$

$$t = \frac{(1.00 \text{ m}) (0.8 \text{ m}) (19 \text{ m})}{0.25 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$t = \frac{15.2 \text{ m}}{0.025 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$t = 608 \text{ seg.}$$

$$t = 10.13 \text{ min}/$$

El tanque desarenador propuesto cumple con las disposiciones de las normas estándares internacionales para una buena función, es decir puede depositarse mucha materia inerte y deja pasar la materia suspendida que debe destinarse a los procesos de tratamiento.

B) DISEÑO DE REJILLAS DE AZOLVE PARA EL TANQUE DESARENADOR

- b.1 Normas técnicas de acuerdo a **NORMAS TÉCNICAS PARA EL PROYECTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

MUNICIPALES editado por la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas específica que:

1. Abertura entre barras
1.0 a 4.0 cm. valor medio = 2.5 cm.

2. Cantidad de material retenido

Abertura entre barras (cm)	Cantidad (lt/m ³ de agua residual)
4.0	0.0085
3.5	0.0120
2.5	0.0233
2.0	0.0375

3. Remoción del material retenido.

En las plantas pequeñas: Manual. El material retenido es enterrado o incinerado

En las plantas grandes y medianas: Mecánica. El material puede triturarse y regresarse al agua residual

4. Inclinación de las bombas.

En las instalaciones de limpieza manual. Ángulo con la vertical de 30 a 60° (media 45°).

En las instalaciones mecanizadas. De acuerdo al equipo.

De lo anterior se seleccionará lo siguiente de acuerdo a las condiciones de la planta.

1. Abertura entre barras = 0.025 m (valor medio)
 2. Cantidad de material retenido = 0.0233 l/m³ de agua residual
 3. Remoción del material retenido. Manual.
 4. Inclinación de las barras = 45° (valor medio)
- b.2 Cálculos para el diseño de las rejillas de barras.
1. Velocidad a través de las barras = 0.6 m/s para gasto de diseño.
 2. Eficiencia en función de las barras y la abertura entre ellas de 2.5 cm.

ESPESOR	BARRAS	EFICIENCIA
mm	pulg	
6.35	1/4	0.800
7.93	5/16	0.768
9.52	3/8	0.728
11.12	7/16	0.696
12.70	1/2	0.667

Se tomará el espesor de barras de 5/16 (7.93) para obtener una eficiencia de 0.768 teniendo en cuenta que se encuentra dentro de un rango medio de los valores mostrados.

Si $b = 1.00$ m

Entonces se utilizarán 9 barras de 5/16" (7.93 mm), por lo que el área útil será de:

$$b_{\text{util}} = 2.70$$

$$d_l = 0.8 \text{ m}$$

$$A_{\text{util}} = b_{\text{util}} \times d_l$$

$$A_{\text{util}} = (2.70 \text{ m}) (0.8 \text{ m})$$

$$A_{\text{util}} = 2.16 \text{ m}^2$$

3. Obtención del área total.

$$A_t = \frac{\text{área útil}}{\text{eficiencia}}$$

$$A_t = \frac{2.16 \text{ m}^2}{0.768}$$

4. Pérdida de carga en la rejilla: Fórmula de Metcalf E Eddy.

$$h_f = \frac{V^2 - v^2}{2g} \times \frac{1}{0.7}$$

donde: h_f - pérdida de carga en m

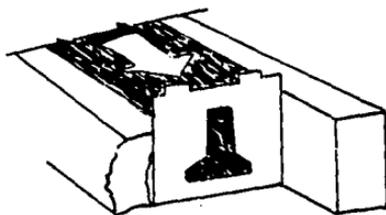
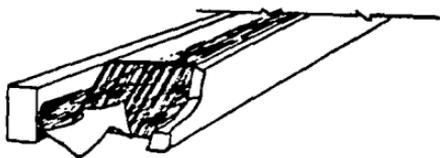
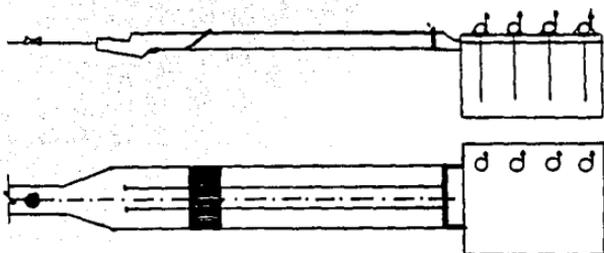
V - Velocidad a través de las barras, aproximadamente igual a 0.6 m/s.

v - velocidad aguas arriba de la rejilla:

$$v = 0.6 \times \text{eficiencia}$$

$$v = 0.6 \times 0.768$$

$$v = 0.461 \text{ m/s}$$



DESARENADOR

$$g = \text{aceleración de la gravedad} = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$hf = \frac{(0.6 \text{ m/s})^2 - (0.4608 \text{ m/s})^2}{2 (9.8 \text{ m/s}^2)} \times 1$$

$$hf = \underline{0.01076 \text{ m}}$$

C) **DISEÑO DE REGULADORES DE VELOCIDAD (VERTEDEROS)**

No hay ninguna línea fija de división entre el materia de una y otra clase, ya que cada clase contiene sustancias minerales y orgánicas; pero es mucho mejor evitar dificultades mayores eliminando del flujo aquella materia que sea de condiciones relativamente inofensivas y fácil de manejar.

Para evitar que la velocidad sea constante a través de un desarenador de forma rectangular, a pesar de que las profundidades sean variables con el gasto, según lo que es de espesor en una estación depuradora. Se emplea el denominado vertedero proporcional. Este consta de una plancha a través de la corriente, con una abertura para la descarga libre del agua. Las dimensiones de la abertura pueden calcularse en forma tal que la razón Q/A en el estanque sea constante; es decir: La velocidad no cambia aunque el nivel varíe según el gasto.

La ecuación que da el gasto para un vertedero proporcional, en términos del ancho de la abertura y la profundidad sobre el umbral es:

$$Q = 4.20 \text{ lh}^{3/2}; Q = 4.20 \text{ h} (lh^{1/2}); k = hl^{1/2}; Q = 4.20 \text{ hk}$$

En el caso del diseño de la planta se diseñará un vertedero proporcional para un desarenador con un gasto de 25 L.P.S. (0.025 m³/s), con profundidad de 0.8 m. El ancho del estanque se fija en 1.0 m

$$Q = 4.20 \text{ hk}$$

$$k = Q/4.20$$

$$k = \frac{0.025 \text{ m}^3/\text{s}}{4.20 (0.8 \text{ m})}$$

$$k = 0.00744$$

Entonces:

h	$l = 0.00744/h^{1/2}$	$Q = 0.025h$	$A = 1.00h$	V
0.80	0.008318	0	0.80	0.024
0.70	0.008892	0	0.70	0.024
0.60	0.009604	0	0.60	0.024
0.50	0.010521	0	0.50	0.024
0.40	0.011763	0	0.40	0.024
0.30	0.013583	0	0.30	0.024
0.20	0.016636	0	0.20	0.024
0.10	0.023527	0	0.10	0.024
0.00		---	---	---

No es posible hacer un umbral de largo infinito, y por eso se forma en la base del vertedero una ranura estrecha compensadora, como se ve en el siguiente esquema.

DIMENSIONES

$$b = 1,00 \text{ m}$$

$$d = 0,80 \text{ m}$$

$$L = 19,0 \text{ m}$$

l = PARABÓLICA

$$h = 0,80 \text{ m}$$

El cálculo anterior se determinó en el caso que la rejilla se encuentre limpia, pero para el caso en que la rejilla esté 50% sucia, o sea para un valor V' igual a dos veces V , se tendrá que:

$$h_f = \frac{(2V)^2 - V^2}{2g} \times \frac{1}{0.70}$$

$$h_f = \frac{(2 \times 0.6)^2 - (0.4608)^2}{2g} \times \frac{1}{0.70}$$

$$h_f = \underline{0.0894 \text{ m}}$$

5. Plataforma. Para facilitar la operación debe preverse en las instalaciones de limpieza manual una plataforma para la colocación momentánea del material retirado en la rejilla. Inclinación 4° , con drenado hacia el propio canal.

D) RECOLECTORES Y CONCENTRADORES DE LODOS, PARA LOS SEDIMENTADORES PRIMARIOS

Descripción

Se requiere un equipo de rastras para la remoción y concentración de lodos, que se instalará en un tanque circular de concreto de 8.50 m de diámetro interior, con un tirante de agua en el muro vertical de 2.35 m y una pendiente del piso de aproximadamente 8%, que originará un tirante de 2.65 m en el centro del tanque.

Los equipos será del tipo de columna central, alimentación por sifón invertido y recolección periférica del agua clarificada, con un mecanismo central motriz que soportará y hará girar una estructura a la cual se fijarán dos brazos radiales opuestamente colocados, que llevarán sujetas las rastras para la remoción y concentración en una tolva central, de los lodos que se sedimentan en el tanque. La velocidad del mecanismo será de aproximadamente 0.035 r.p.m.

El mecanismo deberá diseñarse de manera que no tenga cadenas, catarinas, chumaceras u otros mecanismos abajo de la superficie del líquido o en contacto con él. Todo el acero estructural sumergido tendrá un espesor mínimo de 6.4 mm (1/4).

El equipo que se suministre incluirá un puente de acceso con barandal, ensamble central con el mecanismo motriz central, mecanismo de control, columna central con portales de entrada, mampara de aquietamiento del influente, armadura central, brazos radiales con las rastras y placas de arrastre, estación de botones y pernos de anclaje.

1. Par de Torsión:

El mecanismo se diseñará para una operación continua a un par de torsión nominal (torque) de 1385 kg metro (10 000 lbs-pie).

2. Esfuerzos permisibles:

Los valores de los esfuerzos permisibles usados en el diseño, estarán sujetos a las siguientes especificaciones:

a) Acero Estructural:

AISC Specifications for the Design, Fabrications, and Erection of Structural Steel for Buildings, 7ª Edición - 1970 y últimas revisiones, o "Standars Specifications for Steel Bridges and Buildings" A.S.T.M. Designación A - 7 o A - 36.

b) Soldadura.

Toda la soldadura de taller se registrá por los últimos estándares de la American Welding Society.

c) Engranés Sinfin.

AGMA 440.03 revisada en septiembre de 1959.

d) Ruedas de engranes.

(Spur Gearing)

AGMA 220.02 Revisada en enero de 1964.

AGMA 210.02 Revisada en enero de 1965.

FALLA DE ORIGEN

La unidad completa será capaz de soportar una carga de pico momentánea debida a impacto, que fije el fabricante, sin daño o deformación permanente.

3. Características.

a) Mecanismo Motriz.

Se montará en la columna central y consistirá de una tornamesa, un mecanismo de transmisión y unidad impulsora.

a1) Tornamesa.

El conjunto tornamesa consistirá de una base y un engrane interior, diseñado de tal manera que el engrane, las balas y cuñas de apoyo puedan ser removidos sin tener que desmontar el pasillo de operación.

La base se montará en la columna central y se diseñará para soportar el engrane interno, el mecanismo giratorio, incluyendo las rastras y el pasillo de operación.

La base tendrá una muesca anular para alojar las balas sobre las cuales girará el engrane interno.

El diámetro y número de las balas será el mínimo para asegurar estabilidad.

La base tendrá una muesca anular para alojar las balas sobre las cuales girará el engrane interno.

El diámetro y número de las balas será el mínimo para asegurar estabilidad sin necesidad de guías inferiores y serán de acero al cromo. Se apoyarán vertical y horizontalmente sobre 4 cuñas renovables de acero endurecido.

Las balas rodarán en un baño de aceite que será protegido por sellos adecuados. El nivel del aceite podrá ser observado a través de una mirilla. La base será de una fundición metálica de alto grado, tipo GC-40 Mechanite o similar. No se aceptarán de acero soldado.

El engrane interior será de fundición acero Dúctil grado 80-60-03 (ASTM A-356) y se diseñará para soportar la armadura central y las rastras. Las dimensiones del engrane interior serán las adecuadas para el trabajo y esfuerzos a que será sometido.

La lubricación de los dientes del engrane se complementará por medio de una caja de aceite y la acción de salpicadura originada por el contacto del piñón y engrane interno, que forzarán al lubricante a bañar los dientes.

No se aceptarán lubricación como bomba de aceite.

a2) Mecanismo de Transmisión.

El mecanismo de transmisión se sujetará a la base y consistirá de un tornillo sinfín con engrane y un piñón montado en una caja de metal fundido Mechanite, con una cubierta removible de acero.

El sinfín y la flecha serán fundidos como una unidad integral y se

construirán de acero dúctil grado 80-60-03 (ASTM A-536).

Los baleros que soporten el sifón, engrane y piñón serán de rodillos cónicos y operarán en baño de aceite, excepto el balero de la parte más baja de la flecha del piñón, que será lubricado por grasa.

a3) Unidad Impulsora.

Consistirá de un engrane motriz operado por un motor totalmente cerrado, para operación trifásica, 60 ciclos, 220/440 Volts, y una cadena motriz con guarda cadena, fabricada de placa de acero.

El motor será de la potencia adecuada que sugiera el fabricante y la transmisión tendrá un factor de servicio de 1.4 aplicado a la potencia de placa.

4. Controles Eléctricos.

Se indicarán por separado en las Especificaciones Eléctricas, contenidas en los planos de la Planta de Tratamiento.

5. Puente de Acceso.

El puente de acceso se extenderá desde la orilla del tanque al centro y consistirá de 2 viguetas I de acero del peralte que proponga el fabricante, en donde se apoyará el piso de 0.90 m de ancho, que se construirá con láminas antiderrapante de 4.8 mm (3/16") de espesor. Las dos viguetas servirán también para apoyar los barandales, contruidos con tubo mecánico de 1 1/2" ϕ , que se prolongará alrededor del mecanismo motriz central.

6. Columna Central.

Se incluirá una columna cilíndrica de acero que tendrá los portales de salida en el extremo superior, para montarse sobre la entrada del influente en el centro del tanque y que servirá para soportar el mecanismo motriz y el puente de acceso.

La columna será de placa de acero de 4.8 mm (3/16") y se anclará al concreto con un mínimo de 4 pernos de anclaje para asegurar rigidez. El diámetro será fijado por el fabricante, tanto por resistencia, como por velocidad del influente para un gasto de 75 lt/seg.

7. Armadura General.

Se suspenderá una armadura central del engrane interno, de dimensiones apropiadas, construidas con miembros estructurales de 4.8 mm (1/16") de espesor mínimo y suficientemente rígida y resistente para soportar y hacer girar las rastras.

8. Mampara de Aquietamiento del influente.

Esta mampara será sostenida por la armadura central y servirá para distribuir al líquido en el tanque sin turbulencia. Tendrá el diámetro y se proyectará abajo y arriba del nivel del agua de acuerdo con la sugestión del fabricante. Se construirá en placas de acero de 4.8 mm (3/16").

9. Brazos Rotatorios.

A la armadura central se sujetarán dos brazos formados por estructuras, que seguirán la pendiente del piso y que tendrán rastras de acero para el arrastre de los lodos. Los brazos se construirán con perfiles de acero de un espesor mínimo

de 6,4 mm (1/4"). No se aceptarán diseños con tirantes.

La colocación de las rastras en los dos brazos será la adecuada para barrer el fondo del tanque dos veces en cada revolución. Se colocarán en todas las rastras placas de arrastre ajustable del latón, sobresaliente 24.5 mm (1.0") abajo de la parte inferior de la rastra y se ajustarán y asegurarán con tornillo y tuercas de bronce.

10. Mecanismo Desnatador.

Se proporcionará un mecanismo para limpiar la superficie del agua del sedimentador primario que concentrará el material superficial flotante en una caja colocada en la periférica del tanque, de donde se extraerá.

El mecanismo consistirá de un brazo giratorio construido de placa de acero colocada verticalmente y que se extenderá desde la mampara de aquietamiento hasta la de natas (ver inciso 14), colocada en la periferia delante del vertedor del efluente. El brazo rematará en una rastra con pivote, que tendrá limpiadores de neopreno que se ajustan sobre la mampara de natas. Este mecanismo se apoyará en uno de los brazos radiales.

La caja de recolección de natas superficiales se fijará a la pared del tanque y tendrá una tubería de desagüe. Será de placa de acero soldado y se integrará a la mampara de natas. El conjunto tendrá un canal recolector, dos paredes verticales y una rampa.

Las rastras mantendrá contacto con la mampara de natas en su recorrido periférico y a medida que se aproxime a la rampa atrapará la nata superficial

acumulándola hacia la caja recolectora.

11. Vertedor del Efluente.

Será una lámina de 4.8 mm (3/16") de espesor y 20 cm de ancho sujeta a la pared de concreto con anclas de gancho y tuercas. El borde de vertido consistirá de vertedores triangulares de 90° con 5 cm de profundidad, situados a cada 15 cm centro a centro. Las secciones de la placa serán curvadas para su ajuste a la pared del tanque. Los orificios para la sujeción, serán alargados para ajustar la placa verticalmente.

12. Mampara de Natas.

Será una placa de acero de 30 cm X 6.4 mm (1/4") de espesor con soportes ajustables y fijada a la pared del sedimentador con anclas especiales.

13. Pintura de taller.

Todas las superficies de acero se limpiarán con arena a presión, seguida de una mano de pintura anticorrosiva.

El conjunto del mecanismo central motriz tendrá una mano de "primer" y una de esmalte anticorrosivo.

Antes de su embarque todas las superficies maquinadas susceptibles de corrosión deberán cubrirse con un compuesto preservativo que pueda removerse fácilmente.

14. Empaque.

Las partes del equipo serán embarcadas en secciones convenientes que cumplan

con los reglamentos de transporte en vigor y adecuadamente marcadas su fácil armado y montaje.

CÁLCULO DEL PERFIL HIDRÁULICO

1.- Conducción del Desarenador.

A los Sedimentadores Primarios

Pérdidas de carga

- a) Entrada $Q = 50$ lt/seg
 $K \frac{v^2}{2g}$ $K = 0.5$
- b) 2 codos de $90^\circ \times .305$ (codo estándar)
Longitud equivalente $33' \times .305 = 10.07$ m c/u.
 $Q = 50$ lt/seg
- c) Tubería de 305 mm 37.50 m.
(Hazen - Williams $c = 120$) $Q = 50$ lt/seg.
- d) Te Estándar (305 mm X 254 mm) $Q = 50$ lt/seg.
Longitud equivalente $55' \times .305 = 16.78$
- e) Válvula de Compuerta de 254 mm $Q = 25$ lt/seg.
Longitud equivalente $6' = 1.83$ m (abierta 100%)
- f) Tubería de 254 mm $Q = 25$ lt/seg
Longitud 22.50 m (incluye la columna del sedimentador
(Hazen - Williams $C = 120$)

g) 2 codos de 90° X 254 mm Q = 25 lt/seg

Longitud equivalente 26' = 7.93 c/u

h) Orificios de Salida.

Q/orificio = 6.25 lt/seg.

$$h = \frac{Q^2}{Cd^2 A} \times \frac{1}{2g} \quad cd = 0.62$$

i) Carga de Velocidad Q = 6.25 lt/seg.

RESUMEN DE PÉRDIDAS

ENTRADA:

Long. tubería y equivalente

para 305 mm $\frac{1.91 \times 57.64}{1000}$ 0.11 m.

Te Estándar (C = 100) $\frac{6.50 \times 16.78}{1000}$ 0.10 m.

Long. Tubería y equivalente

para 254 mm $\frac{1.3 \times 40.19}{1000}$ 0.05'

Orificio v = 0.4 m/seg. 0.02

Carga de velocidad 0.01
0.30 m.

COTA DEL AGUA EN EL DESARENADOR PARA DESCARGA LIBRE
EN LA MUESCA 41.50

PÉRDIDAS DE CARGA AL SEDIMENTADOR PRIMARIO
0.30 m.

COTA DEL AGUA EN EL SEDIMENTADOR PRIMARIO
41.20

2. Pérdidas en el Sedimentador

Caída libre en el vertedor 0.10 m.

Pérdida en el canal perimetral de recolección

Para tirante ahogado en canal rectangular de pendiente nula

$$h_o = 2hc^3/hl + hl^2 \quad \text{como}$$

$$h_o = 0.20 \text{ m} \quad Y \quad hc = 3 \frac{Q^2}{gb^2} = 3 \frac{0.0125}{9.81 \times 0.32} = 0.056$$

Pérdidas en el Sedimentador Primario

$$hc = 0.056 \quad \text{como} \quad hl = 0.08$$

$$h_o = \frac{2hc^3}{hl} + hl^2 = \frac{2 \times 0.056^3}{0.08} + 0.08^2$$

$$h_o = 0.104 \text{ m.}$$

COTA EN LA CAJA RECOLECTORA:

Cota del agua en el aereador 40.90

Pérdidas de carga entre el primario

y el aereador	0.07
Pérdida de carga en los orificios de alimentación	<u>0.01</u>
	40.98

TIRANTE DE DESCARGA

$$40.98$$

$$- \quad \underline{40.90}$$

$$0.08 \text{ m.}$$

Cota del tirante aguas arriba:	41.08 m.
bordo libre:	0.12 m.

3. PÉRDIDAS EN LA CONDUCCIÓN DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO AL AEREADOR.

- a) Entrada $Q = 25 \text{ lt/seg.}$
- b) 4 codos de 90° X 254 mm.
 $Q = 25 \text{ lt/seg.}$
Longitud equivalente 7.93 m c/u.
- c) Tubería de 254 mm.
Longitud = 6 m.
- d) Carga de velocidad $Q = 25 \text{ lt/seg.}$

RESUMEN DE PÉRDIDAS

Entrada para $v = 0.494$ m/seg.		0.006 m.
4 codos y tubería	$\frac{1.3 \times 37.72}{1000}$	= 0.050
Carga de velocidad		0.012
		0.068m

PÉRDIDAS EN EL AEREADOR

a) Carga en los orificios de Distribución

No. orificios 24

$$Q \text{ medio por orificio } \frac{0.035}{24} = 0.0015 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$h_o = \frac{q^2}{Cd^2 a^2} \cdot \frac{1}{2g} \quad cd = 0.60$$

(referencia 8 y 9)

b) Canal distribuidor

$$h_f = h_o \quad l-m^2 \quad (\text{referencia 2 y 3})$$

$$\text{si } m = 0.9 \quad q_o = \frac{qm}{0.95} = 0.0015 \text{ m}^3/\text{seg}$$

c) Orificios de recolección

No. orificios 24

$$Q \text{ por orificios } = \frac{0.035}{24} = 0.0015 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Criterio de descarga libre en orificios circulares parcialmente llenos.

d) Remanso en el canal de recolección

para pendiente nula

$$h_0 = (2hc^3/hl) + hl^2$$

e) Pérdidas en el cambio de dirección

$$h = K \frac{v^2}{2g}$$

$$K = 0.124 + 3.104 \left(\frac{R_p}{R_a} \right)^{3.5} \frac{\alpha}{180^\circ}$$

$R_p = 1/2$ tirante

$R_a =$ Radio del eje de la curva

$\alpha =$ Ángulo de deflexión

RESUMEN DE PARTIDAS

Carga en los orificios

$$h_0 = \frac{1}{0.6 \times 0.18} \left(\frac{1}{19.6} \right)^2 = 0.002 \text{ m}$$

PÉRDIDA EN EL CANAL DISTRIBUIDOR

$$h_f = 0.002 \left(1 - \frac{1}{0.9} \right)^2 = 0.001 \text{ m}$$

Esta pérdida no es adicicionable, ya que se toma en cuenta al fijar el valor de m.

Orificios de recolección

$$\text{Cálculo de } \underline{Q} = 0.00154 = 0.155$$

$$D = 2.5 \text{ g} \frac{2.5}{0.10} \cdot 9.81$$

De la gráfica $\frac{Y}{D} = 0.4$

$$Y = 0.04 \text{ cm.}$$

Remanso en el canal de recolección

$$h_c = 3 \frac{0.0175^2}{9.81 \times 0.30} = 0.07 \text{ m.}$$

$$h_o = \frac{2 \times 0.07^3}{0.159} + \frac{0.159^2}{2} = 0.172$$

Para $h_l = 159$ ver adelante.

Pérdidas en el cambio de dirección

Cálculo de K para $R_a = 0.15$ y $R_p = 0.15$

$$K = 0.124 + 3.104 \times \frac{90}{180} = 1.68$$

como $v = \frac{0.0175}{0.30 \times 15} = 0.39 \text{ m/seg.}$

$$\text{pérdida} = 1.68 \times \frac{0.39^2}{19.6} = 0.013 \text{ m.}$$

CONDUCCIÓN DEL AERADOR AL SEDIMENTADOR SECUNDARIO

a) Entrada $Q = 35 \text{ lit/seg.}$

- b) Tres codos de 90° x 254 mm.
 $Q = 35 \text{ lt/seg.}$
 Longitud equivalente 7.93 m c/u.
- c) Tubería de 254 mm.
 $Q = 35 \text{ lt/seg.}$ Longitud = 16.50
 (Hazen - Williams $C = 110$)
- d) Orificios de salida No. 4
 $Q/\text{orificios} = 8.75 \text{ lt/seg.}$
 $K \frac{v^2}{2g}$ $K = 0.62$ (referencia 10)
- e) Carga de velocidad $Q = 8.75 \text{ lt/seg.}$

RESUMEN DE PÉRDIDAS

Entrada		0.012
Tres codos y tubería	$\frac{2.4 \times 40.29}{10000}$	0.097
Orificios de salida		
Red. la velocidad a 0.4 m/seg		0.010
Carga de velocidad		0.010
	total	0.129 m.

COTA DE AGUA EN EL SEDIMENTADOR SECUNDARIO

40.60

COTA DEL AGUA EN LA CAJA RECOLECTORA DEL AERADOR

$$40.60 + 0.129 = 40.729$$

PÉRDIDA EN CANAL

$$L = 6 \text{ m.} \quad n = 0.020 \quad Q = 0.0175$$

$$y = 0.13 \text{ m.} \quad v = 0.45 \text{ m/seg.}$$

$$\text{De } v = \frac{1}{n} r^{2/3} s^{1/2}$$

$$s = \frac{v^2 n^2}{r^{4/3}} = \frac{0.45^2 \times 0.020^2}{\frac{0.07^{4/3}}{4/3}} = 0.003$$

$$\text{como } s = \frac{h}{l} \quad H = 0.003 \times 6 = 0.017$$

COTA DE AGUA EN EL CANAL ANTES DE LA CURVA

40.746

COTA DEL AGUA DESPUÉS DE LA CURVA

40.759

Por tanto $h_l = 0.159 \text{ m.}$ y $h_o = 0.172$

COTA DEL AGUA EN CANAL AGUAS ARRIBA

40.772

COTA DE LA CLAVE DE LOS ORIFICIOS RECOLECTORES

40.86

BORDO LIBRE 0.09 m.

PÉRDIDAS EN EL SEDIMENTADOR SECUNDARIO

Cálculo de h_o .

$$h_o = \frac{2hc^3}{hl} + hl^2 \quad \text{para } Q = 0.0125 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Y $b = 0.30 \quad h_o = 0.56 \text{ m.}$

COTA DEL AGUA EN EL TANQUE DE CONTACTO

40.30

e) Carga de velocidad

$$v = 0.494 \text{ m/seg.}$$

RESUMEN DE PÉRDIDAS.

Entrada 0.006

3 codos de 90° y codo de 45° y tubería de 254 mm.

$$\frac{1.5 \times 40.20}{1000} \quad \text{0.060}$$

Carga de velocidad 0.012

0.078

E) CONDUCCIÓN DEL TANQUE DE CONTACTO DE CLORO AL ALMACENAMIENTO DE AGUAS TRATADAS.

a) Entrada $Q = 50 \text{ lt/seg.}$

- b) Dos codos de 90° x 305 mm.
 Q - 50 lt/seg.
 Longitud equivalente 10.07 m c/u.
 (referencia 4)
- c) Tubería de 305 mm.
 Longitud 15.50 m.
 (Hazen - Williams C = 120)
- d) Carga de velocidad.

RESUMEN

Entrada 0.01

PÉRDIDAS EN LA CONDUCCIÓN

0.078 m.

COTA DEL AGUA EN LA CAJA DE RECOLECCIÓN

40.378 m.

TIRANTE DEL AGUA EN EL CANAL RECOLECTOR AGUAS ABAJO

0.078 m.

$$h_o = \frac{2 \times 0.056^3}{0.078} + \frac{0.078^2}{2} = 0.10 \text{ m.}$$

COTA DEL AGUA EN EL CANAL DE RECOLECCIÓN AGUAS ARRIBA

40.40

BORDO LIBRE 20 cm.

CONDUCCIÓN DEL TANQUE DE SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA AL TANQUE DE CONTACTO DE CLORO

- a) Entrada $Q = 25$ lt/seg.
- b) Tres codos de 90° x 254 mm.
 $Q = 25$ lt/seg.
Longitud equivalente 7.93 m c/u.
- c) Un codo de 45° x 254 mm.
 $Q = 25$ lt/seg.
Longitud equivalente $12' = 3.66$ m.
- d) Tubería de 254 mm.
 $L = 12.75$ m. (tramo más largo)
(Hazen - Williams $C = 110$)

$$\text{Dos codos y tubería} \quad \frac{1.90 \times 35.64}{1000} = 0.07$$

$$\text{Carga de velocidad} \quad \text{total} \quad \frac{0.02}{0.10 \text{ m.}}$$

COTA DEL AGUA EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

40.00

PÉRDIDA DE CARGA EN LA CONDUCCIÓN DEL TANQUE DE CONTACTO DE CLORO AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

0.10 m.

COTA DEL AGUA EN EL CANAL DE RECOLECCIÓN DEL TANQUE DE CONTACTO DE CLORO

40.10 m.

BORDO LIBRE 0.20 m.

3.2 BOMBAS (CONCEPTOS GENERALES)

A) INTRODUCCIÓN

La **Hidráulica** es la parte de la Física que estudia a los **líquidos**, sus propiedades, su almacenamiento, su conducción, etc. Ejemplos de líquidos son el agua, el aceite, etc.

El agua es imprescindible para la vida humana y para la realización de la inmensa mayoría de las actividades industriales. El agua se clasifica en **potable**, cuando es apta para el consumo humano, pues ha sido sometida a un proceso de purificación y eliminación de gérmenes patógenos. Se considera agua **residual** a aquella proveniente del uso humano para el aseo personal y necesidades fisiológicas, así como aquella que ha servido para realizar actividades como limpieza, lavado, enfriamiento, dilución, condensado, etc. El agua **negra** es la que abarca tanto las aguas residuales domésticas e industriales, como el agua proveniente del alcantarillado

urbano. Por otro lado, el agua **pluvial** es la proveniente de la lluvia. Finalmente, el agua **tratada** es el agua residual que ha sido sometida a diversos procesos de purificación, para hacerla apta para el riego u otros usos, aunque por lo general no es potable.

El estudio de la Hidráulica permite realizar el abasto de agua potable, el tratamiento de aguas residuales y el desalojo de aguas negras, por lo que su estudio y aplicación es de capital importancia para la economía del país.

B) DEFINICIONES Y CONVERSIONES

Para el estudio de los líquidos, es conveniente conocer los conceptos indicados a continuación. Al aplicar las fórmulas es muy importante tener en cuenta las unidades y efectuar, de antemano si es posible, todas las conversiones:

Longitud (l) o Altura (h), es la distancia entre un punto y otro. Se mide en metros (m), centímetros (cm), milímetros (mm) o kilómetros (Km), en el sistema métrico, y en pulgadas (pulg o"), pies (pie o'), o millas (mi), en el sistema inglés.

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$$

$$1 \text{ Km} = 1000 \text{ m}$$

$$1 \text{ pie} = 12 \text{ pulg}$$

$$1 \text{ mi} = 5280 \text{ pie}$$

$$1 \text{ pulg} = 2.54 \text{ cm}$$

$$1 \text{ pie} = 0.3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ mi} = 1.609 \text{ Km}$$

Área (A), es la extensión en dos direcciones de un plano. Se mide en metros cuadrados (m^2), centímetros cuadrados (cm^2), Hectáreas (Ha), o Kilómetros cuadrados (Km^2), en el sistema métrico, y en pulgadas cuadradas ($pulg^2$), o pies cuadrados (pi^2), en el sistema inglés.

$$1 m^2 = 10,000 cm^2$$

$$1 Ha = 10,000 m^2$$

$$1 Km^2 = 100 Ha$$

$$1 pi^2 = 144 pulg^2$$

$$1 m^2 = 10.764 pi^2$$

$$1 m^2 = 1550 pulg^2$$

Generalmente se calcula como:

$A = l \times a$ (áreas cuadradas o rectangulares como paredes, compuertas, etc., $l =$ largo, $a =$ ancho).

$$A = \pi \times r^2 = \frac{\pi \times d^2}{4} \quad (\text{áreas circulares como tuberías, } \pi = 3.1416,$$

$r =$ radio, $d =$ diámetro).



Volumen (V), es la extensión en tres dimensiones de un cuerpo o un líquido. Se mide en metros cúbicos (m^3), litros (l) o centímetros cúbicos (cm^3), en el sistema

métrico, y en pulgadas cúbicas (pulg³), pies cúbicos (pie³) o galones (gl), en el sistema inglés.

$$1 \text{ m}^3 = 10,000,000 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ m}^3 = 1,000 \text{ l}$$

$$1 \text{ l} = 100 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ pie}^3 = 1,728 \text{ pulg}^3$$

$$1 \text{ gl} = 231 \text{ pulg}^3$$

$$1 \text{ m}^3 = 35.31 \text{ pie}^3$$

$$1 \text{ m}^3 = 264.17 \text{ gal}$$

$$1 \text{ gal} = 3.785 \text{ l}$$

Generalmente se calcula como:

$V = l \times a \times h$ (volumenes cúbicos o paralelepípedos como depósitos, l = largo,

a = ancho, h = altura o profundidad)

$V = \pi \times r^2 \times h = \pi \times \frac{d^2}{4} \times h$ (volumenes cilíndricos como tuberías,

cárcamos, etc., $\pi = 3.1416$, r = radio,

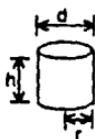
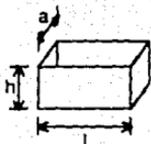
d = diámetro).

Generalmente se calcula como:

$V = l \times a \times h$ (volúmenes cúbicos o paralelepípedos como depósitos, $l =$

largo, $a =$ ancho, $h =$ altura o profundidad)

$V = \pi \times r^2 \times h = \pi \times \frac{d^2}{4} \times h$ (volúmenes cilíndricos como tuberías, cárcamos, etc., $\pi = 3.1416$, $r =$ radio, $d =$ diámetro)



Masa (m), es la cantidad de líquido. Se mide en Kilogramos (masa) (Kg), gramos (masa) (g) o Toneladas (masa) (T), en el sistema métrico, y en libras (masa) (lb), en el sistema inglés.

$$1 \text{ Kg} = 1,000 \text{ g}$$

$$1 \text{ T} = 1,000 \text{ Kg}$$

$$1 \text{ lb} = 0.454 \text{ Kg}$$

Peso (w), es la fuerza de atracción de la gravedad sobre una cantidad de líquido. Se mide en Kilogramos (peso) (Kg), gramos (peso) (g) o Toneladas (peso) (T), en el sistema métrico, y en libras (peso) (lb), en el sistema inglés.

Peso específico (P_e , $O \gamma$), es el peso de una unidad de volumen de un líquido. Se mide en Kilogramos por litro (Kg/l) o Kilogramos por metro cúbico (Kg/m³), en el sistema métrico, y en libras por pulgada cúbica o lb por pie cúbico (lb/pie³), en el sistema inglés. Al cociente de peso específico entre la aceleración de la gravedad se le conoce como Densidad (ρ), que es la masa de una unidad de volumen de líquido.

Generalmente el peso de un líquido se calcula como:

$$w = P_e \times V \text{ (} P_e = \text{ peso específico, } V = \text{ volumen)}$$

Los pesos específicos de algunos líquidos, en Kg/m³, a la temperatura ambiente de 20° C son:

Líquido	Peso específico
Agua pura	1,000
Agua negra	
Gasolina	
Diesel	
Lodos	

Gravedad específica (S), es el cociente del peso específico de un líquido, entre el peso específico del agua a la misma temperatura. No tiene unidades.

$$S = \frac{P_L}{P_{H_2O}}$$

Existen tablas especiales de gravedades específicas de líquidos, que emplean unidades especiales, como los grados Baumé (° Bé) o los grados API (American Petroleum Institute, o °API).

Velocidad (v), es la distancia recorrida por un cuerpo en una unidad de tiempo. Se mide en Kilómetros por hora (Km/h) o metros por segundo (m/s), en el sistema métrico, y en millas por hora (mph), pies por minuto (pie/m) o pies por segundo (pie/s²), en el sistema inglés. **Aceleración** es el incremento de velocidad en una unidad de tiempo. La gravedad ocasiona una aceleración de 9.81 m/s², o bien de 32.2 pie/s².

Velocidad de rotación (n), es el número de vueltas o revoluciones de un cuerpo por unidad de tiempo. Se mide en Revoluciones por minuto (rpm).

Fuerza (F), es el producto de la masa de un cuerpo por su aceleración. Se mide en las mismas unidades del peso, ya que este último es una fuerza.

Energía (W). Cuando se desplaza un cuerpo sólido o líquido en una distancia determinada bajo la acción de una fuerza, se dice que se ha consumido energía.

Potencia (P), es el consumo de energía por unidad de tiempo. Se mide en Watts (W), caballos de vapor (CV), en el sistema métrico, y en Caballos de potencia (Horse Power o HP) en el sistema inglés.

$$1 \text{ CV} = 735.5 \text{ W}$$

$$1 \text{ HP} = 747.7 \text{ W} \text{ o } 1.017 \text{ CV}$$

Presión (p), es la fuerza ejercida por unidad de área. En el caso de un líquido contenido en un depósito, se calcula como:

$$p = P_e \times h \quad (P_e = \text{peso específico, } h = \text{profundidad})$$

Se mide en atmósferas (atm), metros de columna de agua (mca), milímetros de mercurio (mm Hg), bars (bar), o Kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm^2), en el sistema métrico, y en libras por pulgada cuadrada (lb / pulg² o lpc) o pulgadas de agua (pulg H₂O), en el sistema inglés.

$$1 \text{ atm} = 1.033 \text{ Kg}/\text{cm}^2$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg}$$

$$1 \text{ atm} = 10.33 \text{ mca}$$

$$1 \text{ atm} = 1.013 \text{ bar}$$

$$1 \text{ Kg/cm}^2 = 10 \text{ mca}$$

$$1 \text{ pulg H}_2\text{O} = 0.03613 \text{ lpc}$$

$$1 \text{ Kg/cm} = 14.22 \text{ lpc} = 393.7 \text{ pulg H}_2\text{O}$$

Temperatura (t), es la cantidad de agitación térmica de un cuerpo. Se mide en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$) o grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), en el sistema métrico, y en grados fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), en el sistema inglés.

$$T_{\text{°K}} = 273.15 + t_{\text{°C}}$$

$$t_{\text{°C}} = (5 / 9) \times (t_{\text{°F}} - 32)$$

$$t_{\text{°F}} = (9 / 5) \times t_{\text{°C}} + 32$$

Gasto (Q), es el volumen de líquido que pasa por una máquina, tubería o canal por unidad de tiempo. Se mide en metros cúbicos por segundo (m^3 / s), metros cúbicos por minuto (m^3 / min) o litros por segundo (lps), en el sistema métrico y en galones por minuto (GPM) o pies cúbicos por minuto ($\text{pie}^3 / \text{min}$), en el sistema inglés.

$$1 \text{ m}^3 / \text{s} = 1000 \text{ lps} = 60 \text{ m}^3 / \text{min}$$

$$1 \text{ lps} = 15.85 \text{ GPM}$$

$$1 \text{ m}^3 / \text{min} = 264.17 \text{ GPM}$$

$$1 \text{ m}^3 / \text{s} = 15850 \text{ GPM}$$

Generalmente se calcula mediante la ecuación de continuidad, como:

$$Q = A \times v \quad (A = \text{área del canal o tubería, } v = \text{velocidad promedio del líquido en la tubería.})$$

Viscosidad absoluta (μ), es la oposición de un líquido a fluir por una tubería o escurrir por un canal. Se mide en centipoises (cP) o Kilogramos fuerza -segundo por metro cuadrado ($\text{Kg} \cdot \text{s} / \text{m}^2$) en el sistema métrico.

$$1 \text{ Kg} \cdot \text{s} / \text{m}^2 = 9807 \text{ cP}$$

Viscosidad cinemática (ν), es el cociente de la viscosidad absoluta entre el peso específico, por la aceleración de la gravedad.

$$\nu = \frac{\mu}{P_e} \times g \quad (\mu = \text{viscosidad absoluta, } P_e, \text{ peso específico, } g = 9.81 \text{ m/s}^2)$$

Se mide en Stokes (St) o en metros cuadrados por segundo (m^2 / s), en el sistema métrico. Existen además otras unidades como el Segundo Saybolt Universal o el segundo Saybolt Furol. Algunas tablas de viscosidad ofrecen valores en estas unidades.

$$1 \text{ m}^2 / \text{s} = 10.000 \text{ St}$$

Las viscosidades de algunos líquidos, en m^2 / s , a la temperatura ambiente de 20°C son:

Líquido	Viscosidad
Agua pura	1,007
Agua negra	
Gasolina	
Diesel	
Lodos	

C) **EQUIPOS MOTRICES**

Como ya se ha mencionado, el bombeo y la conducción del agua revisten una gran importancia en la economía. Para accionar los equipos de bombeo se debe contar con motores que los accionen.

Los motores más usados en hidráulica son:

Motores Eléctricos.

Aunque existen varios tipos de motores eléctricos, dependiendo de su principio de operación, para equipos de bombeo se emplean casi exclusivamente los de inducción con rotor tipo jaula de ardilla, con corriente alterna trifásica. En este caso, la potencia se determina por:

$$P_M = \frac{\sqrt{3} \times V \times I}{746} \times \eta \times f.p$$

en donde P_M = potencia en HP, V = voltaje entre fases en Volts, I = corriente de línea en Amperes, η = eficiencia mecánica del motor, $f.p.$ = factor de potencia, $f.s.$ = factor de servicio. Por lo general, y en caso de que no se tengan datos del fabricante del motor, se considera $\eta = 0.9$, $f.p. = 0.85$, $f.s. = 1$)

La velocidad síncrona de rotación es aquella a la que giraría el rotor si el motor fuera del tipo síncrono:

$$n_s = \frac{120 \times f}{n.p.}$$

en donde n_s = velocidad síncrona en rpm, f = frecuencia de la corriente alterna, $n.p.$ = número de polos.

El deslizamiento es el porcentaje en el que la velocidad de rotación real del motor de inducción es menor con respecto a la velocidad síncrona:

$$D\% = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100$$

en donde $D\%$ = Porcentaje de deslizamiento, n_s = velocidad síncrona en rpm, n_r = velocidad del rotor en rpm.

De acuerdo a lo anterior, es necesario enfatizar que la velocidad de un motor eléctrico no puede ser variada a voluntad por el usuario, por lo que se les considera de velocidad prácticamente constante.

Según los requerimientos del equipo de bombeo, el motor puede ser totalmente cerrado, o con ventilación, a prueba de goteo, con rotor vertical u horizontal, con

flecha sólida o hueca, etc.

En general uno de los factores más importantes a considerar es el voltaje de operación. Esto se comprende mejor si consideramos dos motores de igual potencia, uno funcionando con alto voltaje y otro con bajo. En este caso, la corriente resultará menor para el motor de alto voltaje, por lo que el calibre del conductor será menor, tanto en los cables de alimentación, como en los devanados, por lo que el motor puede resultar de un tamaño físico más pequeño, y por ende, menor costo. Sin embargo, el uso de alto voltaje implica equipos especialmente contruidos para evitar riesgos al operador, tanto en el motor como en los equipos auxiliares como interruptores, arrancadores, etc. Por lo tanto, es común que los motores menores a 100 HP funcionen con 440 V y para potencias mayores, a 2400 y 4160 V.

D) SISTEMAS DE BOMBEO

La evolución de los sistemas de bombeo, permitió a la civilización alejarse de los ríos y manantiales, y desarrolló vastas zonas de terreno que anteriormente eran inhabitables.

Los antiguos chinos y egipcios mejoran los ingenios entonces conocidos para movimiento o elevación de aguas.

En 1810 Henry R. Worthington inventó la bomba de vapor de acción directa. Desde entonces el progreso experimentado ha convertido las bombas en una necesidad de la vida moderna.

Para advertir el papel que las bombas juegan en nuestra vida diaria considérese,

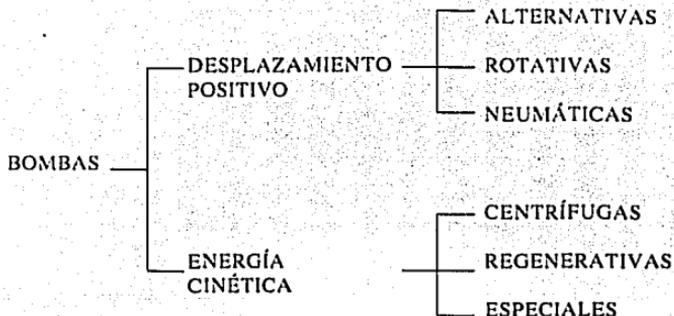
por ejemplo, el automóvil y la gasolina que su motor consume. Los equipos para perforación de pozos petrolíferos utilizan varios tipos distintos de bombas. Si el yacimiento es antiguo, el petróleo ha de ser extraído a veces con agua a presión. Esto requiere un pozo en que el agua pueda ser bombeada por medio de una bomba de pozo profundo. Seguidamente una bomba alternativa probablemente triplex, impulsa el agua hacia abajo por un pozo de presión, hasta un nivel inferior al de la capa de petróleo, haciendo así que este suba por flotación hasta un punto en el que otra bomba de pistón envía el petróleo por un tercer pozo, a un depósito situado en la superficie.

Las bombas de recogida, bien de pistón o centrifugas bombean el petróleo crudo a grandes depósitos de almacenamiento y a continuación bombas centrifugas mayores y de alta presión; lo bombean de nuevo a través de oleoductos hasta la refinería. En otros casos otro tipo de bomba carga el crudo en petroleros, de los que posteriormente se descarga en la refinería mediante otro tipo de bomba diferente de las anteriores.

La transformación de petróleo crudo en gasolina en los modernos procesos de refino, precisa una multitud de diferentes tipos y tamaños de bombas, no sólo para su manipulación directa sino también indirectamente para el bombeo de agua para alimentación de calderas, productos químicos para el tratamiento de aguas, agua condensada, agua de refrigeración, etc.

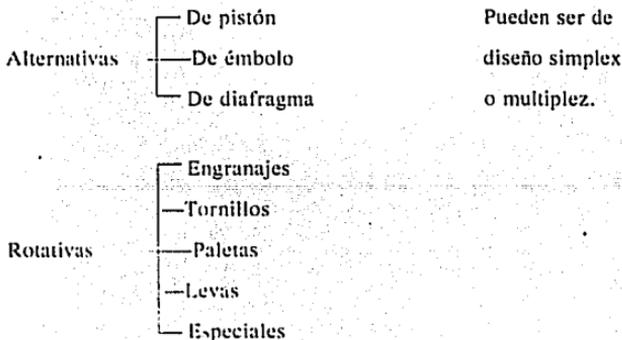
El producto final es bombeado a los depósitos de almacenamiento. Otras bombas lo cargan en camiones para el transporte. Bombas montadas en los camiones lo descargan en la estación de servicio local. Un tipo diferente de bomba impulsa la gasolina al depósito de su automóvil. Por último la bomba de combustible del coche inyecta la gasolina en el motor.

CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS



E) CLASIFICACIÓN DE BOMBAS

La fig. 1 muestra una amplia clasificación de las bombas. Existen muchas variaciones y modificación en estos tipos básicos.



Centrifugas { Radiales
Diagonales
Axiales

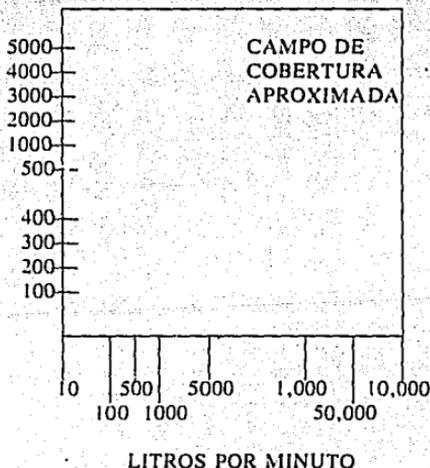
Pueden ser de una o varias fases, e impulsor abierto o cerrado.

Especiales { De eyector
De gas
De ariete hidráulico

En lo que sigue, trataremos solamente de las bombas centrífugas (sobre todo de tipo radial) y de las bombas rotativas.

Campo Hidráulico de Cobertura.

Veamos ahora qué capacidades y presiones (o alturas) cubren normalmente estas bombas. Indudablemente existen zonas de superposición. Esto, sin duda, tiene que ocurrir, pero generalmente la viscosidad, sólidos en suspensión, NPSH, etc. dan la norma para la selección del tipo de bomba en estos casos límites.



Revisión de Hidráulica

Únicamente se pretende en esta parte revisar los términos utilizados en la aplicación de bombas y algunas de las fórmulas básicas empleadas en nuestro trabajo diario.

Hidráulica es el estudio de líquidos en reposo o en movimiento. Un fluido es una sustancia que cuando se halla equilibrio estático no puede resistir esfuerzos cortantes o tangenciales. Esto es lo que diferencia a los sólidos. En movimiento, no obstante, los fluidos pueden resistir esfuerzos cortantes a causa de su viscosidad. El nombre de "fluido" comprende líquidos y gases, pero a efectos del examen presente sólo consideraremos los líquidos.

Peso específico absoluto, es el peso de una sustancia por unidad de volumen. La densidad del agua es de 1 kg. dm^3 . (al nivel del mar y a 4°C)

Peso específico relativo o densidad relativa, de una sustancia es la relación de su peso específico absoluto o densidad absoluta, respecto a la de una sustancia normal. Para líquido, la referencia utilizada es agua a 4°C . Dado que la mayor parte de las características de funcionamiento de una bomba se determina con el empleo de agua y se basan en un peso específico de 1.0, es de importancia extrema conocer el peso específico del líquido a bombear a fin de que puedan efectuarse las correcciones apropiadas. Obsérvese que el peso específico relativo o densidad relativa son números abstractos sin dimensiones, mientras que en el peso o densidad absoluta deben darse las unidades.

La densidad (relativa) de un líquido pueda determinarse mediante el uso de un densímetro de flotación. En ciertos campos de la industria, las graduaciones de escala se hacen de forma arbitraria en grados. En la industria del petróleo se emplea la densidad A.P.I.; grados A.P.I. corresponden a una densidad de 1.00.

$$\text{Densidad relativa con respecto a agua a } 4^{\circ} \text{ C} = \frac{141.5}{131.5 + \text{Grados A.P.I}}$$

En la industria química se emplea normalmente los grados baumé. Como en los A.P.I., se utilizan dos escalas, una para líquidos más ligeros y otra para los más pesados que el agua.

$$\text{Densidad relativa} = \frac{140}{130 + \text{Grados Baumé}}$$

Para líquidos más ligeros que el agua:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{140}{145 - \text{Grados Baumé}}$$

Presión.- Es la fuerza ejercida en la unidad de área por un líquido. La unidad más comúnmente considerada para señalar presión es el kilogramo por centímetro cuadrado (Kg/cm²). Según el principio de Pascal si se aplica una presión a la superficie de un fluido, ésta presión se transmite íntegramente en todas direcciones.

PRESIONES

PRESIÓN MANOMÉTRICA
PRESIÓN ATMOSFÉRICA
PRESIÓN ABSOLUTA
MANOMÉTRICA + ATMOSFÉRICA = ABSOLUTA

$$1 \text{ ATMÓSFERA} = 1.033 \text{ Kg/cm}^2 = 10.37 \text{ m. COLUMNA AGUA}$$
$$10.37/1.033 = 10$$

$$\text{Kg/cm}^2 = \frac{\text{ALTURA EN METROS} \times \text{PESO ESPECÍFICO}}{10}$$

Presión atmosférica. Es la fuerza ejercida en una unidad de superficie por el peso de la atmósfera. La presión al nivel del mar es de 1.033 Kg/cm² a causa de la atmósfera.

Presión relativa. Es una presión corregida y consiste en la diferencia entre una presión determinada y la de la atmósfera. La suma de la presión relativa y la atmosférica es la presión absoluta. La presión absoluta en un vacío perfecto es cero. La presión absoluta de la atmósfera al nivel del mar es 1.033 Kg/cm² (0Kg/cm² relativos).

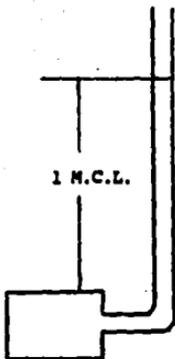
La palabra vacío frecuentemente se emplea para presiones por debajo de la atmosférica. Debido al empleo generalizado de una columna de mercurio para medir el vacío, las unidades suelen ser centímetros de mercurio (la presión atmosférica de 1.033 Kg. cm² equivale a 73.6 cm. de mercurio).

Dado que el agua pesa 1gr/cm³, una columna de agua de un centímetro cuadrado de sección y de un metro de alta pesará 01.Kg. para incrementar la presión. 1 Kg/cm²

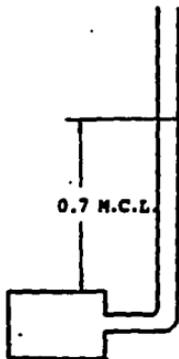
se precisan 10 metros de columna de agua.

Al discutir distintos tipos de presiones, conviene considerar la presión (o tensión de vapor). La presión de vapor de un líquido a determinada temperatura es la presión a la que el líquido se halla en equilibrio con su vapor en un depósito cerrado. A presiones por debajo de esta presión de vapor, a una temperatura dada, el líquido empezará a vaporizarse a causa de la reducción de presión en la superficie. (A 15°C la presión de vapor de agua es 0.033 Kg/cm²).

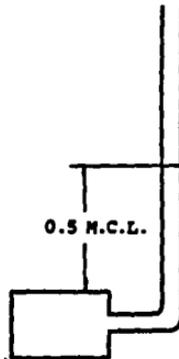
Altura de elevación. Energía por unidad de peso del fluido. Generalmente se utiliza para representar la altura de una columna estática de líquido que produce la presión del fluido en el punto de que se trate. La altura de elevación puede también ser considerada como el trabajo necesario para mover un líquido de su posición original, a la posición indicada por la misma altura. Incluyendo en ésta el trabajo supletorio para vencer la resistencia del paso del líquido por la tubería.



0.7 Kg/cm²
GASOLINA
P. ESP=0.7



0.7 Kg/cm²
AGUA
P. ESP=1.0



0.7 Kg/cm²
MELAZAS
P. ESP=1.5

ALTURA

En general un líquido puede tener tres clases de energía, a la capacidad del mismo para desarrollar trabajo puede ser debida a tres factores:

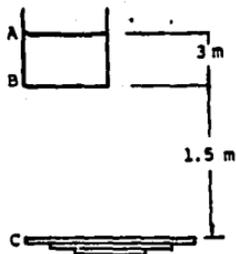
1. Altura Potencial (energía de posición) medida por el trabajo por kilogramo que efectuaría al caer verticalmente desde su posición.

2. Altura de Presión Estática (energía por kilogramo debida a la presión). Altura a que el líquido puede ser elevado por una presión determinada.

3. Altura de velocidad (energía cinética por kilogramo). Distancia vertical de la que un líquido debiera caer para adquirir la velocidad "V".

Teorema de Bernoulli. La energía no puede ser creada ni destruida. La suma de las tres clases de energías (o alturas) en cualquier punto de un sistema es la misma que en cualquier otro punto del sistema, suponiendo que no existen pérdidas por rozamiento y que no se verifica trabajo exterior.

ALTURA



En general un líquido puede tener tres clases de energía, a la capacidad del mismo para desarrollar trabajo puede ser debida a tres factores:

Altura estática de aspiración. Cuando el nivel en el depósito de aspiración se halla por debajo de la bomba es la distancia vertical desde la superficie libre del líquido a la cota del eje de la bomba.

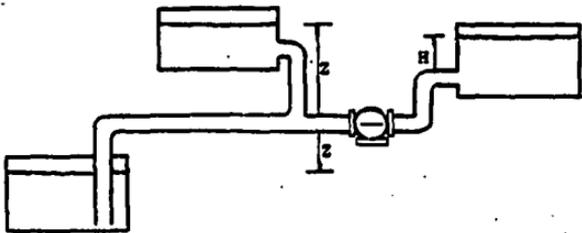
Carga estática de la aspiración. Cuando el nivel en el depósito de aspiración se halla encima de la bomba.

Altura total de aspiración.

- a) Suma de la altura estática de aspiración más las pérdidas por rozamiento (es negativa).
- b) Carga estática en la aspiración menos pérdidas por rozamiento (pérdidas de carga) (puede ser positiva o negativa).

Altura estática de impulsión. Distancia vertical desde el punto de referencia de la bomba a la superficie libre del líquido en el depósito de impulsión o punto de descarga libre.

Altura total de impulsión. Suma de altura de impulsión estática de carga en la impulsión.



Altura total. Diferencia entre alturas totales de impulsión y aspiración. Es la medida de incremento de energía transmitida al líquido por la bomba.

A.T. = Altura total de impulsión menos altura total de aspiración. Altura neta positiva de aspiración (net positive suction head, N.P.S.H.). Energía del líquido en la cota de referencia de la bomba. Para que tenga significado debe definirse como N.P.S.H., disponible o necesaria.

N.P.S.H. requerida. Es una característica de la bomba. Se determina por prueba o cálculo, y es aquella energía necesaria para llenar la parte de aspiración y vencer las pérdidas por rozamiento y el aumento de velocidad desde la conexión de aspiración de la bomba hasta el punto en que se añade más energía. La N.P.S.H. requerida varía según el diseño de la bomba, tamaño de ésta y condiciones de servicio, y es suministrada por el fabricante de la bomba.

Es una bomba centrífuga la N.P.S.H. requerida, es aquella cantidad de energía (en metros columna de líquido) precisada.

1. Para vencer las pérdidas de carga desde la abertura de admisión a los alabes del impulsor.
2. Para crear la velocidad deseada de corriente a los alabes.

En una bomba rotativa la N.P.S.H. requerida, es aquella cantidad de energía (en Kg/cm^2) precisada:

1. Para vencer las pérdidas desde la abertura de admisión a los engranajes o

paletas.

2. Para crear la velocidad deseada de entrada a los engranajes o paletas.

ALTURA NETA POSITIVA EN LA ASPIRACIÓN.

N.P.S.H. disponible. Es una característica del sistema y se define como la energía que tiene un líquido en la toma de aspiración de la bomba (independientemente del tipo de ésta), por encima de la energía del líquido debida a su presión de vapor.

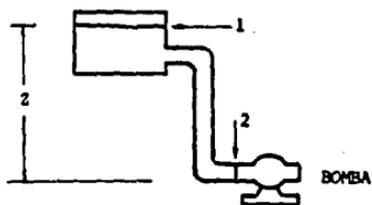
La N.P.S.H. disponible, puede ser calculada u obtenida tomando lecturas de prueba en el lado de aspiración de la bomba.

Dado que un líquido puede tener tres clases de energía, y puesto que N.P.S.H. es energía, los dos métodos para determinar la N.P.S.H. disponible, deben considerar las energías potenciales, de presión y cinética.

Para determinar la N.P.S.H. disponible mediante el cálculo de la altura del sistema, considérese la energía en punto 1:

$$\pm Z + P_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

ALTURA NETA POSITIVA EN LA ASPIRACION



Aunque P_1 representa la energía de presión en el punto 1, en éste caso la presión atmosférica, debemos asegurarnos de que al ser bombeado el líquido no se evapora en la tubería de aspiración. Sustraemos pues la presión de vapor (P_v) del líquido.

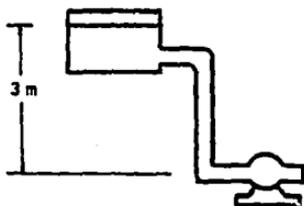
$$\pm Z_1 + \frac{P_1 - P_v}{\text{Peso especif.}} \times 10 \text{ (en m c.l.)}$$

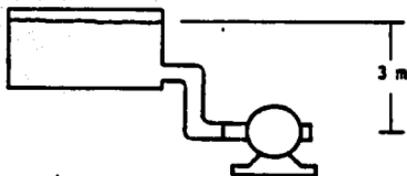
N.P.S.H. DISPONIBLE

Los términos de presión, si están expresados en Kg. cm² absoluta, hay que convertirlos en metros de columna de líquido, unidad en que la N.P.S.H. disponible, se expresa corrientemente. Como la energía en el punto 2, en dónde interesa la N.P.S.H. disponible, es igual a la energía en el punto 1 con la excepción de las pérdidas ocasionadas por el rozamiento, deducimos éstas pérdidas (h_f) y la N.P.S.H. disponible, en el punto 2 resulta:

$$\text{N.P.S.H.}_d = \pm Z_1 + \frac{(P_1 - P_v)}{\text{Peso especif.}} \times 10 - h_f$$

N.P.S.H. DISPONIBLE





A veces es posible determinar la N.P.S.H. disponible, cuando se dispone de las lecturas de prueba.

B O M B A

Ya que el punto 2 se halla en la cota de referencia, el líquido no tiene energía potencial y z_2 es igual a cero. p_2 es igual a la lectura del manómetro. Añadiendo la presión atmosférica a la lectura manométrica para obtener altura de presión absoluta, substrayendo la presión de vapor y corrigiendo la elevación del manómetro de aspiración (Y) obtenemos la N.P.S.H. disponible:

$$\text{N.P.S.H.}_d = \frac{(P_g + P_m - P_v)}{\text{Peso espec.}} \times 10 + Y + \frac{V_2^2}{2g}$$

en el que V_2 es la velocidad del fluido en m/segundo caudal
sección

Revisión.

N.P.S.H. disponible- es la energía que posee el líquido en el orificio de aspiración de una bomba.

N.P.S.H. requerida- es la energía del líquido que una bomba necesita para funcionar satisfactoriamente.

La N.P.S.H. disponible- debe siempre ser igual o superior a la N.P.S.H. requerida. para que la bomba cargue y suministre la cantidad de líquido precisado.

YI

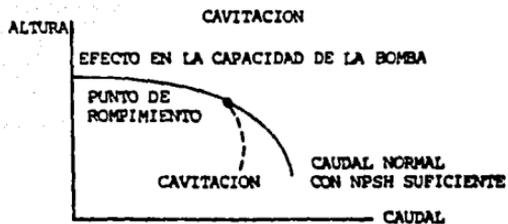


BOMBA

Cavitación- Cuando la presión en la tubería de aspiración cae por debajo de la presión de vapor se forma éste y es arrastrado por la corriente. Estas burbujas de vapor o "cavidades" desaparecen bruscamente cuando alcanzan zonas de presión más altas en su camino a través de la bomba.

Los efectos más evidentes de la cavitación son ruido y vibración. Son ocasionados por la desaparición de las burbujas de vapor cuando llegan al lado de alta presión de la bomba. Cuanto mayor es la bomba, mayores son el ruido y la vibración. Si la bomba funciona en condiciones de cavitación durante periodos largos de tiempo, especialmente en servicios con agua, se produce el picado de los alabes del impulsor. La desaparición violenta de las burbujas de vapor introduce el líquido a alta velocidad en los poros del metal llenos de vapor, produciendo ondas de presión de alta intensidad en áreas reducidas. Estas presiones pueden sobrepasar la resistencia a la tracción del metal y realmente arrancar partículas, dando al metal una apariencia esponjosa. El ruido y la vibración pueden también causar averías en los rodamientos, rotura del eje y otras fallas en la bomba por fatiga de los materiales.

Otro factor primordial de cavitación es una disminución en el rendimiento de la bomba, que se evidencia por un descenso de la capacidad.



La caída en el rendimiento y en la curva capacidad altura puede ocurrir antes de que la presión de vapor se alcance, particularmente con aceites minerales, a causa de que se liberan fracciones ligeras y el aire disuelto y en suspensión.

El picado perjudicial no es tan serio cuando se manipulan petróleos debido al efecto de amortiguamiento de los líquidos más viscosos.

En general, la cavitación indica una N.P.S.H. disponible insuficiente. Pérdidas excesivas en la aspiración, junto con reducida altura estática y alta temperatura, contribuyen a esto. Si no existe forma de modificar el sistema puede llegar a ser preciso modificar las condiciones, de forma que pueda utilizarse una bomba distinta con una N.P.S.H. requerida mas baja. Las bombas mayores pudieran precisar el uso de una bomba booster auxiliar, para añadir altura de presión a la N.P.S.H. disponible.

Viscosidad- es la fricción interna de un líquido o la propiedad por la que opone resistencia a cualquier fuerza tendiente a producir corriente. La viscosidad absoluta (o dinámica) se expresa generalmente en centipoises.

Viscosidad cinemática es la relación de la viscosidad absoluta a la densidad y se expresa en centistokes o S.S.U. Los viscosímetros - Saybolt (E.E.U.U.A.), Redwood (Inglaterra) y Engler (Alemania) miden el tiempo en que fluye por gravedad una cantidad específica de líquido a través de un pequeño tubo. Dado que en éstos casos se halla implicado el peso específico, éstos instrumentos miden todos viscosidad cinemática.

El viscosímetro Bookfield utiliza un disco o cilindro que gira, a velocidad determinada, y mide el par. Esta es una medida de viscosidad absoluta.

La viscosidad varía con los cambios de temperatura, disminuyendo conforme la temperatura aumenta. En consecuencia un valor de viscosidad debe especificar siempre la temperatura.

Muchos líquidos, como el agua y aceites minerales, se consideran newtonianos y su viscosidad no varía al modificarse el gradiente transversal de velocidad o el estado de agitación. Otros líquidos, como grasa, jarabes, plásticos, aceites vegetales, mantequilla, pegamentos, barnices, etc., muestran una marcada reducción en su viscosidad al aumentar el gradiente de velocidad. Estos líquidos se denominan Tixotrópicos. El conocimiento de este fenómeno se usa para reducir el diámetro de las tuberías, con lo que se consigue un incremento en la velocidad y con ello que la viscosidad quede reducida a una cifra práctica a efectos de bombeo. Los viscosímetros, como el Saybolt, a causa de que miden el líquido en estado prácticamente estático, no indican las características Tixotrópicas, mientras que los viscosímetros torsionales como el Brookfield si tienen en cuenta esta propiedad.

Otros líquidos, como lodos arcillosos, leche de chocolate con polvo de crema en suspensión algunos almidones y pinturas, etc. experimentan un incremento de viscosidad al aumentar el gradiente de velocidad.



TEMPERATURA



GRADIENTE DE VELOCIDAD

Estos líquidos se denominan dilatantes. La mayoría de ellos recuperan su estado original tan pronto como cesa la agitación. Es aconsejable evitar su bombeo a las temperaturas y concentraciones en que las propiedades dilatantes son más señaladas. En caso de hacerlo, conviene prever amplios diámetros de tubería, y reducir las velocidades para mantener la viscosidad tan baja como sea posible.

Pérdidas de carga en tubería. En las normas del Instituto Hidráulico, se publican tablas para calcular las pérdidas en sistemas de tuberías, a igual que en boletines publicados por fabricantes de bombas y en muchos manuales. Las pérdidas varían por el tamaño de tubería, el caudal, la longitud de la tubería, la viscosidad y el número y tipo de accesorios. Una vez conocidos los factores anteriores se suman las pérdidas de los accesorios y la longitud de tubería recta, para obtener la longitud total equivalente del sistema para el que se calculan las pérdidas totales. Dado que las pérdidas de la tubería de aspiración son un factor importante en la N.P.S.H. disponible, conviene que cuando la energía de aspiración es baja, se reduzcan a un mínimo los accesorios de la tubería de aspiración y la longitud de dicha tubería y que el diámetro de la misma sea tan grande como resulte práctico.

Para tuberías relativamente largas en sistemas con agua (como en los casos de acondicionamiento de aire y refrigeración), se utiliza para llegar al diámetro de tubería adecuada, la fórmula de tanteo siguiente:

$$\phi = \frac{n}{40} \cdot \frac{1/m}{(v + 1, 3m/\text{seg})}$$

Otros términos empleados en bombeo son:

Desplazamiento- caudal teórico de la bomba, generalmente expresado en litros por minuto (l/m).

Deslizamiento (slip) - pérdida en su ministro debido a fugas de líquido dentro de la bomba, de la descarga a la aspiración.

Capacidad - caudal verdadera de la bomba igual al desplazamiento menos el "deslizamiento".

Rendimiento volumétrico - relación entre la capacidad de la bomba y el desplazamiento teórico.

Potencia en C.V. - La desarrollada al ejecutar trabajo a un ritmo de 75 Kgm. cada segundo (= 736 watios).

Potencia hidráulica - Potencia precisada por la bomba sólo para bombear el líquido.

Potencia absorbida (o potencia al freno) - Potencia total precisada por la bomba para realizar una cantidad determinada de trabajo.

La potencia absorbida equivale a la potencia hidráulica más la potencia consumida en rozamientos.

Rendimiento mecánico - relación de potencia de salida de entrada.

$$= \frac{\text{Potencia hidráulica}}{\text{Potencia absorbida}}$$

$$= \frac{1/m \times \text{Kg/cm}^2}{450 \text{ CVF}}$$

$$= \frac{1/m \times \text{m.c.l.} \times \text{peso especif.}}{4500 \times \text{CVF}}$$

G) SELECCIÓN HIDRÁULICA DE BOMBAS CENTRÍFUGAS.

(Una fase, tipo voluta)

Principios de Funcionamiento

Conversión de energía.

Como en cualquier otra bomba, las de tipo centrífugo convierten la energía proporcionada por una máquina motriz, como un motor eléctrico, turbina de vapor o motor a gasolina, en energía interna del líquido que se bombea. Esta energía interna del líquido se manifiesta como energía de velocidad o de presión, o como ambas a la vez.

La Rotación Comunica Dos Movimientos.

La forma en que este cambio de energía se produce en una bomba centrífuga es única. El elemento rotativo de una bomba centrífuga, movido por la máquina motriz se denomina impulsor y, conforme éste gira, el movimiento de rotación del impulsor originó un movimiento de rotación del líquido.

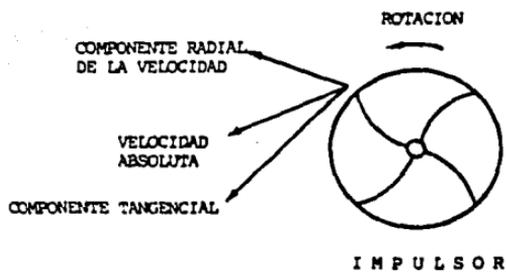
En realidad el movimiento comunicado al líquido por el impulsor, tiene dos componentes. Una tiene dirección radial, hacia afuera desde el centro del impulsor. Este movimiento lo causa la fuerza centrífuga debido a la rotación del líquido, que actúa en el sentido de alejarse del centro del impulsor en rotación.

Asimismo, al salir el líquido del impulsor, tiende a moverse en una dirección tangencial a la periferia del impulsor. Estas dos tendencias se señalan en fig. I. La dirección exacta que el líquido tomará es el resultado de las dos direcciones, habiéndose comprobado que, en efecto, el líquido se mueve en la dirección señalada.

IMPULSOR

En Relación con la Velocidad. La Presión Proporcional a V^2 .

Hay que considerar que los movimientos mencionados, implican velocidad del líquido. Y podemos decir que la cantidad de energía comunicada al líquido por el impulsor en rotación, está en relación con la velocidad a que el líquido se mueve. Además, si investigamos como evaluar la cantidad de energía relacionada con ésta velocidad, encontraremos que ésta energía, expresada como energía de presión, es proporcional al cuadro de velocidad de salida resultante.



De estos hechos podemos hacer dos deducciones. En primer lugar estamos en disposición de afirmar que cualquier factor que incremente la velocidad periférica del impulsor aumentará la energía conferida al líquido. Asimismo, podemos decir que un cambio en la velocidad del extremo del alabe modificará la energía comunicada al líquido, en una cantidad proporcional al cuadrado del cambio mencionado. Por ejemplo al duplicar la velocidad de rotación del impulsor, la velocidad periférica se hará el doble, lo que a su vez cuadruplicará la energía comunicada al líquido expresada como presión. De igual modo, duplicando el diámetro del impulsor, duplicaríamos la velocidad periférica, lo que de nuevo cuadruplicaría la energía comunicada al líquido. Estos hechos se emplearán después para evaluar y predecir las condiciones del funcionamiento de una bomba determinada.

Líquido Acumulado en la Voluta.

Sin embargo, retrocedamos un momento y consideremos lo que le sucede al líquido que está siendo descargado desde todos los puntos de la periferia del impulsor. Recordemos que éste líquido se mueve en una dirección que generalmente es hacia el exterior del impulsor y está también girando con este. De alguna forma deberá ser recogido y dirigido al orificio de impulsión de la bomba. Esta es la función de la carcaza o envolvente. Esta está diseñada en forma que, en un punto determinado, su pared está muy próxima al diámetro exterior del impulsor. Este punto se denomina

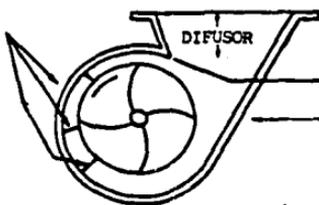
$$(1) \quad H = \frac{V^2}{2g}$$

H = Energía expresada en metros de columna de líquido.

V = Velocidad en metros por segundo.

g = Aceleración debida a gravedad en seg. 2.

LA SECCION AUMENTA
CONSTANTEMENTE



LENGUA DE LA VOLUTA.

CUERPO

"lengua" de la envolvente. La fig. 2 muestra un diseño característico de envolvente. Entre la lengua y un punto ligeramente a la izquierda (en sentido contrario a las agujas de un reloj) una cierta cantidad del líquido ha sido descargada por el impulsor, y debe girar con éste para ser finalmente descargada a través de la salida de la bomba.

Lo mismo ocurre con el líquido adicional que es descargado por el impulsor conforme progresamos alrededor de la envolvente, que también debe girar con el impulsor y ser descargado a través de la salida de la bomba. Al ir desplazándonos al rededor del impulsor, vemos que se acumula más y más líquido que debe ser conducido al rededor del impulsor, entre la pared del envolvente y el borde externo de aquel. Ya que la cantidad de líquido va aumentando y queremos mantener la velocidad aproximadamente constante, a pesar de esto debemos incrementar paulatinamente el área disponible entre el borde del impulsor y la pared de la envolvente. A esto se debe que tengamos una sección gradualmente creciente desde la lengua de la envolvente, hasta el comienzo del cono de impulsión (fig. 2).

LA SECCIÓN AUMENTA
CONSTANTEMENTE

LENGUA DE LA VOLUTA
CUERPO

Difusor.

En el punto inmediatamente adelante de la lengua tenemos recogido, pues, todo el líquido descargado por el impulsor; y podemos ahora conducirlo a la tubería de

descarga. Sin embargo, en la mayoría de los casos éste líquido posee una velocidad superior a la que es conveniente para manejarlo, ya que una alta velocidad produce pérdidas por rozamiento, altas en la tubería de descarga. Por tanto, generalmente, se reduce la velocidad, el cono de descarga, que es la salida final de la bomba. Esta velocidad se disminuye incrementando la sección de la corriente, pues al aumentar ésta, decrece la velocidad. (fig. 2).

La Capacidad Determina la Anchura del Impulsor.

En una bomba centrífuga el impulsor está provisto de alabes que sirven para conducir el líquido. Además, el impulsor tiene una anchura axial, según la capacidad que haya de manejar. Como ejemplo, la fig. 3 muestra

dos impulsores de aproximadamente igual tamaño pero de distinta anchura. El impulsor de la derecha está diseñado para manipular 500 l/m. en su punto de mayor rendimiento, mientras que el más ancho lo está para manipular 6.001/m.

Resumen.

En resumen, podemos decir que una bomba centrífuga está equipada de un miembro rotativo o impulsor que comunica una velocidad al líquido. Esta velocidad

representa, en realidad, la energía que se añade al mismo. La envolvente de la bomba sirve para recoger el líquido y conducirlo a la descarga de la bomba. También sirve para alojar el impulsor. Una parte de la conducción de descarga de la envolvente actúa también como difusor para transformar parte de la energía debida a la alta velocidad, en energía relativamente baja velocidad, aumentando la energía de presión.

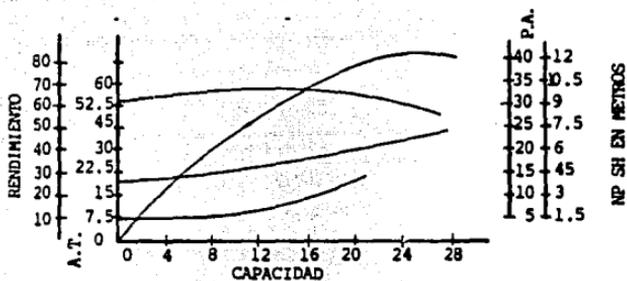
Curvas Características

Sin duda, la parte más importante de nuestro examen sobre las bombas centrífugas es el uso de las curvas características.

Altura - Capacidad.

Cualquier bomba centrífuga tiene, para determinada velocidad y determinado diámetro de impulsor el manipular un líquido de viscosidad despreciable, una curva característica que indica la relación entre la altura (o presión) desarrollada por la bomba y el caudal a través de la misma. La curva que muestra la fig. 4 es

un ejemplo típico, como puede verse, conforme la capacidad aumenta, se reduce la altura total que la bomba es capaz de desarrollar. En general la altura máxima la



FALLA DE ORIGEN

desarrolla una bomba en un punto en el que no hay caudal a través de la bomba; esto es, cuando la válvula de descarga está totalmente cerrada. Nótese una vez más que ésta curva se basa en una velocidad, diámetro impulsor y viscosidad determinados. En general, la viscosidad en que se basa la curva de una bomba centrífuga es la viscosidad del agua.

Potencia Absorbida (BHP o CVF) - Capacidad.

Para la bomba centrífuga suministre la capacidad que precisamos, vemos que hemos de suministrarla a cierta potencia. Por tanto, podemos trazar una curva que representa la relación entre capacidad y la potencia absorbida, basada asimismo en los factores constantes que ya hemos puesto de manifiesto. En las bombas centrífugas que comentamos, la característica es tal, que la potencia generalmente aumenta con un incremento de capacidad.

El Rendimiento Debe Ser Calculado.

Las dos características que hasta ahora eran proyectadas se determinan mediante prueba. Ahora nos enfrentamos con el rendimiento a que la bomba opera.

Este rendimiento no puede medirse directamente, pero podemos deducirlo de la información que ya hemos obtenido. La fórmula de rendimiento es

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Altura} \times \text{Capac.} \times \text{Grav. Esp.}}{4500 \times \text{HP}}$$

Rendimiento - Por cien. %
 Altura - Desarrollada por la bomba en m.c.l.

Capac.	-	Capacidad de la bomba en l/m
Grav. Esp.	-	Gravedad específica del líquido bombeado.
HP	-	Potencia absorbida por la bomba.

Mediante esta fórmula el rendimiento con que la bomba actúa a una capacidad dada puede determinarse, y la curva de rendimiento puede ser trazada.

N.P.S.H. - Capacidad.

Existe otra característica de las bombas centrífugas que es muy importante y que siempre se facilita en el funcionamiento en una bomba. Se trata de una curva que señala la relación entre la capacidad de la bomba suministrará y la N.P.S.H. requerida para un funcionamiento correcto de la bomba a la capacidad citada. Ya se ha mencionado el significado de la N.P.S.H. y se sabe que un defecto en la N.P.S.H. medida en metros del líquido que se está bombeando, será causa de que la bomba funcione incorrectamente y origen de cavitación en una bomba centrífuga. Por esto se registra la N.P.S.H. requerida para cualquier capacidad dada.

Estos datos se obtienen de pruebas reales.

Características Totales.

Con el conjunto de las mencionadas curvas características de una bomba centrífuga en un sistema de coordenadas, quedan totalmente definidas las posibilidades y limitaciones de la bomba.

Curvas del Sistema.

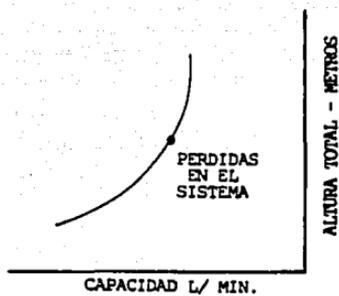
Una vez consideradas las características de la bomba, estudiaremos la exigencia

del sistema en que la bomba se instale. Un sistema muy sencillo es el que señala la figura 5. Los puntos A y B se hallan en igual

nivel. Entre puntos A y B hay una línea a través de la cual fluye el líquido. Podemos suponer que en dicha línea hay elementos intercambiadores de color, válvulas y otros accesorios, que aumentan las pérdidas totales entre los puntos A y B. Como sabemos, las pérdidas de carga en un sistema de éste género aumenta al crecer la capacidad. En realidad, la pérdida por rozamiento es proporcional al cuadrado de la capacidad (o velocidad).

Podemos trazar una curva para un sistema de esta clase, (véase fig. 6) en que la pérdida de carga se expresa en metros de columna de líquido. A capacidad cero, puesto que no hay corriente, no hay naturalmente pérdida por rozamiento.

Este sistema puede complicar con un factor adicional. Es decir, podemos



236

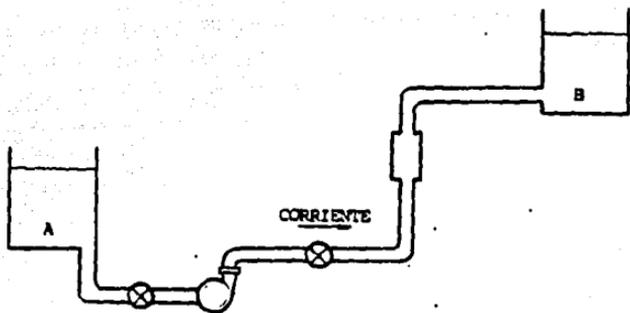
FALLA DE ORIGEN

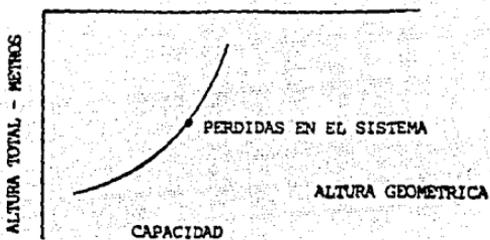
utilizar el mismo sistema pero con el punto B más alto que el punto A (fig. 7).

Fig. 7

Como el punto B es más alto que el punto A, resulta preciso añadir energía al líquido para conducirlo del punto A al punto B, debido a esta diferencia de altura. La capacidad de energía que debemos añadir, expresada en metros, es exactamente igual a la diferencia de altura entre los puntos B y A. Naturalmente, la pérdida de carga entre los puntos A y B debe ser también vencida, como el sistema precedente. Por tanto, tenemos ahora el sistema expresado por la curva que se muestra en fig. 8.

Observamos que la curva de pérdidas es exactamente la misma porque la pérdida de carga entre puntos A y B es igual. Pero, además, debemos añadir una cantidad constante de altura de elevación a cualquiera, precisa para conducir el líquido desde la





cota del punto A a la del punto B.

En esta curva nos enfrentamos con dos alturas distintas. Lo mismo pudiera haber ocurrido que la presión en el punto A hubiera sido diferente de la presión en el punto B. Por ejemplo, si tomamos la aspiración de un depósito abierto, punto A, y descargamos en un depósito cerrado bajo presión en el punto B, incluso hallándose los puntos A y B a igual nivel, habremos de vencer la presión diferencial existente entre A y B. Por ejemplo, si la presión en el depósito B es superior en 10 Kg/cm^2 a la presión en el depósito A, debe añadirse suficiente energía al líquido entre los puntos A y B para vencer estos 10 kg/cm^2 , a parte de las pérdidas de carga por rozamiento entre los puntos A y B.

Son muchas las variaciones que en el sistema pueden existir, sólo hemos mencionado hasta ahora tres de ellas. Lo que ha de tenerse presente siempre es que en todos los casos estamos intentando mover el líquido desde el punto A al B y que entre ambos puntos se verifican una pérdida de carga. También puede existir una diferencia de presiones entre dichos puntos debido a una diferencia de elevación o a una diferencia de presión que pueda existir entre los dos depósitos A y B.

El último tipo de sistema es aquel en que se toma un líquido del punto A, conduciéndolo a través de una red de tuberías, para retornar de nuevo al mismo punto A.

En un sistema de esta clase no existe, evidentemente, presión diferencial entre los puntos A y B, puesto que dichos puntos son ahora el mismo y la única pérdida en el sistema es por rozamiento en la tubería. En un sistema de este género tenemos una

curva como la que se indica en fig. 6, que representa sólo la pérdida de carga en el sistema.

Curva del Sistema Real.

Después de analizar los antecedentes para determinar la clase de sistemas que estamos estudiando, conviene trazar la curva que representa la necesidad del sistema para cualquier capacidad. Supongamos que disponemos del sistema siguiente, representado en fig. 7. La diferencia de altura entre los puntos A y B es de 150 metros, y la pérdida de carga por fricción en la tubería entre los puntos A y B es de 10 metros para 550 l/m. Si duplicamos la capacidad, la pérdida por fricción se cuadruplicará. Por tanto, la pérdida por fricción a 1100 l/m será de 40 metros. Podemos ahora trazar una curva que representa los requerimientos del sistema para cualquier capacidad entre cero y 110 l/m, sabiendo que la pérdida por fricción será cero a 0 l/m. Esta curva se muestra en fig. 9.

Pérdidas de Carga Variables.

A continuación es preciso que observemos el efecto en el sistema de unas pérdidas de carga variables. Unas pérdidas de esta clase podrían introducirse, por ejemplo, mediante una válvula que pudiera ser manipulada durante el ciclo de bombeo. Observemos la curva de elevación que tenemos del sistema y señalemos con una línea de punto la nueva curva de pérdidas.

La línea de puntos representa una pérdida de carga incrementada, y la de trazos señala una reducción en la pérdida por fricción.

Fig. 11

Altura Estática Variable.

La altura geométrica de elevación también puede variar, según varían los niveles del depósito de aspiración o depósito de descarga. En este caso la curva de fricción del sistema íntegramente se mueve arriba y abajo, conforme progresa el ciclo de bombeo.

Variación en el Diámetro de Impulsores.

Retrocedamos ahora a la curva de pérdidas de carga de elevación original del sistema y veamos que sucede cuando empleamos una bomba capaz de desarrollar mayor altura que la precisada a una capacidad determinada. Conservaremos la curva para la bomba seleccionada en principio y sobre ella trazaremos una línea de puntos, la característica de otra bomba capaz de desarrollar mayor altura (fig. 12).

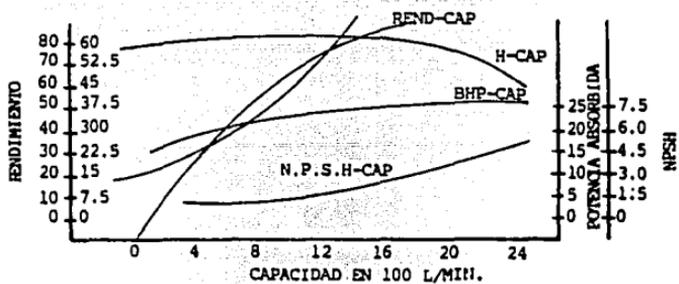
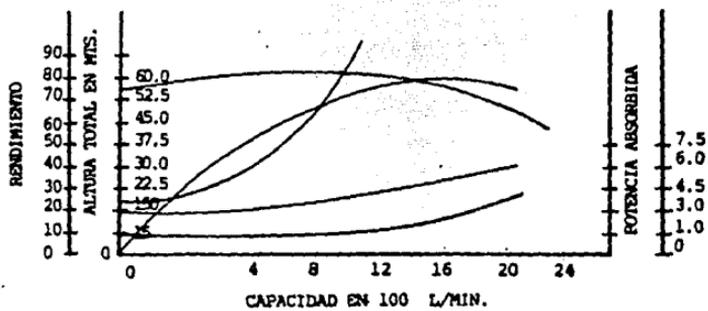


Fig. 12

Veremos entonces que esta bomba podrá tener una mayor capacidad de bombeo, porque, en el punto de intersección de las curvas característica de bomba y sistema, la capacidad es superior a la señalada en la intersección de primer caso. Sin embargo, se observa asimismo que hemos tenido una pérdida en lo que se refiere a potencia a absorbida. Es importante recordar a este respecto que no siempre es posible seleccionar una bomba centrífuga cuya curva característica corta exactamente a la del sistema en el punto de la capacidad que precisamos. Por consiguiente, en ocasiones se elige un impulsor ligeramente mayor.

Análisis completo del Sistema para la Mejor Selección.

Al seleccionar una bomba se trazará siempre la curva de pérdidas del sistema. Si no se dispone de datos evidentemente la curva no podrá ser trazada. Después de trazada la curva se trazará la curva característica de la bomba en el mismo sistema de coordenadas, para determinar en qué punto funcionará la bomba en el sistema. Evítese la adición arbitraria de una capacidad o elevación excesivas como factor de seguridad. Si debe anticiparse un caudal futuro superior recuérdese que ha de calcularse una



nueva pérdida de elevación.

Cambio de Velocidad y de diámetro del Impulsor.

En todas las consideraciones precedentes, la velocidad de giro de la bomba y el diámetro del impulsor han sido consistentes. La viscosidad del líquido se ha supuesto constante asimismo. Ahora vamos a considerar los efectos de velocidad y diámetro de impulsor en el rendimiento de una bomba centrífuga.

Cambios de Velocidad.

Como se indicó al examinar el principio operativo de una bomba centrífuga, se duplica la velocidad de la bomba, se cuadruplica la altura desarrollada por la bomba, ya que dicha altura es proporcional al cuadrado de la velocidad. Sin embargo, no mencionamos entonces el efecto sobre la capacidad de un cambio en la velocidad. Cuando se duplica la velocidad a que una bomba centrífuga opera, duplicamos la capacidad que la bomba puede dar. Esto se debe, naturalmente, a que la velocidad, a través del impulsor se ha duplicado. En otras palabras, si tenemos una bomba capaz de desarrollar una altura total de 15 metros a 400 l/m y 1750 rpm; con un diámetro determinado de impulsor, entonces aquella bomba desarrollará 60 metros de altura total a una capacidad de 800 l/m, cuando gire a 3500 rpm. Sin embargo hemos de volver ahora a la fórmula relativa a altura, capacidad, rendimiento y potencia absorbida, y suponiendo que el rendimiento de la bomba no se modifica cuando variamos la velocidad, podemos ver que la potencia queda multiplicada por ocho cuando duplicamos la velocidad de la bomba. La razón de esto es que la capacidad se duplica cuando duplicamos la velocidad, y la altura se cuadruplica. Como estos dos factores se

multiplican para llegar a la potencia absorbida, vemos que esta potencia se incrementa ocho veces. Por ésta razón no podemos incrementar arbitrariamente la velocidad de una bomba centrífuga. Una bomba que fue diseñada para funcionar a determinada velocidad debe ser capaz de transmitir una gran parte de potencia adicional, si la bomba gira a una velocidad superior. Sin embargo, no hacemos uso de esta conversión de velocidad cuando la reducimos, por ejemplo, de 3500 a 1750 rpm., o de 1750 a 1150 rpm. Para lograr una somera idea del funcionamiento de la bomba, suponemos que el rendimiento permanece constante y aplicamos la relación antes indicada. Esta relación formulada, se expresa así:

Selección de la Bomba.

La tarea siguiente consistirá, en seleccionar una bomba centrífuga que de cualquier capacidad requerida en esta sistema. Supongamos que precisamos bombear 1000 l/m. por el sistema citado. En la curva de la fig. 9, hallaremos que la bomba que se precisa habrá de dar 50 metros de elevación a 1000 l/m. Contemplemos la curva caudal -altura de una bomba centrífuga que básicamente pudiera cumplir estas exigencias (fig. 4).

Como puede verse, esta bomba trabaja a 50 metros de altura para un caudal de 1000 l/m.

Superpongamos la curva de la bomba a la curva del sistema (fig. 10).

Fig. 10

El punto de intersección de ambas representa la capacidad a que la bomba operará. Este concepto es de la mayor importancia debe recordarse siempre. La capacidad a que la bomba trabaja es aquella que determina la intersección de su curva característica caudal - altura y la curva del sistema.

Como la bomba opera con esta capacidad conocemos la potencia que precisa para su buen funcionamiento en estas condiciones de servicio, así como el N.P.S.H. requerido. Nótese que la potencia es función del peso específico de 1.0. Si manipula un líquido de mayor o menor peso específico, es fácil determinar la potencia precisada por la bomba: multiplicando simplemente la potencia precisada "en agua" por el peso específico.

Para una bomba y un diámetro de impulsor dados:

$$\frac{\text{RPM}_1}{1/m_1} = \sqrt{\frac{\text{Altura}_1}{\text{Altura}_2}} = 3 \sqrt{\frac{\text{BHP}_1}{\text{BHP}_2}}$$

superpongamos la curva de la bomba a la curva del sistema (fig. 10).

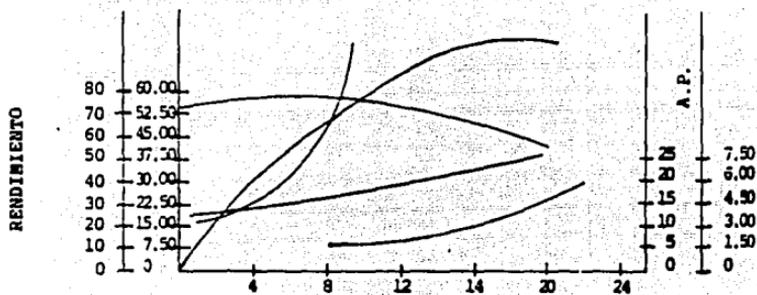


Fig. 10

O dicho de otro modo:

$$\frac{\text{RPM}_1}{\text{RPM}_2} = \frac{1/m_1}{1/m_2}$$

$$\left(\frac{\text{RPM}_1}{\text{RPM}_2}\right)^2 = \frac{1/m_1}{1/m_2}$$

$$\left(\frac{\text{RPM}_1}{\text{RPM}_2}\right)^3 = \frac{1/m_1}{1/m_2}$$

Recuérdese que un cambio de velocidad origina siempre un cambio de capacidad, altura y potencia. Todos estos factores cambian simultáneamente. Se tendrá en cuenta, no obstante, que estas fórmulas son solo aproximadas, puesto que el rendimiento cambia ligeramente. Sin embargo, es una aproximación excelente, y como tal las fórmulas tienen gran validez.

Cambio en el Diámetro del Impulsor.

Consideremos el efecto de modificar el diámetro del impulsor en una bomba determinada que funciona a velocidad constante. Las fórmulas aplicables para el cambio de capacidad, altura y potencia son similares a las estudiadas al hablar del cambio en velocidad. Dichas relaciones son las siguientes:

Para una bomba y velocidad dadas:

$$\frac{\text{Diámetro de Impulsor}_1}{\text{Diámetro de Impulsor}_2} = \frac{1/m_1}{1/m_2} = \sqrt{\frac{\text{Altura}_1}{\text{Altura}_2}} = \sqrt[3]{\frac{\text{BHP}_1}{\text{BHP}_2}}$$

O dicho de otra forma:

$$\text{Diámetro de Impulsor}_1 = 1/m_1$$

$$\text{Diámetro de Impulsor}_2 = 1/m_2$$

$$\text{Diámetro}_1^2 = \text{Altura}_1$$

$$\text{Diámetro}_2^2 = \text{Altura}_2$$

$$\text{Diámetro}_1^3 = \text{BHP}_1$$

$$\text{Diámetro}_2^3 = \text{BHP}_2$$

Estas fórmulas son excelentes en los casos de pequeños cambios en diámetro del impulsor pero no son aplicables cuando el diámetro del impulsor cambia en más de un 10%, y en estos casos es aconsejable averiguar si se dispone de una curva experimental para el nuevo diámetro de impulsor a fin de determinar si concuerda exactamente con el valor calculado.

La razón de que estas fórmulas sean similares a las del caso de cambio de velocidad es que la modificación en diámetro de impulsor tiene esencialmente el mismo efecto que un cambio en velocidad. Es decir, ambos originan un cambio en la velocidad de salida del líquido del impulsor. Al emplear estas fórmulas debe tenerse mayor cuidado que al utilizar las de cambio de velocidad, porque cuando modificamos el diámetro del impulsor de una bomba cambiamos la relación básica entre impulsor y carcasa y esto varía la configuración del diseño de la bomba. En este caso los resultados que se obtienen no son suficientemente seguros como para seleccionar un determinado diámetro de impulsor,

sin comprobar antes las curvas de funcionamiento para determinar si la bomba ha

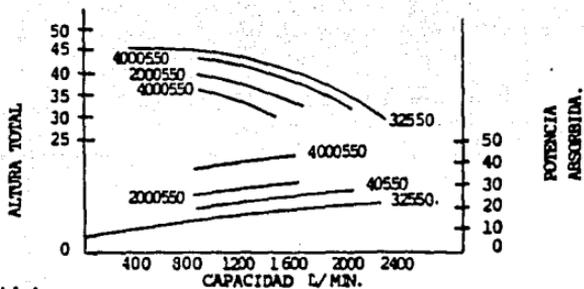
sido probada con dicho diámetro de impulsor.

Variación Simultánea de Velocidad y Diámetro.

Naturalmente podríamos considerar el caso en que modificásemos la velocidad de la bomba y el diámetro del impulsor, en cuyo caso han de usarse las dos series de fórmulas, lo que resulta ligeramente más complicado. Sin embargo, el cálculo es relativamente asequible y no más complicado que ejecutando ambas operaciones de forma consecutiva.

Efecto de la Viscosidad.

Mencionábamos anteriormente que un cambio de la viscosidad puede afectar el rendimiento de una bomba centrífuga dado que las curvas características normales de una bomba centrífuga se basan en un funcionamiento con agua, que tiene una viscosidad prácticamente, nula, hemos de enfrentarnos con la posibilidad de bombear líquidos de mayor viscosidad. En estos casos el funcionamiento de la bomba cambia, y la curva característica al manejar líquidos viscosos se indica en fig. 13. Nótese que la curva caudal - altura cae.



Conforme la viscosidad aumenta. Así mismo, la potencia absorbida crece de forma aguda, pero la N.P.S.H. requerida es esencialmente la misma. Por otra parte, el fabricante de la bomba dispone de factores de corrección para dichas curvas, cuando esta trasiega líquidos viscosos. Estos cálculos no son difíciles. Es, pues, preciso recordar que el rendimiento de una bomba centrífuga cambia cuando existe una variación en viscosidad, y que existen factores de corrección que permiten hallar la nueva característica de funcionamiento.

G) ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA BOMBA.

NOMBRE DE LA PARTE

DEFINICIÓN.

ANILLO DE LA CABEZA DE ESTOPAS. ANILLO ESTACIONARIO REEMPLAZABLE PARA PROTEGER LA CABEZA - CAJA DE ESTOPAS DE CONTACTO DINÁMICO DIRECTO CON EL ANILLO TRASERO DEL IMPULSOR.

ACEITERA (O GRASERA) RECEPTÁCULO PARA CONTENER Y SUMINISTRAR LUBRICANTE.

ANILLO DE LA CABEZA DE SUCCIÓN. ANILLO ESTACIONARIO REEMPLAZABLE QUE PROTEGE LA CABEZA DE SUCCIÓN DE CONTACTO DINÁMICO DIRECTO CON EL ANILLO FRONTAL DE IMPULSOR.

ANILLO DE LA CAJA DE ESTOPAS. CAMISA O ANILLO REEMPLAZABLE COLOCADO EN EL EXTREMO DE LA CAJA DE ESTOPAS DEL LADO OPUESTO AL PRENSA-ESTOPAS.

ANILLO DE LA CARCASA. ANILLO ESTACIONARIO REEMPLAZABLE QUE PROTEGE LA CARCASA DE CONTACTO DINÁMICO DIRECTO CON EL ANILLO DEL IMPULSOR.

ANILLO DEL IMPULSOR	ANILLO REEMPLAZABLE MONTADO EN UNO O AMBOS LADOS DEL IMPULSOR.
ANILLO LUBRICADOR	ANILLO GIRATORIO EMPLEADO PARA LLEVAR ACEITE DEL DISPOSITIVO AL RODAMIENTO.
BASE	PIEZA METÁLICA DE ACERO ESTRUCTURAL O FUNDICIÓN QUE SIRVE PARA MONTAR EQUIPOS HORIZONTALES.
BOMBA DE ACEITE.	DISPOSITIVO AUXILIAR PARA SUMINISTRAR ACEITE LUBRICANTE A PRESIÓN.
BUJE DE CHUMACERA	LA PARTE REMOVIBLE DE DESGASTE DE LA CHUMACERA, QUE ESTA EN CONTACTO CON EL MUÑÓN.
CABEZA - CAJA DE ESTOPAS.	PIEZA REMOVIBLE QUE INTEGRA LA CAJA DE ESTOPAS CON LA CUBIERTA DEL LADO INTERIOR DE LA CARCASA EN ALGUNAS BOMBAS DE SUCCIÓN EN EL EXTREMO.
CABEZA DE SUCCIÓN.	PIEZA REMOVIBLE QUE SE EMPLEA PARA CERRAR EL LADO DE SUCCIÓN DE LA CARCASA DE UNA BOMBA DE SUCCIÓN AL EXTREMO EN QUE PUEDE O NO TENER CONSTRUIDA INTEGRALMENTE LA BOQUILLA DE SUCCIÓN.
CAJÓN DE ESTOPAS (ESTOPERO)	ES UNA PARTE INTEGRAL O REEMPLAZABLE DE LA CARCASA O CABEZAL DE DESCARGA A TRAVÉS DEL CUAL PASA LA FLECHA DEN DONDE SE COLOCA LA EMPAQUETADURA O SELLO MECÁNICO PARA EVITAR FUGAS O ENTRADA DE AIRE.

CAJA DEL COJINETE AXIAL.	PARTE SUPERIOR REMOVIBLE DE ALOJAMIENTO DEL COJINETE AXIAL.
CAJA DEL COJINETE RADIAL.	PARTE SUPERIOR REMOVIBLE DE ALOJAMIENTO DEL COJINETE RADIAL.
CAMISA DE FLECHA.	PIEZA AJUSTADA SOBRE LA FLECHA PARA PROTEGERLA EN EL TRAMO QUE PASA A TRAVÉS DE LA CAJA DE ESTOPAS, Y QUE PUEDE SERVIR TAMBIÉN PARA AJUSTAR LA POSICIÓN DEL IMPULSOR SOBRE LA FLECHA.
CAMISA DEL CUBO DEL IMPULSOR.	PARTE DESGASTABLE CILÍNDRICA REEMPLAZABLE MONTADA EN EL CUBO EXTENDIDA DEL IMPULSOR DE LA BOMBA.
CAMPANA DE SUCCIÓN.	SECCIÓN TUBULAR A BOCINA QUE DIRIGE EL FLUJO DEL LIQUIDO AL INTERIOR DE LA BOMBA.
CARCASA.	PARTE DE LA BOMBA QUE FORMA LA CÁMARA DE PRESIÓN Y ENCIERRA EL IMPULSOR.
CARCASA (MITAD INFERIOR)	MITAD INFERIOR DE LA CARCASA QUE SIRVE DE SOPORTE A LA MITAD SUPERIOR DE UNA BOMBA PARTIDA HORIZONTALMENTE. NORMALMENTE TIENE CONSTRUIDAS INTEGRALMENTE LAS BOQUILLAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA.
CARCASA (MITAD SUPERIOR)	MITAD SUPERIOR O REMOVIBLE DE LA CARCASA DE UNA BOMBA PARTIDA HORIZONTALMENTE.
CHUMACERA.	ES UN COJINETE COMPUESTO DE ELEMENTOS ESTÁTICOS QUE CUMPLE SU FUNCIÓN POR MEDIO DE UN BUJE DE MATERIAL ANTIFRICCIÓN.

CODO DE SUCCIÓN.	CONDUCTO CURVADO GENERALMENTE DE 90°, UNIDO A LA ENTRADA DE LA BOMBA. SE UTILIZA COMÚNMENTE EN BOMBAS DE ARREGLO VERTICAL DE CÁRCAMO SECO.
COJINETE	DISPOSITIVO QUE SIRVE DE APOYO A UN ÁRBOL GIRATORIO Y ES CAPAZ DE RECIBIR EMPUJES RADIALES Y AXIALES CON UNA DISIPACIÓN MÍNIMA DE ENERGÍA.
COJINETE AXIAL	EL COJINETE QUE RESISTE LAS CARGAS AXIALES. GENERALMENTE SE ENCUENTRA COLOCADO EN EL EXTREMO OPUESTO AL COPLE EN BOMBAS DE DOBLE SUCCIÓN AL EXTREMO.
COJINETE RADIAL	EL COJINETE QUE RESISTE LAS CARGAS RADIALES EXCLUSIVAMENTE Y SE USA EN COMBINACIÓN CON EL COJINETE AXIAL SEPARADOS UNO DE OTROS.
COLLARÍN AXIAL	ANILLO MONTADO SOBRE LA FLECHA QUE ABSORBE EL EMPUJE AXIAL. USADO GENERALMENTE EN CHUMACERAS.
CONEXIÓN ENTRE PASOS	PIEZA ESPECÍFICAMENTE DISEÑADA QUE LLEVA EL FLUJO DE UN PASO A OTRO EN UNA BOMBA MULTIPASOS.
COPLE DE LA BOMBA DE ACEITE	ELEMENTO PARA CONECTAR LA FLECHA MOTRIZ A LA FLECHA DE LA BOMBA DE ACEITE.
COPLE DE FLECHA.	ELEMENTO EMPLEADO PARA TRANSMITIR POTENCIA DESDE LA FLECHA DE LÍNEA A LA FLECHA DE LA BOMBA O PARA CONECTAR DOS TRAMOS DE FLECHA ENTRE SI.

CUÑA DEL COPLE	ELEMENTO MECÁNICO PARA TRANSMITIR POTENCIA DEL COPLE A LA FLECHA, EVITANDO MOVIMIENTO RELATIVO ENTRE ESTAS PARTES.
CUÑA DEL IMPULSOR	ELEMENTO MECÁNICO EMPLEADO PARA TRANSMITIR POTENCIA DE LA FLECHA AL IMPULSOR, EVITANDO MOVIMIENTO RELATIVO ENTRE ESTAS PARTES.
CUÑA DE MUÑÓN DEL COJINETE AXIAL	ELEMENTO MECÁNICO USADO PARA EVITAR QUE EL MUÑÓN DEL COJINETE EN RELACIÓN CON LA FLECHA.
DIFUSOR.	PIEZA RADIAL EN LA PERIFÉRICA DEL IMPULSOR QUE TIENE MÚLTIPLES VÍAS DE ÁREA CRECIENTE FORMADAS POR ALABES DIRECTRICES PARA COMBATIR LA ENERGÍA DE VELOCIDAD O ENERGÍA DE PRESIÓN.
EMPAQUETURERA.	MATERIAL COMPRESIBLE CON PROPIEDADES ANTIFRICCIÓN UTILIZADO PARA REALIZAR UN SELLADO ALREDEDOR DE LA PARTE DE LA FLECHA QUE POSA POR EL ESTOPERO.
FLECHA DE LÍNEA.	ELEMENTO MECÁNICO CILÍNDRICO QUE TRANSMITE POTENCIA DESDE LA FLECHA SUPERIOR O FLECHA MOTRIZ A LA FLECHA DE LA BOMBA.
FLECHA DE BOMBA.	ELEMENTO MECÁNICO CILÍNDRICO EN EL QUE ESTA MONTADO EL IMPULSOR Y LE TRANSMITE LA POTENCIA.
FLECHA SUPERIOR.	ELEMENTO MECÁNICO CILÍNDRICO SUPERIOR (EN BOMBAS VERTICALES) QUE TRANSMITEN POTENCIA DESDE EL EQUIPO MOTRIZ A LA

	FLECHA DE LÍNEA O DE LA BOMBA.
IMPULSOR.	MIEMBRO GIRATORIO DE UNA BOMBA, DE CENTRIFUGACIÓN VARIABLE, FORMADO POR DOS O MAS ASPAS CON O ASÍ PAREDES LATERALES QUE IMPARTEN LA ENERGÍA PRINCIPALMENTE AL LIQUIDO BOMBEADO.
JUNTA.	HOJA DE MATERIAL ELÁSTICO DE FORMA Y CARACTERÍSTICAS APROPIADAS PARA USARSE EN LA SUCCIÓN ENTRE DOS PARTES CON EL FIN DE EVITAR FUGAS.
JUNTA DE LA CAMISA DE FLECHA.	MATERIAL ELÁSTICO Y FLEXIBLE QUE SIRVE PARA SELLAR LA CAMISA DE FLECHA CONTRA EL IMPULSOR.
PRENSA - ESTOPAS.	PIEZA QUE COMPRIME EL EMPAQUE EN LA CAJA DE ESTOPAS.
SELLO MECÁNICO.	DISPOSITIVO COMPUESTO BÁSICAMENTE DE DOS SUBENSABLES, UNO ESTACIONARIO (65) Y OTROS GIRATORIO (80), LOS CUALES REALIZAN EL CIERRE POR MEDIO DEL CONTACTO INTIMO DE SUS CARAS, SUSTITUYE EN APLICACIONES ESPECIALES A LA EMPAQUETADURA DE LA BOMBA.
SEPARADOR DE PASO.	DIVISIÓN ESTACIONARIOS REMOVIBLE ANTE PASOS EN UNA BOMBA MULTIPASOS.
SOPORTE.	MIEMBRO DE UNA BOMBA DE SUCCIÓN POR EL EXTREMO, QUE CONTIENE A LOS ELEMENTOS GIRATORIOS Y EN EL QUE ESTÁN ENSAMBLADOS LAS PARTES DEL EXTREMO LIQUIDO.

TUBERÍA DE COLUMNA.

TUBO VERTICAL MEDIANTE EL CUAL SE SOPORTAN LOS ELEMENTOS ESTÁTICOS O FIJOS DE BOMBEO.

TUERCA DE AJUSTE.

PIEZA RASCADA PARA MODIFICAR Y AJUSTAR LA POSICIÓN AXIAL ADECUADA DEL ENSAMBLE GIRATORIO.

H) CONDUCCIÓN Y CONTROL DEL FLUJO DE AGUA.

Flujo del Agua a través de Tuberías y Canales.

Como ya se ha indicado, es posible conducir el agua a través de tuberías de diversos tipos y canales. Considerando dos puntos separados en una conducción, se tiene la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{p_1}{\rho_c} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{p_2}{\rho_c} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 + h_f$$

en donde p_1 y p_2 son las presiones en ambos puntos, v_1 y v_2 son las velocidades medias del fluido correspondientes, h_1 y h_2 son las alturas con respecto al nivel de

referencia, y h_l representa las pérdidas debidas al rozamiento del fluido con respecto a las paredes de la conducción, turbulencias, remolinos, etc.

Las pérdidas anteriormente mencionadas se miden en metros, y se clasifican en primarias y secundarias.

a) Pérdidas primarias o en la conducción. Para una tubería de diámetro constante es posible evaluarlas mediante la ecuación de Darcy-Weisbach.

$$h_f = k \times \frac{l \times v^2}{2g}$$

en donde k es el factor de fricción, l es la longitud de la tubería y v es la velocidad media del flujo.

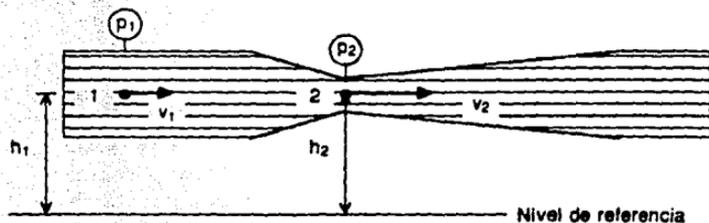
En forma simplificada el factor de fricción depende del tipo de tubería de la carga y del gasto, por lo que existen valores tabulados como los que se anexan.

b) Pérdidas secundarias o en accesorios. Se obtienen de tablas y monogramas, e incluyen pérdidas en disminuciones y ensanchamientos de la conducción, flujo por orificios y vertedores, codos, tes, retornos, válvulas, etc. Estas tablas proporcionan una longitud equivalente de tubería, (l/d).

$$h_f = k \times \frac{l}{d} \times \frac{v^2}{2g}$$

FLUJO DEL AGUA A TRAVÉS DE TUBERÍAS Y CANALES

Como ya se ha indicado, es posible conducir el agua a través de tuberías de diversos tipos y canales. Considerando dos puntos separados en una conducción, se tiene la ecuación de Bernoulli:



Equipos de Bombeo

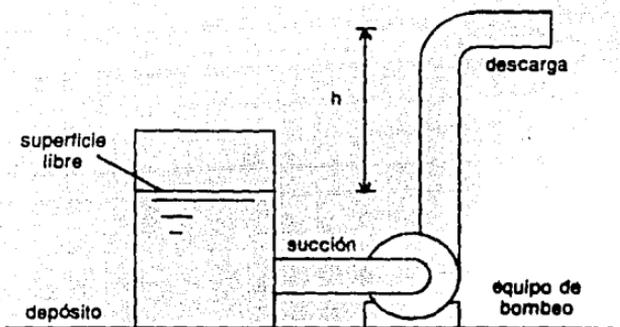
Los equipos de bombeo empleados normalmente en hidráulica son del tipo rotodinámico, es decir, que emplean un impulsor o rodete giratorio que produce un aumento de velocidad en el fluido.

Uno de los parámetros más importantes para evaluar un equipo de bombeo es la carga. La carga estática es la diferencia de alturas entre la superficie libre del líquido y la descarga libre de la bomba.

La carga dinámica total se calcula como:

$$CDT = h + h_{1S} + h_{1D} + \frac{v_D^2}{2g}$$

en donde CDT = carga dinámica total, h = carga estática, h_{1S} = pérdidas en la succión, h_{1D} = pérdidas en la descarga, v_D = velocidad en la descarga.



La carga dinámica total se calcula como:

I) SELECCIÓN DE UN EQUIPO DE BOMBEO TIPO VERTICAL.

Las bombas centrífugas verticales, generalmente se instalan en cárcamos húmedos o pozos profundos, de acuerdo al servicio. (Abastecimiento municipal, industrial o irrigación).

- El número de pasos está en función de la cantidad de impulsores necesarios para proporcionar la carga total de trabajo requerida por el sistema.
- Lubricación: En este tipo de bombas, puede ser por el mismo líquido bombeado o por aceite; la selección de la misma está en función del servicio y la longitud de columna, ya que para longitudes de columna mayores de 10 m., los fabricantes recomiendan, lubricación por aceite.

Información y Datos Necesarios:

a)	Caudal o Gasto:	881 GPM; 200 m ³ /hr.
* b)	Carga total de Trabajo	338 FT;
c)	Vel. de Operación:	1760 RPM
d)	Diámetro del Ademe:	No hay (cárcamo)
e)	Croquis Dimensional:	O.K.
* f)	Carc. del Accionamiento:	Motor Eléctrico
g)	Temperatura:	Ambiente
h)	Líquido a manejar:	Agua Suave
i)	Prof. Cárcamo:	3 mt. (9.84 FT)
j)	Nivel Dinámico:	1.79 mt. (5.89 FT)
k)	Presión de Descarga:	10.3 kg./cm ³ .

Partiendo de los Datos Anteriores:

1.- Selección de las Bombas.

- a) Con los valores de gasto y velocidad, se selecciona el tamaño del cuerpo de tazones del libro de curvas.
 - a.1) Si no se conoce la velocidad, entonces será la indicada en la curva seleccionada.
 - a.2) Se indica la marca de la bomba, el modelo o tamaño, construcción y tipo de lubricación.
 - a.3) Las dimensiones del cuerpo de tazones están indicadas en la parte inferior.
- b) Se Determina la Carga Total.
 - b.1) La que deberá proporcionar el cuerpo de tazones H_b ; considerando que ésta deberá ser igual a la carga total de trabajo (H) + la carga debida a las pérdidas por rozamiento en la columna y el codo de descarga. (h_{f_c}).

Estas pérdidas generalmente no se consideran en la carga total del sistema y deberán ser consideradas por el fabricante, ya que inicialmente se desconocen diámetro de columna y cabezal a utilizar.

- b.2) Las pérdidas de columna se determinan multiplicando el factor de pérdidas (f_c) por la Lg. de columna (L).
- b.3) El valor aproximado de la potencia, se lee en la intersección del gasto con la

curva de BHP, considerando el número de pasos.

- b.4) El diámetro de la flecha de línea se selecciona en la carta selectora, con los valores de la velocidad en RPM y la potencia en HP. Tabla No. 3.6.
- b.5) Se determina el diámetro de columna para manejar el caudal requerido con los valores del diámetro de flecha en pulgadas y el gasto en m³/hr. (Carta 3.8).
- b.6) El factor de pérdidas (f_c), se obtiene con el valor del gasto en m³/hr. y los diámetros de columna y flecha de línea en pulgadas, factor por cada 100 metros. (Carta 3.5).
- b.7) Pérdidas por rozamiento en el codo del cabezal de descarga (h_{fc}) con el diámetro de descarga en pulgadas y gastos en m³/h, se lee directamente de Carta 3.7.
- c) En base a lo anterior se calculan las pérdidas y carga total que deberá generar la bomba.

CARGA TOTAL
GENERADA POR
LA BOMBA

CARGA TOTAL
DE TRABAJO

PERD. POR ROZA-
MIENTO EN LA CO-
LUMNA DE SUCCIÓN
Y CAB. DE DESC.

$$H_b = H + h_{fs} \quad \text{en mts.}$$

$$h_{fs} = f_c \frac{L}{100} + h_{fc} \quad \text{PÉRDIDAS POR ROZ. EN CODO DE CAB.}$$

$$\text{Diámetro Flecha} = 1 \frac{1}{2}'' \odot$$

Diámetro Columna = 8" \varnothing

$f_c = 3.20$ mts. x cada 100 m/columna.

$h_{fc} = 0.1$ mt.

$$\therefore h_{fs} = 3.20 \frac{1.52}{100} + 0.1 = 0.148 \cong 0.15$$

y para:

$$H_h = 103.01 \text{ mts.} + 0.15 = 103.158 \text{ mts.} \times 3.281$$

$$\therefore H_h = 338.46 \cong 338.5 \text{ ft.}$$

En el caso de tener la presión diferencial:

Si es 10.3 kg/cm^2

$$\therefore P_{dir} = 10.3 \text{ kg/cm}^2 \times 14.22 = 146.46 \text{ lb/pulg}^2$$

(CTE)

$$\therefore C.T. = \frac{146.46 \times 2.31}{1} = 338.32 \text{ FT}$$

(Grav. Específica)

c.1) Bomba seleccionada 12M75/6

Curva: C2400

c.2) Velocidad: 1760 RPM.

$$c.3) \text{ No. Pasos} = \frac{338.5}{58} = 5.836 \cong 6 \text{ pasos}$$

$$c.4) \text{ Carga por paso} = \frac{338.5}{6} = 56.416 \text{ x paso}$$

c.5) Eficiencia = 80%

$$\text{c.6) BHP}_{(\text{diseño})} = \frac{\text{GASTO G.E. CARGA TOT.}}{3960 \times 0.80} = \frac{881 \text{ GPM} \times 1 \times 338.5}{3960 \times 0.80} = 94.13 \text{ HP} = 70.22 \text{ kw}$$

$$\text{BHP}_{(\text{máximo})} = \frac{955 \text{ GPM} \times 1 \times 338.5}{3960 \times 0.80} = 102.4 \text{ HP} = 76.12 \text{ kw}$$

$$\text{BHP}_{(\text{máximo})} = 102.4 + P_p \times \text{cada } 100 \text{ mts. } 3.73$$

De tabla 3.8 con RPM x Ø de flecha.

d) Empuje Hidráulico Total Máx. a Válvula Cerrada.

$$\text{E.T.} = \text{Fact. Emp.} \times \text{Carga} \times \text{Pasos} \times \text{G. Esp.} \\ = 7.9 \times 89 \times 6 \times 1 = 4218.6 \text{ lbs.}$$

$$\text{* BHP} = \frac{Q \times H \times \rho}{761\eta} \quad E_T = E_{II} + E_M$$

El empuje axial total se deberá calcular para determinar lo que deberá soportar el cojinete de empuje del motor eléctrico.

e) Elongación.

La elongación (ma) se determinará partiendo del conocimiento de los valores de empuje hidráulico (kg), diámetro (pulg.) y Lg. de F. de línea (M), que deberá quedar dentro de los límites del juego axial máximo permitido.

f) Unidad Motriz.

Se requiere:

1.- Potencia de la bomba Hp

- 2.- Vel. de Op. (RPM) RPM
- 3.- Empuje total de la bomba Kg
- 4.- Cond. Eléc. de lugar de Op,
Frec. Voltaje y Número de fases.
- 5.- Enclaustramiento que depende del tipo de ambiente que predomine en el lugar de operación.
- 6.- Deberá indicarse la base (BD) para sel. del cabezal.

g) Cabezal de Descarga (Selección).

- 1.- Diámetro de la base (BD), prop. por fabricante.
- 2.- Diámetro tub. col. (pulg.)
- 3.- Diámetro flecha de línea.
- 4.- Diámetro descarga, generalmente igual a tubo columna.

N.P.S.H._R.- Es una característica de la bomba, se determina por prueba ó cálculo, y es aquella energía necesaria para llenar la parte de succión y vencer las pérdidas por rozamiento y el aumento de velocidad desde la succión de la bomba hasta el punto en que se añade más energía.

En una bomba centrífuga el NPSH_r es aquella cantidad de energía (en metros col. de líquido), precisada. Para vencer las pérdidas de carga desde la abertura de succión a los alabes del impulsor. Y para crear la velocidad deseada de corriente a los alabes.

NPSH_D.- Se define como la energía que tiene un líquido en la succión independientemente del tipo de esta, por encima de la energía del líquido debida a su presión de vapor.

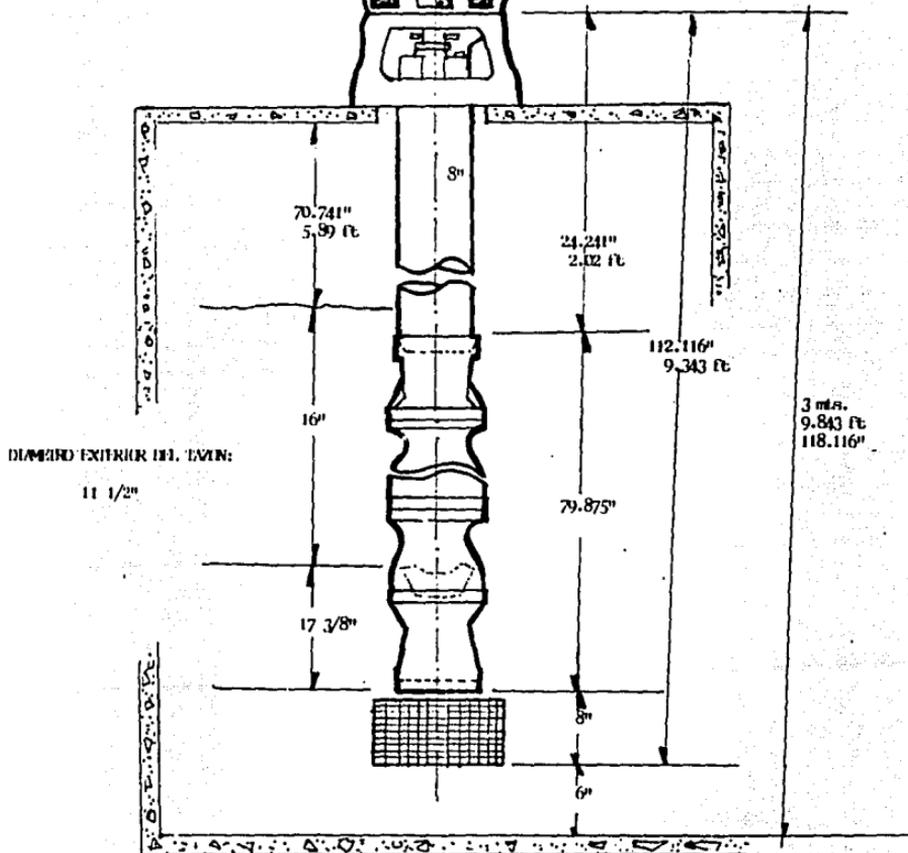
BOMBA CENTRIFUGA VERTICAL : 124-75

N.º DE PASOS : 6

MOTOR ELÉCTRICO VERTICAL : F.S.

COLUMNA : 9"

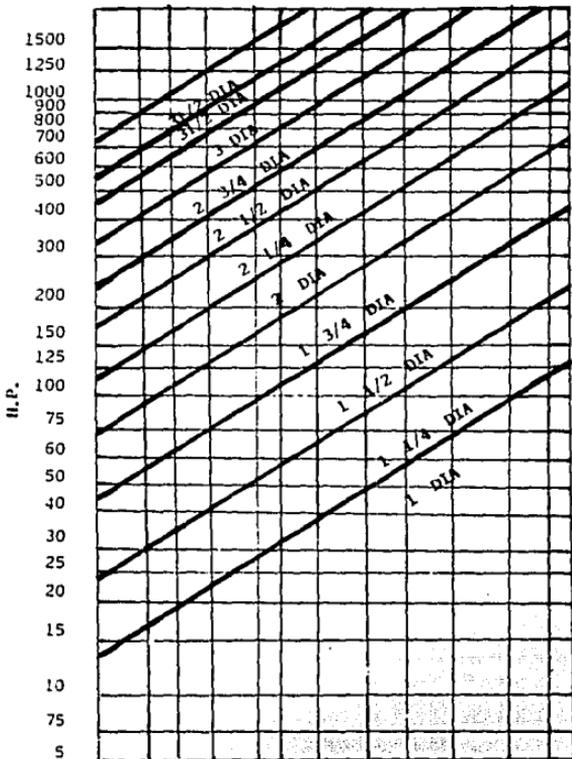
TERMINA POR : AGUA



SELECCION DE FLECHA DE LINEA

ESTA CARTA ES VALIDA SOLAMENTE PARA FLECHAS DE ACERO AL CARBON, DE ACUERDO AL STANDARD ASTM-A-108 Gr. 1045, PARA FLECHA DE ACEPO CON 13% CR. DE ACUERDO AL ASTM A-276, TIPO 420, ESTA CARTA PUEDE SER USADA MULTIPLICANDO LA POTENCIA POR 0.79

PARA ACERO INOXIDABLE COMO ES ASTM A-276, TIPO 316 PUEDE SER USADO TAMBIEN MULTIPLICANDO LA POTENCIA POR 2



R. P. M.

**PERDIDAS DE POTENCIA Y PESOS EN FLECHA DE LINEA
SELECCION DE COLUMNA**

DIAMETRO FLECHA DE LINEA	MAXIMA CAPACIDAD RECOMENDADA PARA CADA TAMAÑO DE COLUMNA									PERDIDAS DE POTENCIA (P_p) EN HP POR CADA 100 M DE FLECHA DE LINEA						PESO POR METRO DE FLECHA DE LINEA
	DIAMETRO DE COLUMNA EN PULGADAS									VELOCIDAD DE FLECHA EN RPM						
	4	5	6	8	10	12	14	16	20	735	970	1150	1450	1750	2900	
PULG	M ³ /h									hp						Kg
1	36	61								-	0.95	1.11	1.44	1.70	2.84	4.01
1 1/4	30	56	150	312	630					-	1.47	1.73	2.23	2.62	4.40	6.31
1 1/2		60	126	262	600	900				-	2.06	2.42	3.14	3.73	-	6.90
1 3/4				282	600	900				-	2.75	3.28	4.20	4.98	-	12.48
2					542	840	1380	1860			3.54	4.19	5.41	6.39	-	18.04
2 1/4					492	780	1260	1800		3.40	4.42	5.24	6.75	8.03	-	20.03
2 1/2					492	780	1260	1800		4.30	5.41	6.39	8.20	9.84	-	25.28
2 3/4							1110	1740	3120	5.20	6.58	7.90	10.00	12.00	-	30.21
3							1110	1740	3120	5.90	7.61	9.02	11.55	13.77	-	35.61
3 1/4								1740	3120	7.10	8.92	10.54	13.26	15.31	-	42.31
3 1/2								1740	3120						-	48.98

Notas:

- 1.- Cuando empleemos motores de combustión interna es normal que la velocidad de rotación no coincida con las indicadas en la tabla. En este caso la potencia es determinada por interpolación.
- 2.- La máxima capacidad recomendada para los diferentes tamaños de columna corresponde a pérdidas por fricción cuando las columnas son muy cortas este límite puede ser incrementado.

CARTA

FACTOR DE PERDIDAS EN LA COLUMNA

DIAMETRO COLUMNA		4			5			6			8				10					DIAMETRO COLUMNA						
DIAMETRO FLECHA		1	1 1/4	1	1 1/4	1 1/2	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/4	2 1/2	3	DIAMETRO FLECHA		
M ³ /h	G.P.M.	PERDIDAS EN METROS POR CADA 100 M. DE COLUMNA																							M ³ /h	G.P.M.
5	20																								5	80
7	28																								7	95
11	40																								11	100
17	68																								17	115
23	100	2.83	3.8	8.4	9.4	1.11																			23	100
28	125	4.20	5.75	9.8	1.40	1.66																			28	125
34	150	5.75	7.75	13.2	1.90	2.29																			34	150
38	175	7.50	10.00	17.4	2.50	3.00	3.7	7.5	1.00	1.00															38	175
45	200	9.40	12.25	22.0	3.15	3.75	4.7	9.4	1.30	1.30															45	200
51	225			27.0	3.90	4.54	5.0	1.18	1.60	1.60															51	225
57	250			32.7	4.65	5.60	1.08	1.40	2.01	2.05															57	250
62	275			39.3	5.55	6.67	1.29	1.70	2.40	2.40															62	275
68	300			45.5	6.40	7.74	1.50	1.94	2.80	2.80															68	300
74	325			52.5	7.40	8.90	1.75	2.20	3.20	3.20															74	325
79	350			59.0	8.40	10.00	1.98	2.50	3.65	3.65															79	350
85	375			67.0	9.45	11.25	2.23	2.95	4.15	4.15															85	375
91	400			75.0	10.60		2.50	3.50	4.65	4.65	5.0	8.1	7.5	7.5	1.02										91	400
102	450			91.0			3.15	4.10	5.75	5.75	6.2	7.6	9.1	9.1	1.26										102	450
112	500			110			3.75	4.95	6.90	6.90	7.5	9.2	11.1	11.0	1.55										112	500
125	550						4.45	5.90	8.20	8.20	9.0	11.0	13.1	13.1	1.82										125	550
136	600						5.20	6.90	9.50	9.50	1.05	1.28	1.53	1.52	2.13										136	600
148	650						6.00	7.95	11.00	11.00	1.22	1.48	1.78	1.78	2.48										148	650
159	700						6.90	9.05			1.39	1.70	2.05	2.05	2.85										159	700
170	750						7.90	10.25			1.57	1.95	2.30	2.30	3.21										170	750
182	800						8.65				1.75	2.15	2.57	2.57	3.60	3.0	5.8	6.5	6.5	7.0	1.85	.95	1.28	1.82	800	
204	900						10.70				2.18	2.67	3.20	3.20	4.45	4.7	7.1	8.0	8.0	8.7	1.18	1.18	1.56	2.14	900	
227	1000										2.62	3.22	3.85	3.85	5.40	7.5	8.5	9.8	9.8	1.17	1.45	1.45	1.87	2.27	1000	
250	1100										3.15	3.85	4.60	4.60	6.40	9.0	1.02	1.18	1.18	1.40	1.72	1.72	2.25	2.50	1100	
272	1200										3.65	4.45	5.35	5.35	7.55	1.05	1.18	1.38	1.38	1.63	2.00	2.00	2.59	2.72	1200	
318	1400										4.90	5.95	7.20	7.20	10.00	1.40	1.60	1.82	1.82	2.20	2.67	2.67	3.40	3.18	1400	
363	1600										6.5	7.40	8.40	8.40	11.50	1.80	2.05	2.32	2.32	2.80	3.40	3.40	4.30	3.63	1600	
409	1800										7.65	8.40	9.40	9.40	12.70	2.20	2.50	2.85	2.85	3.45	4.20	4.20	5.37	4.09	1800	
454	2000										9.30	11.40			15.00	2.70	3.05	3.50	3.50	4.20	5.15	5.15	6.52	4.54	2000	
499	2200										11.00				17.00	3.20	3.62	4.15	4.15	5.00	6.05	6.05	7.60	4.99	2200	
545	2400																								545	2400
590	2600																								590	2600
636	2800																								636	2800
681	3000																								681	3000
727	3200																								727	3200

271

HOJA DE CALCULO

J) PARA BOMBAS DE TIPO PROPELA, FLUJO MIXTO Y DOBLE SUCCIÓN.

Fecha: _____
Cliente: _____
Referencia: _____
Elaboró: _____

1. CONDICIONES DE OPERACIÓN
Líquido a Bombear
Q = _____ lps _____ GPM
HT = _____ m _____ pies
Material del Impulsor
Lubricación : _____
NE = _____ m _____ pies
ND = _____ m _____ pies
Longitud de columna: _____

Cuando no se cuenta con el valor de CDT, y solamente se dispone de la presión requerida en la descarga, se deben calcular las pérdidas en columnas.

$$h_{fc} = F \times L_f$$

La CDT se calculará por:

$$CDT = ND + P_d + h_{fc} + \frac{v_d^2}{2g}$$

La potencia preliminar se determina considerando una eficiencia de $\eta = 75\%$.

$$P_{MHP} = \frac{S_G \times Q \times CDT}{2970}$$

Con éste valor se determina el diámetro de flecha y su pérdida de potencia:

$$h_{HP} = F_p \times L_f$$

en dónde h_{HP} = pérdida en HP, F_p = factor de pérdida en función del diámetro de flecha y velocidad, respecto de la potencia esperada (de tabla 2), L_f = Longitud de flecha en pies.

2. SELECCIÓN DE LA BOMBA:

Modelo: _____
n = _____ rpm
 η = _____ %

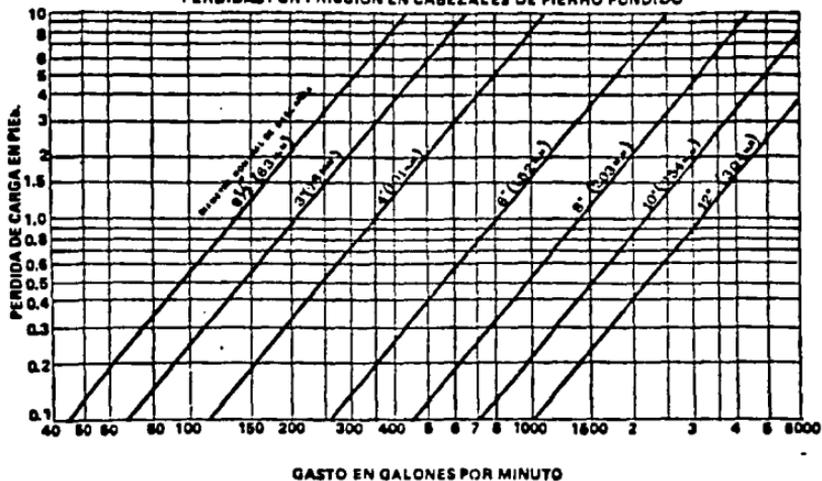
En función del gasto requerido se busca una curva que comprende este valor dentro de su zona de máxima eficiencia. A continuación se lee el valor de la carga proporciona la bomba para el gasto en cuestión y se divide la CDT entre este valor, obteniéndose así el número de pasos (dado que el número de pasos es entero se debe de volver a efectuar el cálculo dividiendo la CDT entre el número de paso, verificando que este valor caiga dentro de la curva). Si el punto de operación no cae dentro de la curva se deberá buscar otra curva. De la curva seleccionada se obtienen los valores finales de potencia requerida, eficiencia, $NPSH_R$, velocidad de rotación, sumergencia y diámetro o recorte de impulsor.

El diámetro de columna se selecciona en función del gasto considerando como aceptable un valor para pérdidas por fricción entre un 3 y un 5% (tabla 1).

El empuje hidráulico se determina de la siguiente manera:

PERDIDAS POR FRICCIÓN EN CABEZALES DE DESCARGA

PERDIDAS POR FRICCIÓN EN CABEZALES DE FIERRO FUNDIDO



FORMULAS COMUNMENTE USADAS EN BOMBAS CENTRIFUGAS.

$$HP \text{ legal} = \frac{GPM \times 8.33 \times \text{Carga}}{33000} = \frac{GPM \times \text{Carga}}{3960}$$

$$HP \text{ legal} = \frac{\text{lbs} \times \text{Carga (ft)} \cdot \text{min}}{70}$$

Donde: GPM = Galones por minuto

LPS = Litros por segundo

8.33 = Libras de agua por galón

33000 = Pie-Libras por minuto en un HP

Carga = Columna de agua en Pie (ft)

GPM (Laboratorio) = 2.832 × GPM + 50. G.

3960 = 60

HP (Carga) = BHP (Laboratorio) + Pérd. por Fric.

en la flecha.

BHP (Total) = BHP (Carga) + Pérdidas por Fric.

en el Banco de Carga.

Sistema Métrico: Carga (mts) a la s y q.

70 = Eficiencia

Donde: GPM = Galones por minuto

LPS = Litros por segundo

Carga = Columna de agua (Pie o Metro)

Gr. Sp = Gravedad específica del fluido

Eficiencia = La de la bomba (de las curvas de rendimiento)

Pérd. por fric. en la flecha = Las pérdidas por fricción

de la flecha en las tuberías, en HP.

Pérdidas por fricción en el banco de carga: HP.

MOTORES ELÉCTRICOS COMUNMENTE USADOS EN BOMBAS.

1. Motor standard horizontal con cojinete de bolas y con engranaje de ruedas para trabajar con bandeja o con acople Para-fine.
2. Con Sincro fase "C" magnética, con cojinete de bolas horizontal para operar directamente a la bomba.
3. Con engranaje de bolas horizontales con flecha de entrada que funciona como flecha de la bomba.
4. Con engranaje de bolas verticales con Sincro final magnético para bombas verticales.
5. De flecha final con engranaje de bolas verticales con Sincro final magnético para tuberías de poco profundidad.

Mantención

Los motores manufásicos tienen dos juegos de bobinas; uno para arranque y otro de trabajo. El arranque de este motor requiere un dispositivo de arranque llamado así como un capacitor a las bobinas y un interruptor (switch) controlado. Los motores de fase dividida o de polo compartido no tienen interruptores de arranque que tienen un arranque de bajo voltaje.

Tuberías

Los motores y flanges tienen un juego de bobinas y son de arranque independiente, así también el arranque de arranque eléctrico.

VELOCIDAD DE LOS MOTORES A CARGA PLENA

Número de Poles	Frecuencias (Ciclos por Segundo)		
	60	90	36
2	3600	2880	1440
4	1750	1440	720
6	1150	860	480
8	870	720	360

POT. NOMINAL	MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA							
	MONOFÁSICOS 60 Cíclm				TRIFÁSICOS 60 Cíclm			
	DETERMINACION DE AMPERES DEL MOTOR Y FUSIBLES							
	115V	Fusible	220V	Fusible	220V	Fusible	560V	Fusible
1/4	4.8	15	3.0	15				
1/2	8.0	20	3.0	15				
1/2	7.0	25	3.5	15	2.5	15	1.3	15
3/4	8.4	30	4.7	15	2.8	15	1.4	15
1	11.0	35	6.5	20	3.3	15	1.7	15
1 1/2					4.7	15	2.4	15
2					6.0	20	3.0	15
3					9.0	25	4.5	15
5					15	40	7.5	30
7 1/2					22	50	11.0	30
10					27	70	14	35
15					38	80	19	50
20					52	110	25	70
30					66	150	32	70
40					77	175	36	80
50					101	200	51	110
60					125	250	63	125
80					169	300	75	150
75					180	400	90	200
100					246	500	125	250
125							155	300
150							180	400
200							240	500

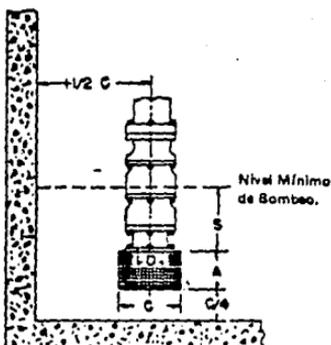
La función de los fusibles es proteger al motor contra sobrecargas. En un arranque, los generitos térmicos protegen al motor contra sobrecargas prolongadas. Su selección se hace de acuerdo con la corriente de arranque de los motores y el tipo de tipo del arranque.

COLOCACION DE BOMBAS TIPO TURBINA EN SUMIDEROS.

Para obtener el máximo rendimiento del equipo, instale las bombas tipo turbina en sumideros de acuerdo con las siguientes figuras. Las dimensiones que aparecen son las mínimas permitibles.

La forma ideal para un sumidero es la rectangular (no redonda).

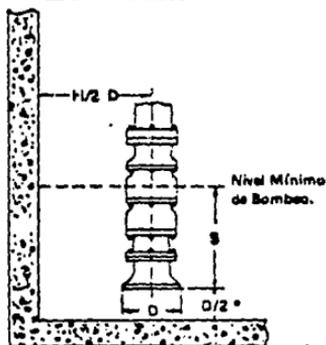
Bombas equipadas con
Colector Tipo Canasta.



D = diámetro de entrada red del tubo de Succión.

Fig. 1

Bombas equipadas con
Campana de Succión.



* Si la campana de succión está equipada con malla coledora esta dimensión deberá ser $D/1.5$

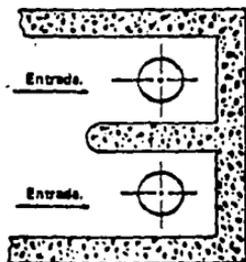
Fig. 2

INSTALACION DE DOS O MAS BOMBAS EN UN SUMIDERO.

Cuando se instalan dos o más bombas en un sumidero, se recomienda que cada bomba esté provista de un canal de entrada y deberá estar colocada en ese canal de acuerdo con las figuras 1 ó 2.

Si no es posible proporcionar canales de entrada para cada una de las bombas, se deberán colocar espereadas una distancia de centro a centro de 3D si están equipadas con campana de succión o 3C si están equipadas con colador tipo canasta.

La dirección del flujo de entrada deberá ser como en la figura 3.



Instalación correcta de dos bombas (planta) en un sumidero.

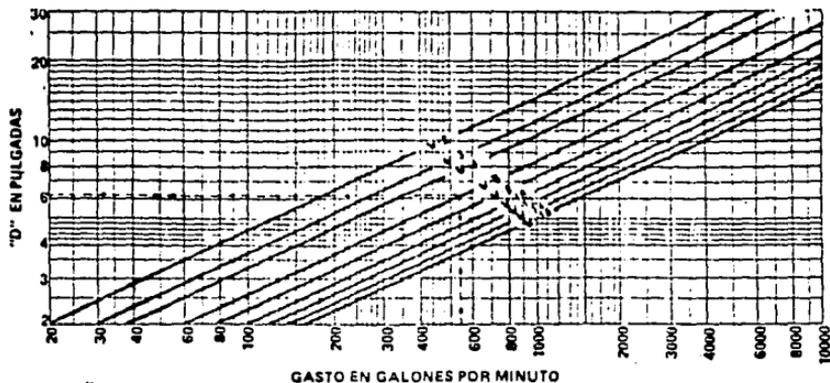
Fig. 3

LONGITUD EQUIVALENTE DE TUBERIA RECTA NUEVA, DE VALVULAS Y ACCESORIOS PARA FLUJO TURBULENTO SOLAMENTE.

ACCESORIOS			Diámetro de Tubo																							
			1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24					
Codo de 90 Reg.	Roscado	Acero	1.3	2.1	3.4	5.3	8.0	11.5	16.5	23.0	31.0	41.0	53.0	68.0	86.0	108.0	135.0	168.0	208.0	265.0						
		Hierro	1.4	2.3	3.6	5.5	8.2	11.7	16.7	23.2	31.2	41.2	53.2	68.2	86.2	108.2	135.2	168.2	208.2	265.2						
Codo de 90 Radio Largo	Roscado	Acero	1.5	2.6	4.0	6.1	8.8	12.3	17.3	23.8	31.8	41.8	53.8	68.8	86.8	108.8	135.8	168.8	208.8	265.8						
		Hierro	1.6	2.7	4.1	6.2	8.9	12.4	17.4	23.9	31.9	41.9	53.9	68.9	86.9	108.9	135.9	168.9	208.9	265.9						
Codo de 45 Reg.	Roscado	Acero	1.1	1.8	2.7	4.1	5.9	8.2	11.3	15.5	21.0	28.0	36.0	45.0	56.0	69.0	84.0	101.0	120.0	142.0						
		Hierro	1.2	1.9	2.8	4.2	6.0	8.3	11.4	15.6	21.1	28.1	36.1	45.1	56.1	69.1	84.1	101.1	120.1	142.1						
Tee Flujo en Línea	Roscado	Acero	1.9	3.2	4.8	7.1	10.1	13.8	19.3	26.3	34.3	44.3	56.3	70.3	86.3	105.3	127.3	152.3	181.3	223.3						
		Hierro	2.0	3.3	4.9	7.2	10.2	13.9	19.4	26.4	34.4	44.4	56.4	70.4	86.4	105.4	127.4	152.4	181.4	223.4						
Tee Flujo Derivado	Roscado	Acero	1.4	2.3	3.6	5.5	8.2	11.7	16.7	23.2	31.2	41.2	53.2	68.2	86.2	108.2	135.2	168.2	208.2	265.2						
		Hierro	1.5	2.4	3.7	5.6	8.3	11.8	16.8	23.3	31.3	41.3	53.3	68.3	86.3	108.3	135.3	168.3	208.3	265.3						
Retorno 180	Roscado	Acero	1.3	2.1	3.4	5.3	8.0	11.5	16.5	23.0	31.0	41.0	53.0	68.0	86.0	108.0	135.0	168.0	208.0	265.0						
		Hierro	1.4	2.3	3.6	5.5	8.2	11.7	16.7	23.2	31.2	41.2	53.2	68.2	86.2	108.2	135.2	168.2	208.2	265.2						
Valvula de Globo	Roscado	Acero	1.1	1.8	2.7	4.1	5.9	8.2	11.3	15.5	21.0	28.0	36.0	45.0	56.0	69.0	84.0	101.0	120.0	142.0						
		Hierro	1.2	1.9	2.8	4.2	6.0	8.3	11.4	15.6	21.1	28.1	36.1	45.1	56.1	69.1	84.1	101.1	120.1	142.1						
Valvula de Compuerta	Roscado	Acero	1.3	2.1	3.4	5.3	8.0	11.5	16.5	23.0	31.0	41.0	53.0	68.0	86.0	108.0	135.0	168.0	208.0	265.0						
		Hierro	1.4	2.3	3.6	5.5	8.2	11.7	16.7	23.2	31.2	41.2	53.2	68.2	86.2	108.2	135.2	168.2	208.2	265.2						
Valvula Angular	Roscado	Acero	1.3	2.1	3.4	5.3	8.0	11.5	16.5	23.0	31.0	41.0	53.0	68.0	86.0	108.0	135.0	168.0	208.0	265.0						
		Hierro	1.4	2.3	3.6	5.5	8.2	11.7	16.7	23.2	31.2	41.2	53.2	68.2	86.2	108.2	135.2	168.2	208.2	265.2						
Valvula de Retención	Roscado	Acero	1.1	1.8	2.7	4.1	5.9	8.2	11.3	15.5	21.0	28.0	36.0	45.0	56.0	69.0	84.0	101.0	120.0	142.0						
		Hierro	1.2	1.9	2.8	4.2	6.0	8.3	11.4	15.6	21.1	28.1	36.1	45.1	56.1	69.1	84.1	101.1	120.1	142.1						
Cople o Unión	Roscado	Acero	1.1	1.8	2.7	4.1	5.9	8.2	11.3	15.5	21.0	28.0	36.0	45.0	56.0	69.0	84.0	101.0	120.0	142.0						
		Hierro	1.2	1.9	2.8	4.2	6.0	8.3	11.4	15.6	21.1	28.1	36.1	45.1	56.1	69.1	84.1	101.1	120.1	142.1						
Bocanilla	Roscado	Acero	1.1	1.8	2.7	4.1	5.9	8.2	11.3	15.5	21.0	28.0	36.0	45.0	56.0	69.0	84.0	101.0	120.0	142.0						
		Hierro	1.2	1.9	2.8	4.2	6.0	8.3	11.4	15.6	21.1	28.1	36.1	45.1	56.1	69.1	84.1	101.1	120.1	142.1						
Bocanilla	Roscado	Acero	1.1	1.8	2.7	4.1	5.9	8.2	11.3	15.5	21.0	28.0	36.0	45.0	56.0	69.0	84.0	101.0	120.0	142.0						
		Hierro	1.2	1.9	2.8	4.2	6.0	8.3	11.4	15.6	21.1	28.1	36.1	45.1	56.1	69.1	84.1	101.1	120.1	142.1						
Tubo de Redondeo	Roscado	Acero	1.1	1.8	2.7	4.1	5.9	8.2	11.3	15.5	21.0	28.0	36.0	45.0	56.0	69.0	84.0	101.0	120.0	142.0						
		Hierro	1.2	1.9	2.8	4.2	6.0	8.3	11.4	15.6	21.1	28.1	36.1	45.1	56.1	69.1	84.1	101.1	120.1	142.1						
Enchufe	Roscado	Acero	1.1	1.8	2.7	4.1	5.9	8.2	11.3	15.5	21.0	28.0	36.0	45.0	56.0	69.0	84.0	101.0	120.0	142.0						
		Hierro	1.2	1.9	2.8	4.2	6.0	8.3	11.4	15.6	21.1	28.1	36.1	45.1	56.1	69.1	84.1	101.1	120.1	142.1						

FALLA DE ORIGEN

SUMERGENCIA MINIMA DE BOMBAS TURBINAS EN SUMIDROS.



GASTO EN GALONES POR MINUTO

TABLA 1

EJEMPLO:

Determinar la sumergeria minima "S" de una bomba turbina con las siguientes características:

GASTO: 560 GPM

"D" (Fig. 2): $6\frac{3}{16}$ "

Fluido: Agua fria y limpia.

PROCEDIMIENTO:

Primero se busca el valor "V" en la tabla 1, este se obtiene de la interseccion de las lineas $6\frac{3}{16}$ " y 560 GPM. Para estos valores, las lineas se cruzan en V-8.

Con este valor se pasa a la tabla 2 y "S" se encuentra en la interseccion de V-8 con la curva (3.75 Pies).

"S" = 3.75 Pies.

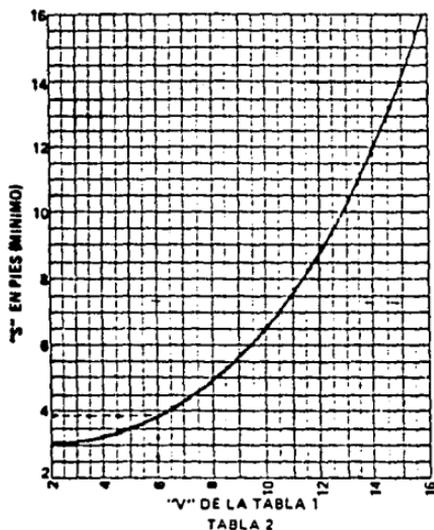
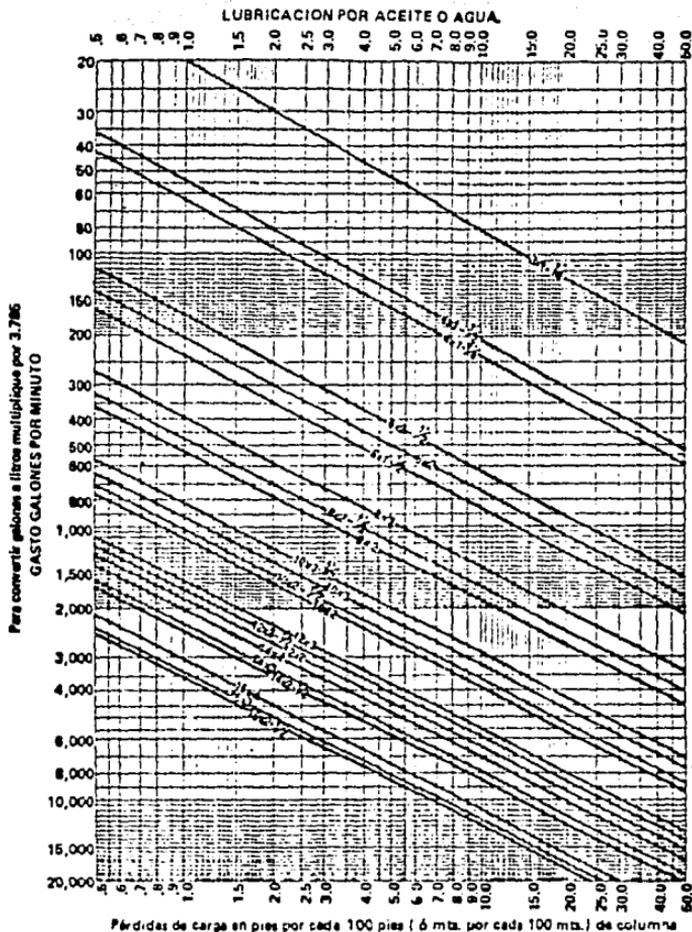


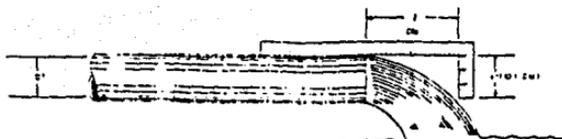
TABLA 2

PERDIDAS POR FRICCION EN COLUMNA DE BOMBAS TIPO
TURBINA



FALLA DE ORIGEN

COMO DETERMINAR EL GASTO DE UNA BOMBA



Pig	DIAMETRO INTERIOR DE TUBO							DIAMETRO INTERIOR DE TUBO							
	2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	2"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	
mm	53	76	101	127	152	203	254	mm	53	76	101	127	152	203	254
Z	GASTO EN LITROS POR SEGUNDO							GASTO EN LITROS POR SEGUNDO							
cm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
10	1.9	2.9						37	7.3	11	18	30	43	76	119
11	2.2	3.2	5.8					38	7.5	11	19	31	44	78	123
12	2.4	3.5	6.1					39	7.7	11	20	31	45	80	126
13	2.6	3.8	6.6	10				40	7.9	12	20	32	46	82	
14	2.8	4.0	7.1	11				41	8.1	12	21	33	47	84	
15	3.0	4.3	7.7	12				42	8.3	12	21	34	48	87	
16	3.2	4.6	8.2	13	18			43	8.5	12	22	35	50	89	
17	3.4	4.9	8.7	14	20			44	8.7	13	22	35	51	91	
18	3.6	5.2	9.2	15	21	37		45	8.9	13	23	36	52	93	
19	3.8	5.5	9.7	15	22	39		46	9.1	13	23	37	53	95	
20	4.0	5.8	10.1	16	23	41	65	47	9.3	14	24	37	54	97	
21	4.2	6.1	11.1	17	24	43	69	48	9.5	14	24	37	55	99	
22	4.4	6.4	11.1	18	25	45	71	48	9.7	14	25	40	57	101	
23	4.6	6.6	12.1	19	27	47	74	50	9.9	14	26	40	58	103	
24	4.8	6.9	12.1	19	28	49	77	51	10	15	26	41	59	105	
25	5.0	7.2	13	20	29	52	81	52	10	15	27	42	60	107	
26	5.2	7.5	13	21	30	54	84	53	10	15	27	43	61	109	
27	5.4	7.8	14	22	31	57	87	54	10	16	28	44	62	111	
28	5.6	8.1	14	23	32	59	90	55	10	16	28	44	64	113	
29	5.8	8.4	15	23	34	60	94	56	10	17	29	45	65	115	
30	6.0	8.7	15	24	35	62	97	57	10	17	29	45	66	117	
31	6.2	9.0	16	25	36	64	100	58	10	17	29	47	67	120	
32	6.4	9.2	16	26	37	66	103	59	10	18	30	47	68	122	
33	6.6	9.5	17	27	38	68	106	60	10	18	30	47	69	124	
34	6.7	9.8	17	27	39	70	110	61	10	18	30	47	70	126	
35	6.9	10	18	28	40	72	113	62	10	18	30	47	72	127	
36	7.1	10	18	29	42	74	116	63	10	18	30	47	74	129	

DIAMETROS DE TUBO DIFERENTES A LOS DE LA TABLA, EL GASTO EN LPS SE DETERMINA MULTIPLICANDO "Z" x 0.00205 x D², SIENDO "D" EL DIAMETRO DEL TUBO EN mm.

FALLA DE ORIGEN

POTENCIA ADMISIBLE EN HP PARA FLECHAS DE ACERO C-1045

DIAMETRO DE FLECHA	Pig	3/4	1	1 ³ /16	1 ¹ /2	1 ¹¹ /16	1 ³ /4	1 ¹⁵ /16	2	2 ¹ /4	2 ⁷ /16
	mm	19	25	30	38	43	44	49	51	58	62
PESO DE LA FLECHA	lbs/pie	1.50	2.67	3.77	6.01	7.61	8.18	10.03	10.58	13.52	15.87
	kg/m	2.23	3.97	5.6	8.94	11.32	12.17	14.92	15.89	20.11	23.61
TRACCION TOTAL		POTENCIA ADMISIBLE EN HP A 1750 r.p.m.									
1,000 lbs	454 Kg	19.6	49.5	83.4	172.8	249.5	285.8	391.0	437.0	609.5	780.0
2,000	907	19.2	49.1	83.0	172.3	249.3	285.5	390.8	436.5	609.4	779.9
3,000	1,362	18.4	48.6	82.6	172.1	249.0	285.1	390.5	436.0	609.2	779.8
4,000	1,816	17.4	47.9	82.1	171.8	248.6	284.4	390.2	435.5	608.9	779.6
5,000	2,270	15.9	47.0	81.2	171.0	248.3	284.1	389.9	435.2	608.5	779.3
6,000	2,724	-	46.7	80.5	170.1	247.5	283.6	389.5	435.0	608.0	778.5
7,000	3,178	-	44.3	79.1	169.3	246.4	282.4	388.7	434.7	607.5	778.0
8,000	3,632	-	42.5	77.7	168.5	245.7	281.9	387.8	434.0	606.5	776.5
9,000	4,086	-	-	76.2	167.1	245.0	281.0	387.2	432.5	606.5	776.0
10,000	4,540	-	-	75.0	166.0	232.8	279.9	386.0	432.0	606.0	775.5
12,000	5,448	-	-	-	162.5	240.9	277.2	384.0	429.5	603.0	774.5
14,000	6,356	-	-	-	158.9	238.0	274.0	380.9	427.0	600.5	772.0
18,000	7,264	-	-	-	154.3	234.0	270.7	378.1	424.0	598.0	769.5
18,000	8,172	-	-	-	149.1	229.2	266.3	374.0	420.5	594.0	766.0
20,000	9,080	-	-	-	-	224.6	264.2	369.8	417.0	591.0	763.5
25,000	11,350	-	-	-	-	209.0	247.5	358.0	404.5	581.0	754.0
30,000	13,620	-	-	-	-	-	228.8	342.3	390.1	568.0	743.0
35,000	15,890	-	-	-	-	-	-	322.6	371.9	553.0	728.5
40,000	18,160	-	-	-	-	-	-	-	-	534.0	712.0

Los valores anteriores están basados en la siguiente fórmula:

$$P = \frac{ND^3}{321,000} \left[S^2 - \left(\frac{2F}{\pi D^2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

P = Potencia transmitida (en hp)

N = r.p.m.

D = Diámetro de la Flecha (en la raíz de la Rosca)

S = Esfuerzo Combinado Cortante Permisible (psi)*

F = Empuje Axial

*S = El esfuerzo combinado no deberá exceder del 30% del límite elástico ni del 18% del esfuerzo de ruptura o la tensión de la flecha:

Los valores anteriores están calculados a 1750 r.p.m. Para otras velocidades multiplique el valor que aparece en la tabla por el factor apropiado.

R.P.M.	Factor
3450	1.97
2900	1.65
1450	.824
1160	.68
970	.545
860	.49
720	.41
690	.392

COLUMN FRICTION LOSS CHART
50 - 1400 GPM

Friction losses listed below conform to ANSI Specification B58.1 and AWWA Specification E101, where applicable.

**LOSS IN FEET OF HEAD PER 100 FEET OF COLUMN
OPEN OR ENCLOSED LINESHAFT**

COL. SIZE	SHAFT SIZE	CAPACITY IN GALLONS PER MINUTE																		
		30	60	70	80	90	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350			
4	1	.9	1.2	1.5	1.9	2.4	2.8	4.2	5.7	7	9.5	11.5	14.0							
4	1 1/4	1.6	2.2	2.9	3.6	4.4	5.3	7.7	10.5	13.5										
5	1							10	11	11	2.2	2.7	3.3	3.9	4.5	5.2	5.9			
5	1 1/4							9	14	19	2.3	3.1	3.9	4.8	5.5	6.4	7.2	8.3		
5	1 1/2 - 1 3/4							1.0	1.2	1.8	2.5	3.7	4.0	5.0	6.0	7.1	8.3			
6	1										.9	1.1	1.3	1.5	1.7	2.0				
6	1 1/4										1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.3	2.6			
6	1 1/2 - 1 3/4										9	11	14	1.7	2.0	2.4	2.9	3.2	3.6	
6	1 3/4										9	13	17	2.2	2.7	3.3	3.9	4.5	5.2	6.0

COL. SIZE	SHAFT SIZE	CAPACITY IN GALLONS PER MINUTE																		
		375	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900	1000	1100	1200	1300	1400			
5	1	6.6	7.5	9.3	11.2															
5	1 1/4	9.4	10.5																	
6	1	2.2	2.5	3.1	3.7	4.4	5.2	6.0	6.8	7.7	8.6	10.7								
6	1 1/4	2.9	3.3	4.1	4.9	5.8	6.8	7.8	9.0	10.1										
6	1 1/2 - 1 3/4	4.1	4.6	5.7	6.9	8.1	9.5	11.0												
6	1 3/4	6.7	7.5	9.3	11.5															
8	1						1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.5	3.0	3.5	4.2	4.8	5.5			
8	1 1/4						9	11	13	15	17	2.0	2.2	2.7	3.2	3.8	4.5	5.2	6.0	
8	1 1/2 - 1 3/4				9	11	13	1.5	1.8	2.0	2.3	2.8	3.2	3.9	4.6	5.4	6.2	7.2		
8	1 3/4	9	10	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.8	3.2	3.6	4.5	5.4	6.4	7.5	8.8	10.0			
8	2 1/2 - 2 3/4	1.3	1.5	1.8	2.2	2.6	3.0	3.5	4.1	4.6	5.2	6.4	7.8	9.4						
10	1														1.1	1.2	1.4			
10	1 1/4														1.0	1.2	1.4	1.6		
10	1 1/2 - 1 3/4														1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	
10	1 3/4														1.0	1.2	1.4	1.6	1.9	2.2
10	2 1/2 - 2 3/4										9	1.2	1.4	1.7	2.0	2.3	2.7			
10	2 3/4										10	1.3	1.6	1.9	2.2	2.6	3.0	3.5		

FALLA DE ORIGEN

COLUMN FRICTION LOSS CHART
1500 - 15,000 GPM

LOSS IN FEET OF HEAD PER 100 FEET OF COLUMN
OPEN OR ENCLOSED LINESHAFT

COL SIZE	SHAFT SIZE	CAPACITY IN GALLONS PER MINUTE																	
		1300	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200	4400	4700	5000
8	1	6.2	6.9	8.6	10.5														
	1-1/4	6.8	7.6	9.4	11.4														
10	1	1.6	1.8	2.2	2.7	3.2	3.7	4.3	5.0	5.5	6.3	7.0	7.8	8.7	9.6				
	1-1/4	1.8	2.0	2.5	3.0	3.6	4.2	4.9	5.6	6.4	7.1	8.0	8.9	9.8					
	1 1/2-1 1/8	2.0	2.3	2.8	3.5	4.1	4.8	5.6	6.4	7.2	8.2	9.1							
	1 1/8	2.3	2.8	3.4	4.2	5.0	5.8	6.8	7.8	8.9	10.0								
	2 1/8-2 1/8	3.0	3.4	4.3	5.2	6.1	7.2	8.2	9.4										
2 1/8	3.9	4.5	5.5	6.7	7.9	9.3													
12	1-1/4			1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	2.2	2.5	2.8	3.1	3.5	3.9	4.2	4.8	5.3	5.8	6.4
	1 1/2-1 1/8		.9	1.1	1.4	1.6	1.9	2.2	2.5	2.9	3.2	3.6	4.0	4.4	4.8	5.3	6.0	6.6	7.3
	1 1/8	.9	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1	4.6	5.1	5.6	6.3	7.0	7.8	8.5
	2 1/8-2 1/8	1.1	1.2	1.5	1.8	2.1	2.5	2.9	3.3	3.8	4.3	4.8	5.4	5.9	6.5	7.2	8.0	8.8	9.7
2 1/8	1.3	1.4	1.8	2.1	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.1	5.7	6.4	7.1	7.8	8.8	9.9			
14	1 1/2-1 1/8					1.0	1.2	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.1	2.3	2.6	2.9	3.2	3.6	4.0
	1 1/8				.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.4	2.6	2.9	3.2	3.5	3.9	4.3	4.7
	2 1/8-2 1/8			.9	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.7	4.0	4.4	4.9	5.5
	2 1/8	.9	1.0	1.1	1.4	1.6	1.9	2.2	2.5	2.9	3.2	3.6	4.0	4.4	4.9	5.4	6.0	6.7	7.2
16	1 1/2-1 1/8											1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	1.9
	1 1/8									.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.9	2.1
	2 1/8-2 1/8								.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5
	2 1/8						.9	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6	1.8	1.9	2.1	2.4	2.7	2.9	3.1

COL SIZE	SHAFT SIZE	CAPACITY IN GALLONS PER MINUTE																	
		4300	4700	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000	11000	12000	13000	14000	15000
14	1 1/2-1 1/8	3.2	3.6	4.0	4.7	5.6	6.4	7.4	8.5	9.7									
	1 1/8	3.5	3.9	4.3	5.1	6.0	7.0	8.0											
	2 1/8-2 1/8	4.0	4.4	4.9	5.8	6.9	8.0	9.2											
	2 1/8	4.6	5.0	5.5	6.7	8.0	9.3												
16	1 1/2-1 1/8	1.6	1.8	1.9	2.3	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6	5.2	5.8	6.4	7.1	7.8	8.6			
	1 1/8	1.7	1.9	2.1	2.5	3.0	3.4	3.8	4.3	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.9				
	2 1/8-2 1/8	1.9	2.1	2.3	2.7	3.3	3.8	4.4	5.0	5.6	6.3	7.0	7.7	8.5					
	2 1/8	2.0	2.2	2.5	2.9	3.5	4.0	4.6	5.3	5.9	6.5	7.3	8.0	8.8					
2 1/8	2.4	2.7	2.9	3.5	4.1	4.7	5.4	6.1	6.8	7.6	8.3	9.0							
18	1 1/8	1.0	1.1	1.1	1.4	1.6	1.9	2.1	2.4	2.7	3.1	3.4	3.8	4.2	4.9	5.8	6.8	7.8	8.8
	2 1/8-2 1/8	1.0	1.1	1.2	1.5	1.7	2.0	2.3	2.6	2.9	3.3	3.6	4.0	4.4	5.3	6.2	7.2	8.3	9.4
	2 1/8	1.1	1.2	1.3	1.6	1.8	2.1	2.5	2.8	3.2	3.6	4.0	4.4	4.8	5.7	6.7	7.8	9.0	
	2 1/8	1.2	1.4	1.5	1.8	2.1	2.4	2.8	3.1	3.5	4.0	4.4	4.9	5.2	6.4	7.5	8.8		
20	1 1/8				.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9	2.1	2.3	2.7	3.2	3.7	4.2	4.9	5.3
	2 1/8-2 1/8				1.0	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	3.0	3.6	4.1	4.7	5.3	5.8
	2 1/8			.9	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.3	2.5	2.7	3.2	3.8	4.4	5.0	5.7	6.2
	2 1/8			.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.3	2.6	2.8	3.1	3.7	4.3	5.0	5.8	6.6

TABLE No. 1
COLUMN FRICTION LOSS CHART
 10,000 - 68,000 GPM

LOSS IN FEET OF HEAD PER 100 FEET OF COLUMN
 OPEN OR ENCLOSED LINESHAFT

COL. SIZE	SHAFT SIZE	CAPACITY IN THOUSANDS OF GALLONS PER MINUTE																	
		10	11	12	13	14	15	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
18	1 1/2"	4.2	4.9	5.8	6.8	7.8	8.8												
	2 1/4"-2 1/2"	4.4	5.3	6.2	7.2	8.3	9.4												
	2 1/2"	4.8	5.7	6.7	7.8	9.0													
	2 3/4"	5.2	6.4	7.5	8.8														
20	1 1/2"	2.3	2.7	3.2	3.7	4.2	4.9	5.5	6.8	8.2									
	2 1/4"-2 1/2"	2.5	3.0	3.6	4.1	4.7	5.3	6.0	7.5	9.1									
	2 1/2"	2.7	3.2	3.8	4.4	5.0	5.7	6.5	8.0										
	2 3/4"	3.1	3.7	4.3	5.0	5.8	6.6	7.4	9.2										
24	2 1/4"-2 1/2"	1.0	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.8	3.4	4.1	4.8	5.6	6.4	7.2	8.2			
	2 1/2"	1.0	1.2	1.4	1.6	1.9	2.2	2.4	3.0	3.6	4.4	5.2	5.6	6.8	7.8				
	2 3/4"	1.1	1.3	1.6	1.8	2.1	2.4	2.7	3.4	4.1	4.9	5.7	6.6	7.6	8.7				
	3 1/4"-3 1/2"	1.3	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.8	4.6	5.5	6.5	7.8	8.6					
30	2 1/2"									1.0	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.3	2.6	2.9	3.2
	2 3/4"									.9	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	2.2	2.5	2.8	3.1
	3 1/4"-3 1/2"									1.0	1.2	1.4	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8	3.2	3.5
36	2 1/2"													.9	1.1	1.3	1.5	1.6	1.8
	2 3/4"													1.0	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9
	3 1/4"-3 1/2"												.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.8	2.0

		CAPACITY IN THOUSANDS OF GALLONS PER MINUTE																	
		34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68
42	2 1/2"			.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	2.0	2.1				
	3 1/4"-3 1/2"		.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0	2.1	2.2				
	3 3/4"-4 1/2"	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4				
48	2 1/2"											.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
	3 1/4"-3 1/2"											.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
	3 3/4"-4 1/2"									.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8

FALLA DE ORIGEN

SHAFT SELECTION AND MECHANICAL FRICTION CHART

HORSEPOWER MULTIPLIERS

Shaft Size	316 SS	304 SS	W-416 SS	17-4 PH SS	MONEL	K-MONEL
1/2" dia.	75	75	75	75	1.25	1.70
2 1/2" end = 2	9	9	9	9	1.25	2.0

For engine-driven pumps using engines with less than 4 cylinders or with engine speeds less than 500 RPM, multiply horsepower and thrust ratings by 75.

Since horsepower ratings are dependent upon the pump thrust, the following rules may be applied, if necessary:

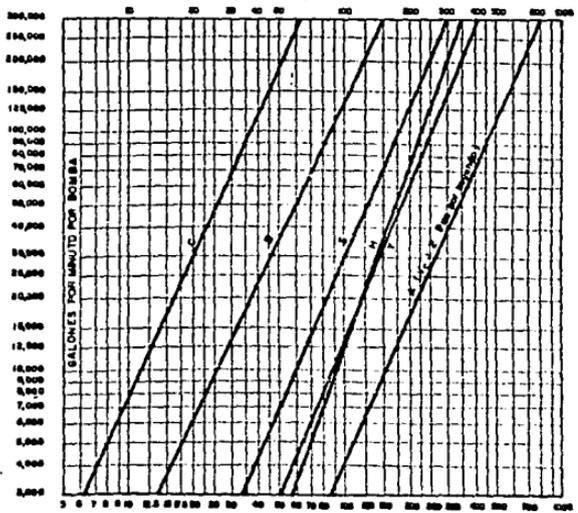
1. If pump thrust exceeds that listed by 50%, multiply horsepower by .95.
 2. If pump thrust is only 50% of that listed, multiply horsepower ratings by 1.25.
- Interpolation between these thrust ratings are permissible.

60 CYCLE SPEEDS

Shaft Dia.	Wt./Ft. (lbs.)	Max. Thrust (l)	MAXIMUM HORSEPOWER RATINGS AT RPM SHOWN																	
			3560	1780	1180	860	705	593	505	440	385	335	322	285						
1/2	1.54	2.24	39.2	19.6	13															
1	2.77	3.80	115	57.5	38.1	28.4														
1 1/2	3.92	5.60	182	91	60.3	45	36.1													
1 3/4	4.35	6.10	230	115	76.2	56.8	43.5													
1 1/2	6.21	8.60	376	188	125	93.2	74.7	51.5												
1 3/4	7.90	11.5	566	283	188	142	112	83.7	60.2											
1 3/4	10.5	15.5	893	445	295	222	175	147	126	110										
2 1/4	13.5	20.0	1314	657	436	325	253	218	187	163	146									
2 1/4	18.9	25.0		831	537	396	317	265	227	198	178	160								
2 1/4	20.5	30.0		1047	694	519	415	347	277	259	233	209	180							
2 1/4	27.2	40		1424	941	704	564	472	424	382	348	284	258	236						
3 1/4	31.9	40		1833	1215	906	728	618	533	483	407	366	332	304						
3 1/4	38.0	54		2274	1510	1126	922	775	648	583	505	454	412	377						
3 1/4	43.8	54		2848	1888	1408	1128	944	818	704	632	568	515	472						
4	52.7	70		3613	2395	1786	1431	1198	1015	883	802	721	654	596						
4 1/2	66.1	70		4627	3143	2353	1723	1475	1285	1154	1037	941	862	812						
5	84.2	88		6132	3579	2827	2368	2025	1784	1584	1424	1292	1184	1104						
5 1/2	102	88		8337	4726	3788	3168	2712	2383	2121	1908	1728	1584	1472						
6	126	106		10225	6134	4974	4172	3570	3087	2753	2474	2244	2058	1912						
6 1/2	147	106		12353	7833	6275	5251	4464	3918	3515	3159	2885	2625	2468						
7	178	156		16857	10959	8727	7253	6183	5318	4694	4123	3735	3444	3204						
7 1/2	203	127		21257	13651	10717	8973	7633	6507	5607	4959	4407	4007	3727						
8	237	127		26652	17378	13823	11478	9783	8418	7328	6577	5911	5362	4912						

(1) Refer to rules regarding pump thrust at top of page.

ESTANDAR DEL INSTITUTO DE HIDRAULICA
DIMENSIONES DEL CARGAMO CON RELACION AL FLUJO



DIMENSIONES RECOMENDADAS EN PULGADAS

Véanse otras explicaciones en el texto del artículo parte B-63. Dimensiones aplicadas en aguas limpias. Para líquidos que contienen sedimentos véase entre pátamos especificaciones de fabricante.

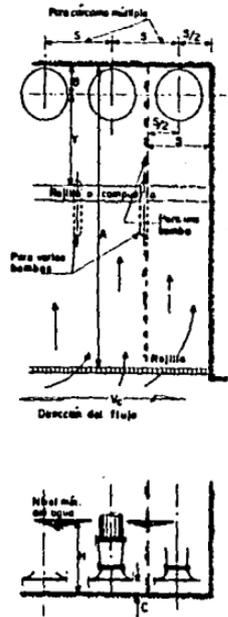


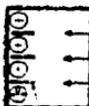
Fig. 8F-36 (1-B)

ESTANDAR DEL INSTITUTO DE HIDRAULICA
 CARCAMO PARA VARIAS BOMBAS

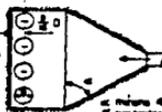
RECOMENDADO



V1 y V2 por
 segunda e tercer
 $S = 1\frac{1}{2} = 2D$

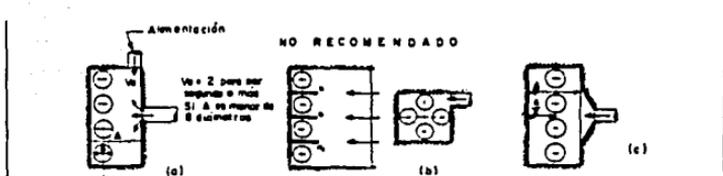


Aumentarse el espesor
 del muro divisor a la dis-
 tancia entre los de la zona
 Extremidades de las bombas
 o motoras e regulares
 Entre la pared y el muro
 divisor de cada un espacio
 de $\frac{1}{4}$ pulgadas



el ángulo 45°
 es preferible 75°

FALLA DE ORIGEN



RECOMENDADO

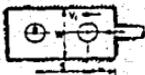


Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Nº	1	2	4	8	8					

Los desahuedos, reses y planchas deberán colocarse inmediatamente a la entrada del canal y al principio de la sección más ancha

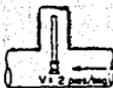


NO RECOMENDADO A MENOS QUE:



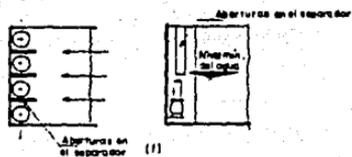
(a)

W = 5 centímetros o más
V = 0.2 pas./seg. o menos
L = igual que el radio anterior
S = mayor que 4D

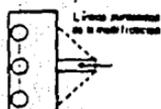


(e)

RECOMENDADO ALTERNADO CON (B)



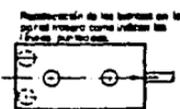
ESTANDAR DEL INSTITUTO DE HIDRAULICA
CORRECCION A CARCAMOS EXISTENTES



Las líneas punteadas indican las separadoras verticales originales de la bomba.

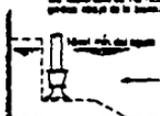
Las correcciones de boca ser agregadas después de probarlas.

(A)



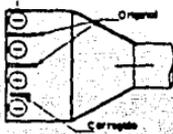
Restauración de las bridas en la parte inferior para evitar las líneas punteadas.

(B)

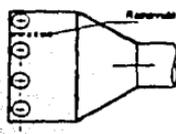


Las líneas punteadas indican las separadoras verticales originales de la bomba.

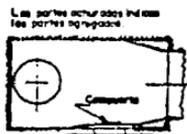
(C)



(D)



(E)



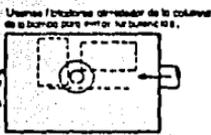
Las partes acortadas incluyen las partes agregadas.

(F)



(G)

Se agregan los rectificadores de ángulo al número de separador en la base de la bomba.



(H)

Usamos fricciones alrededor de la columna de la bomba para evitar las burbujas.



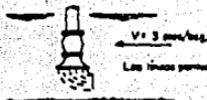
(I)

Usamos alfileres huecos grandes para evitar vertidos en la tubería.

Mejoras la reflexión y mejora de la bomba para reducir la posibilidad de formación de vórtices.



(J)



(K)

Las líneas punteadas fueran agua gorda

$$E = CDT \times K_E + L_c \times W_F + N_p \times W_R$$

en donde E = empuje hidráulico en lb, CDT = carga dinámica total en pies, K_E = constante de empuje (por fabricante, en muchos casos indicado en la curva), L_c = longitud de columna en pies, W_F = peso de la flecha en lb (de tabla 2), N_p = número de pasos, W_R = peso del rotor en lb (de acuerdo con datos del fabricante).

Se calcula la potencia final (BHP) como:

$$BHP = \frac{S_g \times Q \times CDT}{2970} + h_{HP}$$

El tamaño del cabezal de descarga se expresa en el diámetro del BD del motor y el diámetro de descarga de la bomba.

El BD del motor varía de acuerdo al fabricante y está en función de la potencia del mismo, así como la velocidad.

3.3 ANÁLISIS DEL DISEÑO Y SELECCIÓN DEL EQUIPO AUXILIAR UTILIZADO PARA EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A) SOPLADORES

1. Almacenes

La presente especificación cubre las características y requerimientos mínimos para el diseño, fabricación, pruebas, garantías y condiciones de operación de un

sistema de suministro de aire formado por sopladores de desplazamiento positivo y motor eléctrico horizontal.

Se deberá considerar el suministro integral del equipo (soplador-motor), desde el diseño fabricación y pruebas, hasta el transporte, instalación y puesta en marcha en la planta de tratamiento.

2. Normas aplicables:

ASTM	American society for testing and materials.
ANSI	American national standard institute.
AWS	American welding society
NOM	Norma oficial mexicana.

3. Suministro.

3.1 A continuación se indica una relación de los dispositivos y accesorios mínimos que integran a cada equipo:

Soplador.

Motor

Filtro en la succión

Juntas flexibles

Poleas

Bandas

Silenciador en el múltiple de descarga (convencional tipo "I")

Manómetro

Válvula de alivio de presión

Guarda de transmisión

Base

3.2 Diseño

Los sopladores, deberán ser del tipo de desplazamiento positivo y gasto constante montados en una base común, con un motor eléctrico de potencia adecuada y acoplado por un sistema de poleas y banda. El soplador contará con un filtro de aire, de capacidad adecuada y de un silenciador en el múltiple de descarga del conjunto de sopladores para disminuir el ruido a límites tolerables.

Los equipos tendrán una vida útil mínima de 15 años, considerando una operación continua.

4. Construcción

4.1. Sopladores:

Impulsores.- Fabricados en fierro fundido y acoplados permanentemente a flechas de acero, balanceados dinámicamente para una operación libre de vibraciones.

Cabezales.- Maquinados en fierro fundido y rectificadas en el interior para una tolerancia exacta de operación. Los asientos de baleros serán maquinados en los cabezales para asegurar una adecuada posición.

Coraza de impulsores.- Maquinada en fierro fundido y adecuadamente reforzada para prevenir distorsiones en el material.

Baleros antifricción.- Equipos con baleros de bolas. Deberán traer incorporado un control de empuje para posicionar los impulsores adecuadamente entre los cabezales.

Lubricación de engranes y baleros del lado de engranes. Serán lubricados mecánicamente dentro de una careza de lubricación sellada apropiadamente. Los baleros de lado de transmisiones engrasarán a través de graseras especiales para tal fin. Sellos tipo labio, se usarán para prevenir la entrada de aceite y grasa a la cámara de impulsores.

Flecha de transmisión.- La flecha de transmisión deberá tener un largo adecuado para transmisión directa o por bandas.

Guarda banda incluida

Acoplamiento para motor. Mediante poleas y banda

Filtro. Tipo cartucho

Silenciador. Convencional, tipo "I"

HOJA DE DATOS

PROYECTO: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

1 SOPLADORES:

1.1	Tipo	Desplazamiento positivo.
1.2	Número de unidades.	4
1.3	Fluido a manejar.	Aire a temperatura ambiente.
1.4	Capacidad.	3313 ft ³ /min.
1.5	Presión.	8 PSIG.
1.6	Velocidad.	3550 r.p.m.
1.7	Eficiencia mínima solicitada.	72.9 %
1.8	Potencia en el eje del soplador.	134.3 H.P.
1.9	Diámetro de succión.	254 mm. (10")
1.10	Diámetro de descarga.	203.2 mm (8")
1.11	Marca	LAMSON.
1.12	Modelo.	878-AD
1.13	Silenciador:	
1.13.1	Tipo.	Convencional "I"
1.13.2	No. de unidades.	4
1.13.3	Instalación.	Tubería de Ac.C.
1.13.4	Diámetro de tubería.	355.6 mm (14") \varnothing
1.13.5	Costo a manejar.	3313 ft ³ min.
1.13.6	N.º de ruido	75 D.B. \pm 3.

2. MOTOR ELÉCTRICO:

DIMENSIONES.

Las dimensiones del motor eléctrico estarán de acuerdo con las normas N.E.M.A.

ARMAZÓN.

El armazón deberá construirse de un anillo de acero laminado, tapa posterior y base de hierro fundido. La tapa posterior deberá llevar una caja sellada para los baleros de empuje axial. La base estará provista de agujeros de montaje para adaptarse sobre la base del soplador y será integral a la carcasa. Todos los componentes del armazón deberán estar cuidadosamente maquinados, para permitir el alineamiento perfecto de la flecha, uniformidad del entrehierro y un funcionamiento silencioso (dentro de norma y exento de vibraciones).

CAJA DE CONEXIONES.

La caja de conexiones deberá construirse en una forma tal que pueda girarse para admitir la alimentación de corriente en cualquier dirección.

ROTOR.

El diseño del rotor deberá ser tal que en construcción sea sólido. Los anillos y las barras de corto circuito deberán ser de cobre o aluminio, unidas rígidamente.

FALLA DE ORIGEN

BL

FALLA DE ORIGEN

FLECHA.	De acero al carbón, sólida del diámetro y espesor necesario para transmitir la potencia del motor a la velocidad de trabajo y soportar sin sufrir deformaciones el empuje axial producido por el soplador durante su funcionamiento. Dicha flecha deberá prolongarse hacia la base del motor.
CHUMACERAS.	El motor deberá proporcionarse con rodamiento de bolas. Prelubricadas proyectadas para absorber las cargas axiales que producen el empuje de la flecha, el lóbulo y el empuje radial de ésta última. Los baleros deberán dar un servicio continuo de 5 años como mínimo.
VENTILACIÓN.	La ventilación dirigida deberá aspirar el aire por la parte exterior e impulsarlas por las aberturas de la parte posterior del motor. El ventilador deberá ir acoplado a la flecha.
DISPOSITIVO DE SEGURIDAD.	El dispositivo de seguridad prescindirá del trinquete de no-retroceso. Para impedir la rotación del motor en sentido opuesto al normal.
NOTAS	El motor deberá ser suministrado con protección de pintura anticorrosiva.

Deberá colocarse sobre el armazón del motor; una placa de características. Modelo, voltaje, amperaje, velocidad, potencia, número de fases y frecuencia.

HOJA DE DATOS

PROYECTO: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

I TANQUE DE DIGESTIÓN

1.1	Número de piezas.	2692
1.2	Equipo.	Difusor poroso.
1.3	Burbuja.	Gruesa.
1.4	Tipo	Piedra porosa.
1.5	Forma	Circular.
1.6	Diámetro.	196.85 m (7 ³ / ₄ " \varnothing)
1.7	Altura.	50.8 mm (2")
1.8	Diámetro de la rosca.	19.05 mm (3/4" \varnothing)
1.9	Gastos: Capacidad del disco	2 a 5 C.F.M., 93.40 a 8.6 (m ³ /hr)
1.10	Columna de agua.	3.0 m.
1.11	Pérdida de carga por difusor.	0.38 m.
1.12	Marca.	FERRO/ELÉCTRICO o similar.
1.13	Modelo.	F-203.

FALLA DE ORIGEN

Digestor Aeróbico

CALCULO DEL REQUERIMIENTO DE OXIGENO

Se ha diseñado un digestor aeróbico para estabilizar los lodos provenientes del proceso de tratamiento de las aguas residuales, porque presenta las siguientes ventajas: facilita la operación, bajo capital de inversión comparada con la digestión anaerobia, reduce el porcentaje de organismos patógenos y no produce olores ofensivos.

DIMENSIONAMIENTO.

La práctica corriente en el diseño de digestores aeróbicos es retener de 15 a 20 días el influente cuando de mezcla de los lodos activados con lodos del sedimentador primario.

Para el dimensionamiento se ha tomado en cuenta las siguientes bases de diseño:

Arosucción total de lodos	= 16,692.5 kg /día.
Concentración 5.25%	= 52.5 kg /m ³ .
Gasio.	= 317.95 m ³ /día
Sólidos suspendidos totales.	= 52,500 mg/l.
Constante de degradación (k)	= 0.079 días ⁻¹ (a 18° C)
Temperatura máxima en verano	= 18°C.
Temperatura mínima en invierno	= 12°C.
Coefficiencia de corrección (0=1.05)	
Remoción de SSV.	= 50% (en invierno).
Fracción volátil.	= 72.16%
Sólidos suspendidos volátiles del effluente.	= 37,884 mg/l

Luego tenemos:

$$K_1 = k \cdot (t - 20)^\circ$$

$$k_{20} = 0.079 / 1.05^{18-20} = 0.087 \text{ día}^{-1}$$

Para condiciones de invierno.

$$K_1 = 0.87 (1.05)^{12 - 20} = 0.059 \text{ días}^{-1}$$

Para condiciones de verano.

$$k_v = 0.87 (1.05)^{18 - 20} = 0.079 \text{ días}^{-1}$$

Tiempo de retención.

Calculamos el tiempo de retención con la fórmula siguiente:

$$TR = \frac{SS_1 E - SS_2}{SSV}$$

Reemplazando valores tenemos:

$$= \frac{27.884 \text{ mg/l} - 18.942 \text{ mg/l}}{0.059 \text{ días}^{-1} \cdot 18.942 \text{ mg/l}} = 16.95 \text{ días}$$

Obtenemos .

$$TR = 20 \text{ días.}$$

Oxigenación

La cantidad de oxígeno requerida en el digestor se obtiene de la relación siguiente:

$$\text{COR} = \text{Gasto M}^3/\text{h} \times \text{SSTV mg/l.}$$

$$\text{COR} = 317.95 \text{ M}^3/\text{h} \times 37.884 \text{ mg/l} \times 10^{-6} \text{ kg/mg} \times 103 \text{ m}^3 \times \frac{\text{día}}{24 \text{ h}}$$

$$\text{COR} = 501.86 \text{ kg O}_2/\text{hr.}$$

Cálculo de Volumen de Aire

Consideraciones

$$\text{NECESIDAD DE OXIGENO.} = 501.88 \text{ kg/hr.} = 12.045 \text{ kg/día}$$

PESO ESPECIFICO DEL AIRE

$$\text{APRESIÓN Y TEMPERATURA NORMAL} = 0.0012 \text{ kg/dm}^3$$

$$\text{CONTENIDO DE OXIGENO POR PESO} = 23.2 \%$$

Ecuación a usar:

$$\text{VA} = \frac{12.045.12 \text{ kg/día}}{(0.0012) \text{ kg/dm}^3 (9.232) (10^6) \text{ dm}^3/\text{m}^3} = 43.265.52 \text{ M}^3/\text{día}$$

Suponiendo que la eficiencia de la transferencia de oxígeno es 80% la necesidad de aire es:

$$\frac{43.265.52 \text{ M}^3/\text{día}}{0.08} = 540.819 \text{ m}^3/\text{día}$$

Haciendo conversiones:

$$540.819 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{1440 \text{ min}} \times \frac{34.287 \text{ ft}^3}{1 \text{ m}^3} = 13.257.7 \text{ ft}^3/\text{min.}$$

Debido a que existen cuatro digestores, el gasto por unidad será de:

$$\frac{13.252.2}{4} = 3.313.175 \text{ ft}^3/\text{min.}$$

$$V_a = 3.313.175 \text{ ft}^3/\text{min.}$$

Sistema de Difusión:

Uno de los métodos básicos para aerar en agua es introducir aire por medio de difusores porosos sumergidos o boquillas.

El sistema está formado por difusores sumergidos en el lodo y pueden ser circulares o tubulares; brazos de distribución; conducción de aire; sopladores y accesorios a través de los que pasa el aire.

Para el caso nuestro se eligen boquillas circulares. Cuyo gasto es:

Datos:

Gasto total = 3313.175 ft³/min.

No. de boquillas, (para un digestor): 1346 pzas.

Gasto por disco 2.46 ft³/min.

De manual de Pollution Control Inc., se obtienen los datos siguientes:

Difusor:

Tipo:	Cerámica
Forma:	Circular
Diámetro:	196.85 mm. (7 3/4") \varnothing
Altura:	50.80 mm. (2")
Modelo:	F-203.
Gasto:	2-5 ft ³ /min.

Revisión de Tuberías

Datos:

$$Q_1 = 3313.175 \text{ ft}^3/\text{min.} = 93.89 \text{ m}^3/\text{min.}$$

Consideraciones:

Diámetro de tubo, (cm.)	Velocidad del aire (m/min.)
2-8	360-500
8-25	500-900
25-40	900-1050
40-60	1050-1200
60-80	1200-1360
80-150	1350-1900

Revisión de Diámetros de Tubería:

DESCARGA DEL SOPLADOR :

DONDE:

$$V = 1000 \text{ m./min.}$$

ECUACIÓN

$$Q = U.A. \therefore A = Q = \frac{93.89^3 \text{ m}^3/\text{min.}}{1000 \text{ m/min}} = 0.094 \text{ m}^2$$

A partir de la ecuación del círculo, se obtiene el diámetro del conducto:

SEA:

$$A = 3.1415926 \times D^2 / 4$$

DE DONDE:

$$D = (4 \times A / 3.1415926)^{0.5}$$

$$D = 13.62''$$

EL DIÁMETRO COMERCIAL A USAR SERÁ:

$$D = 355.6 \text{ mm. (14")}$$

La mecánica de cálculo para los demás tubos es la misma por tanto: el resultado de la revisión se concentra en la tabla siguiente:

No. DE TUBO	UBICACIÓN	DIÁMETRO (PULGADAS)	GASTOS M ³ /MIN.	VELOCIDAD M/SEG.
1	Descarga del Soplador	14	93.89	943.4
2	29 Alimentación	12	70.42	965.7
3	39 Alimentación	10	46.95	956.02
4	Último Ramal	8	23.47	723.73

EQUIPO E INSTALACIONES MECÁNICAS

SELECCIÓN DE SOPLADORES

CONSIDERACIONES

El suministro de aire a cada dos digestores será: La etapa: un equipo por digestor, Sin reserva 2a. Etapa 2+1, dos en operación más uno en reserva.

DESARROLLO:

DATOS:

$Q_a = 3313.175 \text{ ft}^3/\text{min.}$

PRESIÓN = 8 PSI.

ALTITUD = 2240 m.s.n.m.

Del manual de selección de sopladores marca Lamson Corporation Since 1880:

SOPLADOR:

MODELO	878-AD
MARCA	LAMSON.
VOLUMEN DE AIRE A MANEJAR	3313ft ³ /min
PRESIÓN A LA DESCARGA	8 PSI.
ALTITUD	2240 m.n.s.m.
TEMPERATURA EQUIVALENTE DEL AIRE	10.4 PSIG.
TEMPERATURA	68° F.
PRESIÓN DE HOLGURA A SURGE	1.92 PSIG.
PORCENTAJE DE ESTRANGULACIÓN DE VOLUMEN	35.3%
POTENCIA NOMINAL	134.3 H.P.
EFICIENCIA	72.9%
POTENCIA COMERCIAL DE MOTOR	130 H.P.

Anexo a este documentos e encuentran las especificaciones del equipo antes mencionado.

B) MOTORREDUCTORES

Un motorreductor es una máquina que nos sirve para reducir la velocidad de rotación de un motor, cuando se requiere de dicha velocidad para abatir las necesidades de un sin número de equipos electromecánicos.

Los motorreductores constan de dos partes fundamentales como lo son:

El reductor de velocidad y el motor eléctrico; los cuáles son acoplados entre sí. el principio fundamental de operación de los motorreductores es el de la relación de velocidad que no es más que la relación que existe entre la velocidad a la entrada del reductor que es la proveniente directamente del motor, con la velocidad a la salida del reductor; esto es que para una relación de velocidad de 1:15, quiere decir que a cada vuelta que dé el reductor a la salida, el motor dará una vuelta y media.

1. Vuelta del reductor en la salida.
- 1.5 El motor eléctrico dará una vuelta y media.

A continuación se muestran una serie de recomendaciones para la instalación correcta de un motorreductor.

- Primeramente se debe tener en cuenta que el motorreductor que se va a instalar sea el indicado; esto es que, realmente satisfaga las necesidades de trabajo del equipo en el cual se va a instalar.
- Que el motorreductor opere únicamente a la potencia, velocidad y relación de reducción que se indican en la placa de datos.
- Verificarlos rodamientos lubricados con grasa, ya que tenemos todo lo anterior debidamente verificado, procedemos a realizar el montaje del motorreductor.
- El motorreductor se debe montar con la base horizontal, a menos que haya sido especialmente ordenado para un montaje en otra posición.

Cimentación.

Otro aspecto importante es de la cimentación, que para facilitar el drenaje del aceite, hay que elevar los cimientos del motorreductor arriba del nivel del piso. Se sugiere cambiar el tapón drenado por una válvula, siempre y cuando se use una chumacera, se debe montar el reductor y la chumacera en la misma cimentación o sobre la base plana totalmente anclados en su lugar.

Cuando se monte el reductor sobre una estructura de aceros asegúrese de usar una placa como base, se debe tomar en cuenta que el espesor de la base debe ser igual o mayor que es espesor de las patas del reductor, colocándose en la parte de abajo del reductor, atornillándose el reductor y la placa de la base firmemente a la estructura de acero.

En caso de utilizar cimientos de concreto, se deja que el concreto fragüe y seque completamente antes de fijar la unidad, ahogar dentro del concreto los apoyos a las anclas sobre los que descansará el reductor.

Nivelación

Se debe nivelar el reductor con el equipo accionado empleando lanas debajo de las patas del mismo, para esto hay que empezar por el extremo de baja velocidad para nivelar a lo largo y después a lo ancho del reductor, tomando como referencia las superficies maquinadas del mismo. cuando el reductor para la temperatura de operación, se debe cambiar la viscosidad del aceite para que ésta sea aprobada a cada época del año. Es decir para el tiempo de frío, lo conveniente es usar un aceite ligero

para que circule libremente. Mientras que para el tiempo de calor se recomienda el aceite de alta viscosidad que no se adelgace y pierdan sus cualidades.

Si un reductor está expuesto a la temperatura ambiente mayores de 38° C., se deben tomar medidas para proteger el motor de la energía solar, esto puede ser de un toldo por encima del reductor, aplicando pintura reflejante o un intercambiador de calor u otro dispositivo de enfriamiento para evitar que la temperatura del aceite al cortar no exceda los 93° C., antes de llenar el reductor, se quita la tapa para llenar las canaletas de aceite para que los rodamientos se encuentren lubricados cuando arranque la unidad.

Después de que el reductor opere por unos minutos debe parar y revisar los niveles de aceite para compresor, la capacidad del paquete de enfriamiento, filtro, etc., posteriormente se da aceite al reductor al nivel de la flecha que se encuentra a un lado del mismo, en la columna de nivel o en la bayoneta.

Cuando el nivel de aceite se controle en un tubo separado de la unidad, arme la columna del nivel y que la flecha esté claramente para futuras revisiones.

Antes de operar el reductor si las condiciones lo permiten, gire la flecha de la entrada con la mano para detectar cualquier obstrucción. Ahora bien, en los reductores verticales se llena la taza de aceite a un nivel ligeramente abajo de la muestra de la misma para lubricar el más bajo de los dos sellos de la flecha de baja velocidad.

El aceite en el compartimiento de la caja de sello es independiente del aceite de la caja del reductor. Es un depósito de lubricante para el sello más bajo de una trampa para proteger a los sellos de polvo o suciedad.

Capacidades de Aceite

Las capacidades de aceite para reductores grandes varían con el tamaño así como con la relación de reducción de velocidad de entrada. Antes de operar cualquier reductor llénela de aceite al nivel indicado.

Mantenimiento Preventivo

Después de la primera semana de servicio, se tiene que verificar el alineamiento del sistema total.

Se aprietan todos los pernos y tapones extensos si es necesario. No ajustar engranes o rodamientos ya que estos se ajustaron permanentemente en la fábrica. Después de un mes de servicio, se deben seguir los siguientes pasos:

- 1.- Se hace funcionar la unidad hasta que el aceite alcance la temperatura normal de operación, separe la unidad y se drena el aceite de inmediato.
- 2.- Se limpia el reductor con aceite del mismo tipo y con grado viscoso (aprox. 38° C. en frío); rápidamente se bombea una carga igual al 25% de la inicial se llena hasta que el aceite fluya a través del dren.
- 3.- Se tapa el agujero del dren y rellena la unidad hasta el nivel indicado con aceite nuevo y del mismo tipo.

Periódicamente se debe de revisar cuidadosamente el nivel del aceite de la unidad cuando está en reposo y se añade aceite si es necesario. Si el nivel del aceite

es más alto y rebasa la marca superior de la bayoneta se analiza el aceite para ver si no tiene agua, no se rebase la línea indicada, también se debe verificar el alineamiento del cople para tener la seguridad del alineamiento del cople para tener la seguridad que la cimentación no ha causado un desalineamiento excesivo; periódicamente se debe limpiar la materia extraña en el ventilador si es que la tiene.

Cambios de Aceite

Se debe cambiar el aceite en condiciones normales de operación, cada 6 meses o cada 2500 H.S. de operación. Los lubricantes compuestos o si la unidad trabaja en áreas polvosas o con alta temperatura, pueden requerir cambios de aceite más frecuentes.

Sellos Purgados con Grasa

Periódicamente dependiendo de la frecuencia y grado de contaminación, se debe purgar la grasa contaminada de los sellos tandem. Bombeando grasa para rodamientos a través del sello por el tapón de la parte inferior (antes de purgar se quita el tapón).

Rodamientos

Algunos reductores tiene uno o más rodamientos lubricados por grasa, cuando cambia el aceite del reductor se debe engrasar los rodamientos con grasa NLGI No. 2.

Coples

Se lubrica el cople steelflex por lo menos una vez al año y el cople de engranes

rigiblex dos veces al año.

Alineamientos de Coples

Para el alineamiento total de los coples, se deben llevar a cabo por una parte, la alineación paralela y por otra la alineación angular y separación. Para la alineación angular y separación, se tiene que posicionar las flechas a unir de tal manera que la distancia entre los extremos de las mismas sea igual a la del claro normal del cople. Se deben alinear las flechas colocando un espaciador igual en espesor que el claro normal del cople alinee las flechas, colocando espaciador igual en espesor que el claro requerido, entre las caras de las mazas. Como se muestra en la figura, tome lecturas a intervalos a 90° para después medir el desalineamiento con un calibrador de hojas.

Ahora bien, para la alineación paralela se alinean las flechas de las unidades motrices y accionadas de tal manera que el canto de una regla o escuadra descansa sobre ambas mazas, como se ilustra. Se debe verificar en posiciones a 90° de intervalo. Se deben apretar los tornillos de la base y verifique nuevamente la alineación y separación de las flechas.

Esté fijado en su lugar después de que ha sido alineada con el equipo accionado y fijado en su lugar, alinee la máquina transmisora del movimiento con la flecha de entrada de ésta, por medio de coples.

Después, es importante revisar la alineación del cople de alta velocidad del reductor. Si está mal alineada, quiere decir que la base plana está incorrectamente, por lo tanto se debe corregir la posición de la base plana, si es necesario hay que realinear

el motor.

Conexión de las Flechas

Conexión del cople.- El buen funcionamiento y la vida de cualquier cople depende grandemente y sobre todo de la manera en que fue instalado y engrasado el método correcto de instalar los coples, es calentando las mazas de los coples, piñones, catarinas o poleas a una temperatura máxima de 135°C . (275°F), para después deslizarlos sobre la flecha.

Lo que nunca se debe hacer es forzar las mazas de los coples, piñones, catarinas o poleas en la flecha. Un golpe en el extremo de la flecha puede dañar a los engranes y a los rodamientos del reductor.

En los reductores existe un freno llamado de contravuelta, el cual se encarga de frenar el movimiento en sentido contrario al sentido para el cual fue diseñado el reductor.

Para evitar daños al freno de contravuelta, debido a la rotación incorrecta de la flecha del motor en el arranque, es recomendable no ensamblar coples cuando el reductor contenga este tipo de freno, si no hasta después de completar las conexiones eléctricas y verificar la rotación de las flechas del motor y el reductor. Ya que tiene todo esto, complete el ensamble y alineamiento del cople.

Para el montaje del piñón, éste se debe montar cerca del reductor como sea posible para evitar cargas indebidas sobre el rodamiento y deflexiones de la flecha.

Para la chumacera exterior se monta la chumacera y el reductor en una base común de tal manera que si hay un cambio en la base, la chumacera y el reductor continúen alineados.

Se debe colocar la chumacera en posición horizontal, calzándola con lanas entre la base y la chumacera; alineando correctamente para que la carga sea dividida entre los dos rodamientos del reductor y la chumacera exterior.

Conexión de Poleas y Catarinas

Se debe la toma de la fuerza lo más próximo posible a la caja del reductor, para evitar cargas indebidas sobre el rodamiento y deflexiones, la flecha se debe alinear la flecha de salida del reductor con la flecha accionada, colocando una regla o escuadra entre las caras de las poleas o catarinas, como se ilustra.

Es recomendable verificar la nivelación del reductor, colocando una escuadra sobre la cara del cople, catarina, piñón o polea, verificando con el nivel, como se ilustra.

Lubricación

Para la lubricación del reductor, es importante leer y llevar a cabo todas las instrucciones de lubricaciones contempladas en la placa de datos además de tomar en cuenta las etiquetas de aviso. Se debe determinar la temperatura mínima y máxima ambiente, en dónde opera la unidad y ver los números sae y lama para esas temperaturas en la placa de lubricación del reductor. Para la selección de el lubricante adecuado con el número sae o agma de la viscosidad apropiada.

3.4 CÁLCULO DE SELECCIÓN DEL EQUIPO PARA EL SISTEMA DE FUERZA, CONTROL Y ALUMBRADO.

A) CARGA DE ALUMBRADO EXTERIOR.

20 Luminarios de VSAP de 400 watts c/u, con reactor cuyo consumo se estimará en 50 watts y un f. p. de 0.85.

$$\text{Carga Alumbrado} = 20 \times 450 = 9,000 \text{ watts.}$$

B) CARGA DE ALUMBRADO INTERIOR.

Se estimarán 3 circuitos de 2,500 watts c/u fluorescente con:

$$\text{Carga total} = 3 \times 2,000 = 7,500 \text{ watts f.p.} = 0.8$$

C) CÁLCULO DEL TRANSFORMADOR PRINCIPAL.

Voltaje Nominal en el secundario de 220 volts., 3 Ø

$$\text{HP Totales en operación (futuro)} = 163.5$$

Se considerará una eficiencia promedio para los motores que van de 1/2 HP a 30 HP de $= 0.75$

y un factor de potencia promedio de f.p. $= 0.8$

CÁLCULO DE CORRIENTES:

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ watts}$$

$$\text{IL Motores} = \frac{746 \times 163.5}{3 \times 220 \times 0.75 \times 0.8} = \frac{121,971}{228.63} = 533.48 \text{ Amp}$$

$$I_L \text{ Alum Ext} = \frac{9,000}{3 \times 220 \times .85} = \frac{9,000}{323.51} = 27.81 \text{ Amp}$$

$$I_L \text{ Alum Int} = \frac{7,500}{3 \times 220 \times .8} = \frac{7,500}{304.84} = 24.60 \text{ Amp}$$

$$I_{LVA} \text{ Totales} = 220 \times 3 (533.48 + 27.81 + 24.60) = 22.98 \text{ KVA}$$

Seleccionamos un TRANSFORMADOR DE 225 KVA Delta-Estrella 23,000-220/127 Volts.

$$I_L \text{ sec} = \frac{225,000}{V \sqrt{3} \times 230} = \frac{225}{39.79} = 5.65 \text{ Amp.}$$

$$I_L \text{ sec} = \frac{225,000}{V \sqrt{3} \times 220} = \frac{22,500}{380.6} = 591.17 \text{ Amp.}$$

Para esta corriente seleccionamos:

Cable de cobre calibre No. 350 MCM con aislamiento THW (90° C), con capacidad para 310 amperes en tubo conduit de 1 a 3 cables y temperatura ambiente menor de 30° C.

Por lo tanto:

Deben instalarse 2 conductores por fase calibre No. 350 MCM con aislamiento THW (90° C.) con capacidad para $2 \times 310 = 620 \text{ Amp.}$ por fase en tubería conduit galvanizada de 64 mm. de \varnothing con dos cables por ducto.

CALCULO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN DEL TRANSFORMADOR AL
TABLERO.

$$\% \rho = \frac{2 \sqrt{3} L I_L}{V_L \times S}$$

Donde:

$\% \rho$ = Porcentaje de caída de tensión

L = Longitud en m.

I_L = Corriente de línea

V_L = Voltaje entre fases

S = Sección transversal en mm².

La sección transversal del cable de 350 MCM es 177.35 mm².

Longitud del transformador al tablero = 20 m.

$$I_L = 591.17 \text{ A} \quad V_L = 220 \text{ V.}$$

$$\% T-T = \frac{2 \times 3 \times 20 \times 591.17}{2020 \times 177.35} = \frac{40908.96}{39017} = 1.04$$

Como $\% \rho = 1.04\% < 4\%$ que es el máximo permitido
el conductor seleccionado ES CORRECTO.

CALCULO DE LOS CONDUCTORES A CADA MOTOR.

Sedimentadores primarios y secundarios.

Motor de 1.2 HP el más lejano está a = 160 m.

$$I_L = \frac{HP \times 746}{V_L \times \eta \times f.p.}$$

donde:

$$\eta = 0.70$$

$$f.p. = 0.75$$

$$I_L = \frac{0.5 \times 756}{\sqrt{3} \times 200 \times .7 \times .75} = \frac{373}{109.81} = 1.86 \text{ Amp.}$$

Seleccionamos:

Cable de cobre calibre No. 12 AWG aislamiento vinamel-900 con capacidad para 30 Amp. en tubería conduit galvanizada de 13 mm. de Ø (1/2" de Ø).

Verificación por caída de voltaje:

$$\% \rho = \frac{2 \sqrt{3} L I_L}{V_L \times S} \quad \text{Cable No. 12 sección} = 3.31 \text{ mm}^2$$

$$\text{Longitud} = 160 \text{ m.}$$

$$\% \rho_{MS} = \frac{2 \sqrt{3} \times 160 \times 1.86}{220 \times 231} = 102.96 = 1.41$$

$$\% \rho_{TOTAL} = \% \rho_{T-T} + \% \rho_{MS} = 1.04 + 1.41 = 2.45$$

Como $TOTAL = 2.45 \% < 4\%$ el conductor No. 12 es correcto

INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO DE 3 POLOS ISA: NOMINALES.

AEREADORES:

Motor 5 HP. El más lejano en la instalación inmediata está

$$a = 100 \text{ m.}$$

Consideramos una $\eta = 0.8$ y un $f.p. = 0.85$

$$I_L = \frac{5 \times 746}{\sqrt{3} \times 220 \times .8 \times .85} = \frac{3,730}{259.11} = 14.39 \text{ Amp.}$$

Seleccionamos cable de cobre No. 10 AWG AISLAMIENTO VENAMEL -900 con capacidad para 40 amp. Sección = 5.26 mm².

Verificación por caída de voltaje:

$$\% = \frac{2 \times \sqrt{3} \times 100 \times 14.39}{220 \times 5.26} = \frac{497.89}{115.72} = 4.30\%$$

Como $M = 4.3\% > 4\%$ máximo permitido, se requiere conductor de mayor calibre.

Conductor tipo cable de cobre No. 8 AWG aislamiento vinamel 900 con capacidad para 50 Amp. Sección de 8.36 mm², en tubería conduit galvanizada de 19 mm. de \varnothing (3/4" de \varnothing).

Verificación por caída de voltaje.

$$\% \rho \text{ MA} = \frac{2 \times \sqrt{3} \times 100 \times 14.39}{220 \times 8.367} = \frac{4978.94}{1839.20} = 2.7$$

$$\text{TOTAL} = \% \text{ T-T} + \% \rho \text{ MA} = 1.04 + 2.7 = 3.74$$

Como:

TOTAL = 3.74 % < 4% el conductor No. 8 es correcto.

INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO DE 3 POLOS 30 AMP. NOMINALES.

RECIRCULACIÓN.

Motor 3 HP. El más lejano en la instalación inmediata está a 80 m.

Considerando una $\cos \phi = 0.8$ y un $f.p. = 85$

$$I_L = \frac{3 \times 746}{\sqrt{3} \times 200 \times 0.8 \times 0.85} = \frac{2,238}{259.11} = 8.6 \text{ Amp.}$$

Seleccionamos cable de cobre calibre No. 10 AWG aislamiento VINAMEL-900 con capacidad para 40 Amp. Sección = 5.26 mm² En tubería conduit galvanizada de 13 mm de diámetro de 21 de 21.

Verificación por caída de voltaje:

$$\%p_{NR} = \frac{2 \times \sqrt{3} \times 80 \times 8.6}{220 \times 5.26} = \frac{238.33}{115.73} = 2.05 \%$$

$$\text{TOTAL} = \%p_{T-T} + \%p_{MA} = 1.04 + 2.05 = 3.09$$

Como:

TOTAL = 3.09 % < 4 % el conductor No. 10 es correcto.

INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO DE 3 POLOS, 20 AMPERS,
NOMINALES.

RIEGO.

Motor de 30 HP. distancia = 45 m.

Considerando una $\eta = 0.9$ y un f.p. = 0.85

$$IL = \frac{30 \times 746}{\sqrt{3} \times 200 \times .9 \times .85} = \frac{2.238}{29.11} = 76.77 \text{ Amp.}$$

Seleccionando cable de cobre calibre No. 2 AWG aislamiento VINAMEL- 900 con capacidad para 120 Amp. Sección 33.62 mm². En tubería Conduit galvanizada de 32 mm \varnothing (1 1/1" de \varnothing)

$$\%p \text{ MRJ} = \frac{2 \times \sqrt{3} \times 45 \times 76.77}{220 \times 5.26} = \frac{11.971.93}{115.73} = 1.61 \%$$

$$\text{TOTAL} = \%p \text{ T-T} + \%p \text{ MRJ} = 1.04 + 1.61 = 2.65 \%$$

Como:

$$\text{TOTAL} = 2.65\% < 4\% \quad \text{el conductor No. 2 es correcto.}$$

INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO 3 POLOS, 125 AMPERS.
NOMINALES.

CLORACIÓN.

Motor 1 1/1 HP Se encuentra en el edificio donde está el tablero.

Considerando una $\eta = 0.8$ Y UN F.P. = 0.8

$$I_L = \frac{1.5 \times 746}{\sqrt{3} \times 200 \times .8 \times .8} = \frac{1,119}{213.58} = 4.59 \text{ Amp.}$$

Seleccionamos cable de cobre Calibre No. 12 AWG aislamiento VINAMEL - 900 con capacidad para 30 Amp. en tubería Conduit galvanizada de 13 mm de \varnothing (1/2" de \varnothing).

NO REQUIERE VERIFICAR POR CAÍDA DE TENSIÓN.

INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO, 3 POLOS, 15 AMPERS. NOMINALES.

SELECCION DEL INTERRUPTOR PRINCIPAL.

$$I_{NOM} = I_{MAYOR\ MOTOR} \times 1.25 + \sum I_{MOT} + I_{ALUMBRADO}$$

$$I_{NOM} = 76.8 \times 1.25 + (76.8 \times 2) + (14.4 \times 12) + 8.6 \times 3 + 4.6 + (1.85 \times 6) + 27.81 + 24.60$$

$$I_{NOM} = 96 + 153.6 + 172.8 + 25.8 + 4.6 + 11.1 + 52.41$$

$$I_{NOM} = 463.9 + 52.41 = 516.31 \text{ Amp.}$$

Seleccionamos:

INTERRUPTOR PRINCIPAL DEL TIPO TERMOMAGNÉTICO DE 3 POLOS, 600 AMPERES NOMINALES, 600 VOLTS EN C.C. DE ALTA CAPACIDAD

RESUMEN DE CARGAS

DESCRIPCION	INMEDIATOS	OPERANDO	FUTURAS	OPERANDO	HP TOTALES
SEDIMENTADOR PRIMARIO.	2 1/2 HP	2 1/2 HP	1 1/2 HP	1 1/2 HP	1 1/2
SEDIMENTADOR SECUNDARIO	1 1/2 HP	2 1/2 HP	1 1/2 HP	1 1/2 HP	1 12
AEREADORES	8-5 HP	8-5 HP	4-5 HP	4-5 HP	60
RECIRCULACION	3-3 HP	2-3 HP	2-3 HP	1-3 HP	15
CLORACION	2- 1 1/2 HP	1-1 1/2 HP	-----	-----	3
RIEGO	3-30 HP	2-30 HP	1-30 HP	1-30 HP	120
HP TOTALES		HP EN OPERACION ACTUAL		HP EN OPERACION FUTURO	
1.5		1.0		1.5	
1.5		1.0		1.5	
60.0		40.0		60.0	
15.0		6.0		9.0	
3.0		1.5		1.5	
120.0		60.0		90.0	
<hr/>		<hr/>		<hr/>	
201.0 HP		109.5 HP		163.5 HP	

INTERRUPTIVA 50,000 AMPERES EN 220 VOLTS. C.A.

Los fusibles para el primario del transformador deben ser para 10 amperes nominales 23 KV del tipo SMA-20 DE S e C Electric Company o similar.

D) PROTECCIONES A EQUIPO ELÉCTRICO Y COMPONENTES PARA ALUMBRADO.

Especificaciones para el Tablero de Distribución, Fuerza y Control de motores.

a) Generalidades.

Tablero de control y distribución para baja tensión con estructura rígida de perfiles de acero laminado que le permitan autosoportarse a instalarse directamente sobre el piso, consistente de secciones verticales con acceso a su interior por cualquier parte que se requiera para lo cual las cubiertas de lámina de los costados y de la parte superior de las mismas, deben ser atornilladas con el fin de que le den las características de desmontabilidad. Debe construirse con lámina inoxidable NEMA-1 del No. 10 (3.14 mm. de espesor), rolada en frío, sometida a un tratamiento de bonderizado, posteriormente se aplicará una capa de pintura anticorrosiva y su acabado interior y exterior será de esmalte semimate de color gris perla.

b) Condiciones de Servicio.

b1) Servicio Interior.

- b2) Temperatura ambiente máxima: 40°C.
- b3) Medio aislante y refrigerante: Aire.
- b4) Altitud: 2,300 m.s.n.m.
- b5) Voltaje de operación: 220 volts.
- b6) Frecuencia : 60 c.p.s.
- b7) Corto circuito trifásico simétrico en las barras de 220 volts: 50,000 amperes a 220 volts.
- b8) Todos los equipos que contenga éste tablero deben operar con corriente alterna, 3 fases, 4 hilos, 220 volts., 60 c.p.s.
- b9) Las barras deben tener una capacidad continua para 100 amperes.
NOTA: Se empleará para el control y protección de 4 motores de inducción con capacidades de 3 HP hasta 7 1/1 HP.
- c) Equipo.
 - c1) Interruptor principal en aire tipo termomagnético, 3 polos, 600 volts., 100 amperes nominales, con capacidad mínima interruptiva de 5,000 amperes simétricos en 220 volts corriente alterna con elementos de protección contra sobrecorriente y corto circuito, alojados en cajas moldeadas de baquelita con manija propia de operación al frente.
 - c2) Tres combinaciones de arrancador magnético a pleno voltaje tamaño NEMA - 1

- similar al Square D, clase 8539 tipo CG-5 con capacidad para motor trifásico de 7 1/2 HP con interruptores termomagnéticos, 3 polos, 600 volts, 50 amperes nominales.
- c3) Una combinación de arrancador magnético a pleno voltaje tamaño NEMA-0 similar a Square D clase BG-3 con capacidad para motor trifásico de 3 HP con interruptor termomagnético, 3 polos, 600 volts, 20 amperes nominales.
 - c4) Interruptor en aire tipo termomagnético, 3 polos, 600 volts, 15 amperes nominales con capacidad mínima interruptiva de 18,000 amperes simétricos en 220 volts corriente alterna con elementos de protección contra sobrecorriente y corto circuito, alojados en cajas moldeadas de baquelita con manija propia de operación al frente.
 - c5) Un amperímetro indicador con bobina de 5 amperes nominales para corriente alterna a 60 c.p.s., error máximo permisible 2 con relación a la deflexión máxima. Escala 0-100 amperes, cero a la izquierda con leyenda "Amperes C.A." con switch conmutador de 3 posiciones para lecturas en las 3 fases.
 - c6) Un voltímetro indicador con bobina de 300 volts, al máximo de escala para corriente alterna a 60 c.p.s. error máximo permisible 2 con relación a la deflexión máxima éste voltímetro deberá medir voltaje entre fases de las barras de 220 volts, con switch conmutador para lecturas en las 3 fases, la carátula llevará la siguiente leyenda "Volts C.A." F, 1-2, 2-3, 3-1 que corresponde a las posiciones para la lectura entre fases.
 - c7) Todos los equipos deberán instalarse en compartimientos independientes del tipo

de enchufar con puerta embisagrada, además todas las combinaciones de arrancador magnético e interruptor termomagnético, deberán de llevar:

- e7.1) Juego de elementos térmicos del tipo de aleación fusible; 3 juegos para motor de 7 1/2 HP y 1 juego para motor de 3 HP.
- e7.2) Estación de botones para arranque-paro y luces indicadoras con focos de neón en color rojo cuando el motor trabaje normalmente y en color verde, cuando se encuentre desenergizado.
- d) Alambrado.
- d1) El alambrado del tablero de control debe ser con características NEMA-C, proporcionando un compartimiento en la parte inferior de cada sección con todas las tablillas terminales debidamente alambradas para cada unidad.

E) PLANTA DE TRATAMIENTO EQUIPO ELÉCTRICO

Especificaciones para el Tablero de Distribución, Fuerza y Control de Motores para la Planta de Tratamiento.

a) Generalidades.

Tablero de control y distribución para baja tensión con estructura rígida de perfiles de acero laminado que le permitan autoportarse e instalarse directamente sobre el piso, consistente de secciones verticales con acceso a su interior por cualquier parte que se requiera para lo cual las cubiertas de lámina de los costados y de la parte superior de las mismas deben ser atornilladas con el fin de que le den las características de desmontabilidad. Debe construirse con

lámina inoxidable NEMA -1 del No. 10 (d.41 mm. de espesor), rolada en frío, sometida a un tratamiento de bonderizado, posteriormente se aplicará una capa de pintura anticorrosiva y su acabado interior y exterior será de esmalte semimate de color gris perla.

- b) Condiciones de servicio.
 - b1) Servicio: Interior.
 - b2) Temperatura ambiente máxima: 40° C.
 - b3) Medio aislante y refrigerante: Aire.
 - b4) Altitud: 2300 m.s.n.m.
 - b5) Voltaje de operación: 220 volts.
 - b6) Frecuencia: 60 c.p.s.
 - b7) Corto circuito simétrico en las barras de 220 volts: 50000 amperes a 220 volts.
 - b8) Todos los equipos que contenga este tablero deben operar con corriente alterna, 3 fases, 4 hilos, 220 volts, 60 c.p.s.

NOTA: Se empleara el control y protección de 29 motores de inducción con capacidad de 1/1 HP hasta 30 HP.

- c) Equipo.

- e1) Interruptor principal en aire tipo termomagnético, 3 polos, 600 volts, 600 amperes nominales, con capacidad mínima interruptiva de 50,000 amperes simétricos en 220 volts corriente alterna con elementos de protección contra sobrecorriente y corto circuito, alojados en cajas moldeadas de baquefita con manija propia de operación al frente.
- e2) Tres combinaciones de arrancador magnético a pleno voltaje tamaño NEMA-3, similar al Square D clase 8539 tipo EG-9 con capacidad para motor trifásico de 30 HP e interruptor termomagnético, 3 polos, 600 volts, 125 amperes nominales.
- e3) Ocho combinaciones de arrancador magnético a pleno voltaje tamaño NEMA-1, similar al Square D clase 8539 tipo CG - 3 con capacidad para motor trifásico hasta de 5 HP e interruptor termomagnético, 3 polos, 600 volts, 30 amperes nominales.
- e4) Tres combinaciones de arrancador magnético a pleno voltaje tamaño NEMA -0 similar al Square D, clase 8539 tipo BG-3 con capacidad para motor trifásico hasta de 3 HP e interruptor termomagnético, 3 polos, 600 volts, 20 amperes nominales.
- e5) Seis combinaciones de arrancador magnético a pleno voltaje tamaño NEMA-0, similar al Square D clase 8539 tipo BG-1 con capacidad para motor trifásico hasta de 2 HP e interruptor termomagnético, 3 polos, 600 volts, 15 amperes nominales.
- e6) Un compartimento libre para alojar en un futuro una combinación de

- arrancador magnético a pleno voltaje tamaño NEMA-3, similar al Square D, clase 8539 tipo EG-9 con capacidad para motor trifásico de 30 HP e interruptor termomagnético, 3 polos, 600 volts, 125 amperes nominales.
- c7) Cuatro compartimientos libres para alojar en un futuro cuatro combinaciones de arrancador magnético a pleno voltaje tamaño NEMA-1 similar al Square D, clase 8539 tipo CG- con capacidad para motor trifásico de 5 HP e interruptor termomagnético, 3 polos, 600 volts, 30 amperes nominales.
 - c8) Dos compartimientos libres para alojar en un futuro dos combinaciones de arrancador magnético a pleno voltaje tamaño NEMA-0, similar al Square D clase 8539 tipo G - 3 con capacidad para motor trifásico hasta de 5 HP e interruptor termomagnético, 3 polos, 600 volts, 30 amperes nominales.
 - c4) Tres combinaciones de arrancador magnético a pleno voltaje tamaño NEMA-0, similar al Square D, clase 8539 tipo BG-3, con capacidad para motor trifásico hasta de 3 HP e interruptor termomagnético, 3 polos, 600 volts, 20 amperes nominales.
 - c5) Seis combinaciones de arrancador magnético a pleno voltaje tamaño NEMA -0, similar al Square D, clase 8539 tipo BG-1, con capacidad para motor trifásico hasta de 2 HP e interruptor termomagnético, 3 polos, 600 volts, 15 amperes nominales.
 - c7) Cuatro compartimientos libres para alojar en un futuro cuatro combinaciones de arrancador magnético a pleno voltaje tamaño NEMA -1, similar al Square D, clase 8539, tipo gc - 3, con capacidad para motor trifásico de 5 HP en

interruptor termomagnético, 3 polos, 600 volts, 30 amperes nominales.

e8) Dos compartimientos libres para alojar en un futuro dos combinaciones de arrancador magnético a pleno voltaje tamaño NEMA - 0, similar al Square D, clase, 8539, tipo BG - 3, con capacidad para motor trifásico de 3 HP e interruptor termomagnético, 3 polos, 600 volts, 20 amperes nominales.

e9) Dos compartimientos libres para alojar en un futuro dos combinaciones de arrancador magnético a pleno voltaje tamaño NEMA-0, similar al Square D clase, 8539, tipo BG - 1 con capacidad para motor trifásico de 2 HP e interruptor termomagnético, 3 polos, 600 volts, 15 amperes nominales.

c10) Cuatro interruptores en aire tipo termomagnético, 3 polos, 600 volts, 30 amperes nominales, con capacidad mínima interruptiva de 18,000 amperes simétricos en 220 volts corriente alterna con elementos de protección contra sobrecorriente y corto circuito, alojados en cajas moldeadas de baquelita con manija propia de operación al frente.

c11) Un amperímetro indicador con bobina de 5 amperes nominales para corriente alterna a 60 c.p.s., error máximo permisible 1% con relación a la deflexión máxima.

Escala: 0 - 600 amperes, cero a la izquierda con leyenda "Amperes C.A.", con switch conmutador de 3 posiciones para lecturas en las 3 fases.

c12) Un voltómetro indicador con bobina de 300 volts, al máximo de escala para corriente alterna a 60 c.p.s. error máximo permisible de 1% con relación a la

deflexión máxima, éste voltómetro deberá medir voltaje entre fases de las barras de 220 volts, con switch conmutador para lecturas en las 3 fases, la carátula, llevará la siguiente leyenda "Volts C.S." F, 1-2, 2-3, 3-1, que corresponde a las posiciones para la lectura entre fases.

e13) Todos los equipos deberán instalarse en compartimientos independientes del tipo de enchufar con puerta embisagrada, además todas las combinaciones de arrancador magnético e interruptor termomagnético deberán de llevar:

e13.1) Juego de elementos térmicos del tipo de aleación fusible: 3 juegos para motores de 30 HP, 8 juegos para motores de 5 HP, 3 juegos para motores de 3 HP 2 juegos para motores de 1 1/2 HP, y cuatro juegos para motores de 1/2 HP.

e13.2) Estación de botones para arranque-paro y luces indicadoras con focos de neón en color rojo cuando el motor trabaje normalmente y en color verde cuando se encuentre desenergizado.

d) Alambrado.

d1) El alambrado del tablero de control debe ser con características NEMA-C, proporcionando un compartimiento en la parte inferior de cada sección con todas las tabillas terminales debidamente alambradas para cada unidad.

Especificaciones para el Tablero de Control de los Equipos de Bombeo

ALCANCE.

Estas especificaciones del tablero de control, cubren los aspectos de arranque,

paro y señalización de los equipos de bombeo, siendo su alternación y/o simultaneación como se indica en la hoja de datos.

NORMAS APLICABLES.

NEMA ABI	Molded case circuit breakers.
NEMA ICSI	General standards for industrial control and systems.
NEMA ICS2	Industrial control devices, controllers and assemblies.
NEMA ICS6	Enclosures for industrial controls and systems.

SUMINISTRO.

A continuación se indican una relación de los mínimos dispositivos y accesorios requeridos en el tablero de control.

- Gabinete metálico para montaje sobre puesto en muro, servicio interior.
- Reveladores.
- Lámparas indicadoras.
- Botones y selectores.
- Tablillas terminales.
- Conductores y conectores eléctricos.
- Interruptores de presión.
- Electroniveles.
- Dibujos y diagramas.

Equipo a controlar.

Los equipos de bombeo serán movidos por motores eléctricos tipo jaula de ardilla. Controlados con arrancador magnético de tamaño adecuado y bobina y control a 10 v., cantidad, potencia, número de fases y voltaje de operación en hoja de datos.

Equipo de control por cuenta de otros.

Arrancadores magnéticos de los motores con botones de arranque-paro, y luces piloto.

Contadores de tiempo de operación.

Secuencia de operación.

En la hoja de datos se indican las condiciones de operación que se desea cumpla el diseño del tablero. Así mismo se presenta un diagrama esquemático preliminar como guía del diseño.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.

El gabinete será de construcción NEMA 12 a prueba de polvo, con tapa al frente embisagrada y con chapa de sobreponer. No deberá tener más de 60 cm. de ancho.

El equipo alojado en su interior deberá ir montado sobre un panel desmontable.

Tanto el tablero como la tapa y el panel interior, serán de lámina de acero al carbón rolada en frío, calibre 12, esmaltada.

Las placas con la leyenda de la lámpara indicadora serán de lámina con letras blancas en bajo relieve y remachadas a la tapa.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS.

Todo el alambrado del tablero deberá ser hecho con cable de cobre con aislamiento para 600 v., tipo THW, calibre 14 AWG, antífama.

Los cables dentro del tablero deberán seguir caminos paralelos a las aristas del mismo. Y aquellos que vayan juntos, deberán ir unidos mediante espiral o ducto de plástico.

Los cables en todas las conexiones deberán identificarse en ambos extremos, con el número correspondiente en el diagrama esquemático de control.

Todas las conexiones que deban salir del tablero se alambrarán a tablillas terminales perfectamente indentificadas.

PRUEBAS.

Las pruebas deberán realizarse al 100% de los aparatos.

- Operación eléctrica o hidráulica de los dispositivos de control que componen el tablero.
- Verificación de la continuidad de los circuitos individuales como un probador.

La prueba de aislamiento del alambrado de control aplicando una tensión de 1500 volts, 60 Hz a tierra durante un minuto.

La prueba final será la puesta en servicio.

INSPECCIÓN.

El vendedor deberá notificar al comprador antes de realizar las pruebas con el objeto de que un inspector pueda estar presente, para una inspección previa a las pruebas y atestiguar el desarrollo de las mismas.

En caso de no ser posible atestiguarlas, el contratista entregará al comprador un juego de tres copias del protocolo de pruebas certificadas.

El comprador o sus representantes tendrán el derecho de inspeccionar el equipo en cualquier etapa durante su fabricación para asegurarse de que el equipo, materiales y mano de obra estén de acuerdo con ésta especificación y con los documentos aplicables de referencia.

La aprobación de cualquier trabajo o documento por el comprador o sus representantes y la liberación del equipo para embarque, no releva de ninguna manera al fabricante de su responsabilidad en el cumplimiento de los requisitos de ésta especificación ni de suministrar un equipo satisfactorio.

EMBARQUE.

Todos los recipientes, cubiertas, gabinetes, etc., del equipo a suministrar, deben estar completamente secos y limpios en su interior y exterior, libres de basura y material de desperdicios.

Todos los accesorios interiores no instalados por el proveedor serán empacados del tal manera que todas las partes sean protegidas contra daño y pérdidas durante el

transporte, embarcados para que lleguen a su destino junto con el equipo mayor.

Se deberá proporcionar el empaque y enhuacalado necesario para minimizar las posibilidades de daño durante el transporte.

HOJA DE DATOS:

- Sitio de la obra	<u>Planta No. 2</u>
	<u>Aguas negras</u>
- Delegación	<u>Xochimilco</u>
- Números de equipos a controlar	<u>1+1</u>
- Potencia	<u>10 H.P.</u>
- Número de fases de los motores	<u>3</u>
- Voltaje de operación de los motores	<u>440 V.</u>
- Voltaje de control de tablero	<u>110 V.</u>
- Tipo de arrancador magnético	<u>Tensión plena</u>
- Forma de arranque	<u>Manual-Automático</u>
- Forma de paro	<u>Manual-Automático</u>
- Forma de alternación de los equipos	<u>Manual</u>
- Forma de simultaneación de los equipos	<u>Manual</u>
- Se debe presentar en la propuesta el diagrama esquemático de control.	<u>Si</u>
- Color del gabinete	<u>Azul Pantone 280</u>

CONDICIONES DE OPERACIÓN

- 1.- Trabaja como máximo un equipo en forma automática y los dos simultáneamente en forma manual, si se desea.
- 2.- Para esto el operador dispondrá en cada uno de los arrancadores, de contadores de "tiempo trabajado," en los que se basará para decidir que bomba debe descansar.
- 3.- El paro de los equipos será originado por el interruptor tipo pera localizado en el cárcamo de bombeo y por el operador de la estación.
- 4.- Por abajo del nivel mínimo de agua ninguna bomba trabajará, esto será ni en posición manual, ni automática. Este nivel será de 0.64 m. sobre la loza de fondo del cárcamo.
- 5.- En posición automática, habrá otro nivel en el cual arrancará el equipo seleccionado. Este será de 1.40 m.
- 6.- Habrá una indicación luminosa señalando el nivel del agua. Nivel bajo o paro de equipos, nivel alto o arranque del equipo seleccionado.
- 7.- El sistema contará con arranque automático de las bombas mediante un selector de tres posiciones "automático bomba No. 1 - Manual - Automático bomba No. 2".

DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL ARRANCADOR A TENSION PLENA
 (SOLO PARA INFORMACION DE LAS INTERCONEXIONES)
 CASO TYPICO

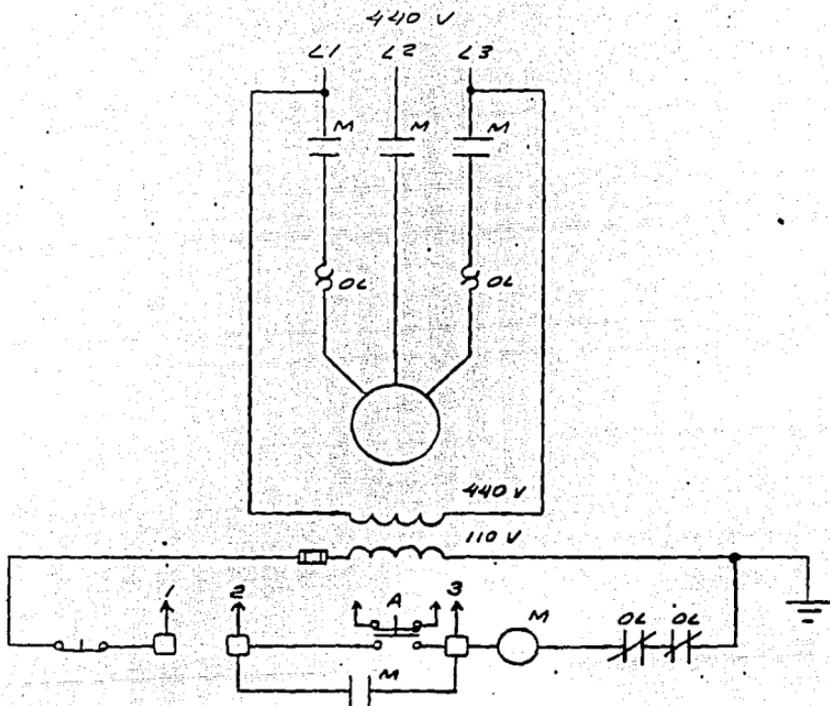
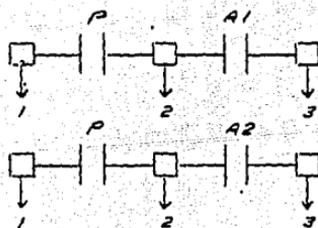
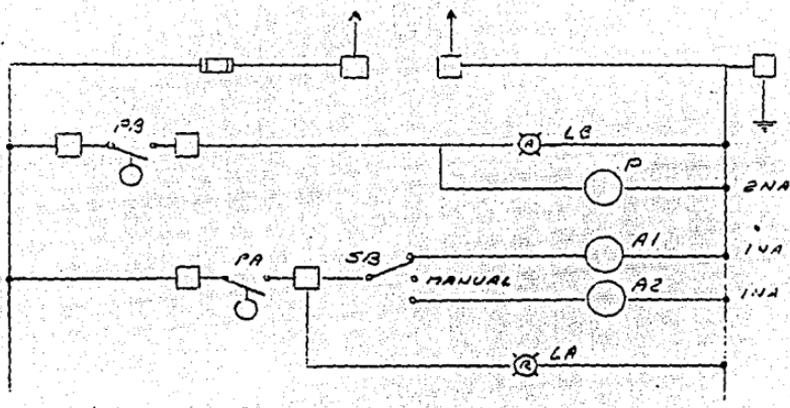


DIAGRAMA ESQUEMATICO DE TABLERO DE CONTROL DEL
 TABLERO ALUMBRADO 110V, 50 HZ



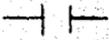
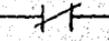
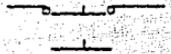
LISTA DE MATERIALES DEL TABLERO

PART.	REP.	CANT.	DESCRIPCIÓN
1	P,A1,A2	3	RELEVADOR ENCAPSULADO, DE ENCHUFAR DE DOS POLOS DOS TIROS, DE 10A, CON BOBINA A 110 V, 60 HZ., CON BASE ATORNILLABLE.
2	LB,LA	2	LÁMPARA PILOTO A PRUEBA DE ACEITE, DE 110 V., 60 HZ., EN COLOR VERDE, ROJO Y ÁMBAR RESPECTIVAMENTE.
3	F	1	PORTAFUSIBLE DE SOBREPONER, DE UN POLO, DE 30 A, CON FUSIBLE DE 10 A.
4		1	TABLILLA TERMINAL DE 30A, 25 POLOS
5	SB	1	SELECTOR DE CONTACTO SOSTENIDO, A PRUEBA DE ACEITE, DE 3 POSICIONES CON UN POLO 2 TIROS EN CADA POSICIÓN.
6	PA,PB	2	INTERRUPTOR SUMERGIBLE CON CÁPSULA DE MERCURIO (PERA), CON CUBIERTA EXTERIOR DE PVC, CONTACTO N.A. PARA 5A, 127 V.

SIMBOLOGIA DEL CIRCUITO DE CONTROL

S I M B O L O

D E S C R I P C I O N

	BOBINA DE RELEVADOR O CONTACTOR
	CONTACTO NA. DE RELEVADOR O CONTACTOR
	CONTACTO NC. DE RELEVADOR O CONTACTOR
	FUSIBLE
	LAMPARA PILOTO COLOR AMBAR
	CONTACTO N.A. DE INTERRUPTOR DE FLOTADOR
	CONTACTO NC. DE BOTON OPERADOR
	CONTACTO N.A. DE BOTON OPERADOR
	CONTACTO NA. CON RETRASO DE TIEMPO AL ENERGIZARSE EL RELEVADOR
	TABLILLA TERMINAL
	INTERCONEXION
	TRANSFORMADOR DE CONTROL
	SELECCION DE DOS POSICIONES

3.5 SELECCIÓN DE MOTORES PARA UNA APLICACIÓN ADECUADA

El problema de la aplicación de motores de inducción jaula de ardilla, se reduce esencialmente a determinar con el máximo cuidado los factores siguientes:

- Características de la carga y del motor tales como: acoplamiento del motor a la carga, velocidad, capacidad en CP, pares requeridos, características de inercia, aceleración y ciclo de trabajo.
- Sistemas de arranque del motor en relación a la fuente de energía alimentadora, tales como: variaciones permisibles de la tensión al aplicar la corriente de arranque y capacidad requerida en KVA.
- Condiciones ambientales tales como: temperatura ambiente, altura sobre el nivel del mar, abuso mecánico y contaminantes. Estos factores determinan el tipo de aislamiento, así como la cubierta o protección del motor.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA Y DEL MOTOR

A) MÉTODOS DE ACOPLAMIENTO:

Acoplamiento directo. - Las estadísticas demuestran que solamente el 20% de las máquinas movidas opera a la misma velocidad que el motor que la mueve. Cuando el motor se acopla directamente a la carga, las condiciones de aplicación son distintas que cuando se usa una transmisión intermedia para aumentar o disminuir la

velocidad.

El acoplamiento directo sólo es práctico si la carga puede accionarse a la misma velocidad que el motor como sucede en bombas, compresores centrifugos y moto-generadores. Para estas aplicaciones lo más conveniente es usar un motor con extensión de flecha corta. Por lo que se refiere al problema mecánico de acoplamiento, es necesario nivelar, alinear y anclar perfectamente el grupo.

Transmisión con banda o cadena.- Al aplicar estos métodos de transmisión y reducción de velocidad a motores, deben comprobarse siempre dos factores:

- a. Carga radial adicional sobre la chumacera o rodamiento del motor
- b. Carga combinada de flexión y torsión sobre la extensión de la flecha.

Los límites prácticos establecidos por NEMA para este tipo de transmisiones para asegurar buena vida en las chumaceras y prevenir esfuerzos excesivos en la flecha, son como sigue:

Motor Arm.	No. de Polos	Velocidad	CP Máximos por
		Síncrona, RPM	transmitir
256T	2	3600	25
445T	4	1800	200
445T	6	1200	125
445T	8	900	100

B) DATOS BÁSICOS PARA LA SELECCIÓN DEL MOTOR

En general son tres los datos básicos que hay que conocer de una máquina para seleccionar el motor y son:

Velocidad. La velocidad de operación debe calcularse en relación a la velocidad en la flecha del motor. Tómese en cuenta que el par varía en proporción inversa a la velocidad angular en el caso de transmisiones por engranes, bandas o cadena.

En el caso de transmisión por bandas V o plana es necesario proveer un dispositivo para ajustar la tensión. Esto puede ser una base de rieles deslizables. La tendencia natural de la mayoría de los mecánicos es ajustar las bandas demasiado tensas. Una regla práctica que debe recordarse es que la banda o bandas que no patinan ligeramente al arrancar la carga, están demasiado tensas, esto acorta considerablemente la vida de la chumacera y puede causar vibración o fractura de la flecha.

Además la máquina puede requerir de:

Una sola velocidad.

Dos o más velocidades fijas.

Velocidad infinitamente ajustable.

La capacidad requerida en H.P. Este dato generalmente es más difícil de determinar que la velocidad; sin embargo, hay tres maneras fundamentales de obtenerla:

1. Especificaciones o datos de placa. Si la máquina se ha comprobado, la

potencia requerida se especifica por el fabricante de la misma, en su placa o se lista en las características de operación.

2. Prueba. Si no hay manera de obtener los datos del fabricante, se puede aplicar un motor de características conocidas para duplicar las condiciones de operación. Midiendo con un analizador industrial los watts de entrada al motor, se deduce la potencia de:

$$\text{CP en la flecha} = \frac{\text{KW de entrada x eficiencia del motor}}{736}$$

3. Comparación. Si 1 ó 2 resultan imprácticos, hágase una comparación cuidadosa de la máquina a propulsarse con máquinas similares cuyas necesidades de potencia sean conocidas. Este método es el más errático de los tres y solo debe usarse en casos extremos.

Par. Los requerimientos de Par de la máquina a moverse deben conocerse en tres condiciones adicionales a las del par a plena carga, éstas son:

- Par de arranque
- Par de aceleración
- Par máximo

C) DEFINICIÓN DE LOS PARES DEL MOTOR DE INDUCCIÓN

Par y fuerza son similares, excepto que el término "fuerza" se usa cuando

se habla de movimiento lineal y "Par" cuando se trata de movimiento de rotación.

Par es el producto de fuerza (Kgs.) por el radio (Mts.). El valor resulta pues en Kg-Mts., que indica el número de kilogramos aplicados a un radio de tantos metros.

En el caso de una máquina accionada, el Par es la fuerza rotacional que absorbe la máquina para moverse. En el de un motor, Par indica la fuerza rotacional que el mismo produce en su flecha.

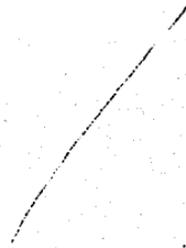
La curva típica "Par-Velocidad" de un motor de inducción mostrada en la Fig. 3 ilustra los diferentes pares que desarrolla el motor:

"Par de arranque" es el que desarrolla el motor en reposo en el momento en que se le aplica energía eléctrica a sus devanados y la flecha empieza a girar.

La flecha en (1) muestra este par a velocidad cero, también se le llama "Par o rotor bloqueado".

El "Par Mínimo" se muestra en (2). Este es el par mínimo en el área de la cúspide que sigue al arranque. Como veremos más adelante, en muchos motores no hay este descenso de par, después de arrancar.

El "Par Máximo" es aquel que puede desarrollar el motor sin frenarse o "sentarse" súbitamente. Este se muestra en el punto (3) y generalmente se desarrolla alrededor del 80% de la velocidad sincrónica. También se le llama "Par de desenganche".



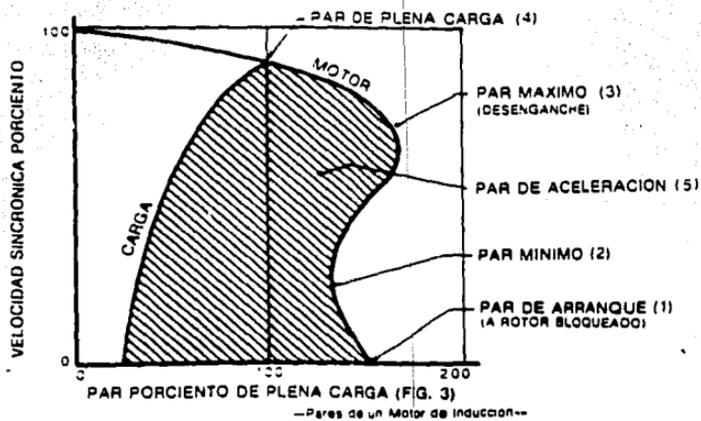
"Par de plena carga" es aquel que desarrolla el motor para producir la potencia de placa a la velocidad especificada, como se muestra en el punto (4) de la curva.

"Par de aceleración" es la diferencia o excesos de pares entre los desarrollados por el motor y los demandados por la carga. El área es ashurada (5) es proporcional a la potencia en exceso desarrollada por el motor para acelerar la carga. Los "pares de aceleración" son la diferencia entre las dos curvas y están dentro de esta misma área.

Estos pares son extremadamente importantes y deben entenderse perfectamente para aplicar adecuadamente los motores a cargas variadas.

D) CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

Existen cinco parámetros que definen las características de operación de motor:



Velocidad en RPM

Capacidad en CP

Par en Kg-mts.

Corriente de arranque o máxima

Aumento de temperatura.

Cada uno de estos parámetros se combina con todos los demás para producir un resultado específico.

Interrelación entre potencia, par y velocidad.

La interrelación de estos tres parámetros se define como sigue:

F = Fuerza en Kilogramos.

d = Distancia en metros.

t = Tiempo en minutos.

T = Par en Kg-mts a un metro de radio.

RPM = Velocidad angular en revoluciones por minuto.

$$\text{Potencia} = \frac{Fd}{t} = \pi T \times \text{RPM} \text{ Kgmts/min.}$$

$$1 \text{ CP} = 75 \text{ Kgmts/seg.} = 4500 \text{ Kgmts/min.}$$

$$\text{Potencia en CP} = \frac{T \times \text{RPM} \times 2\pi}{4500}$$

$$\text{Potencia en CP} = \frac{T \times \text{RPM}}{716} \dots(1)$$

La simple fórmula anterior nos muestra la interrelación entre potencia, par y velocidad. Esta fórmula frecuentemente se olvida al seleccionar los motores.

Supongamos, por ejemplo, que tenemos una máquina que requiere un motor de 10 CP y que tiene una velocidad de operación de 1160 RPM. El cliente pide un motor de esa capacidad, 6 polos, que a la frecuencia de 60 Hertz da precisamente esa velocidad, para transmitir con bandas V y poleas con relación de diámetro 1:1; sin embargo, el ingeniero que ha comprendido la importancia de la fórmula anterior, puede demostrarle al cliente como ahorrar dinero al cambiar la relación de poleas usando un motor de la misma potencia, pero de mayor velocidad. Puede probar que seleccionando un motor de 2 polos con 3475 RPM puede usarse una polea de 1/3 del diámetro original, o sea una relación de poleas de 1:3.

También puede proponer un motor de 4 polos con 1745 RPM y relación de poleas de 1:1.5.

A continuación hemos listado el costo relativo de los tres motores. El motor de 6 polos tiene más cobre y hierro para poder desarrollar un par mayor que los motores de 2 y 4 polos. (se tomará al motor de 4 polos como base comparativa)

Costo relativo de motores de 10 CP. abiertos.

Polos	Velocidad en la flecha	Armazón	Costo Relativo
2	3475	213 T	103 %
4	1745	215 T	100 %
6	1160	256 T	150 %

Si el cliente puede usar un motor de mayor velocidad, el ahorro es evidente y además el motor será más ligero y más fácil de montar.

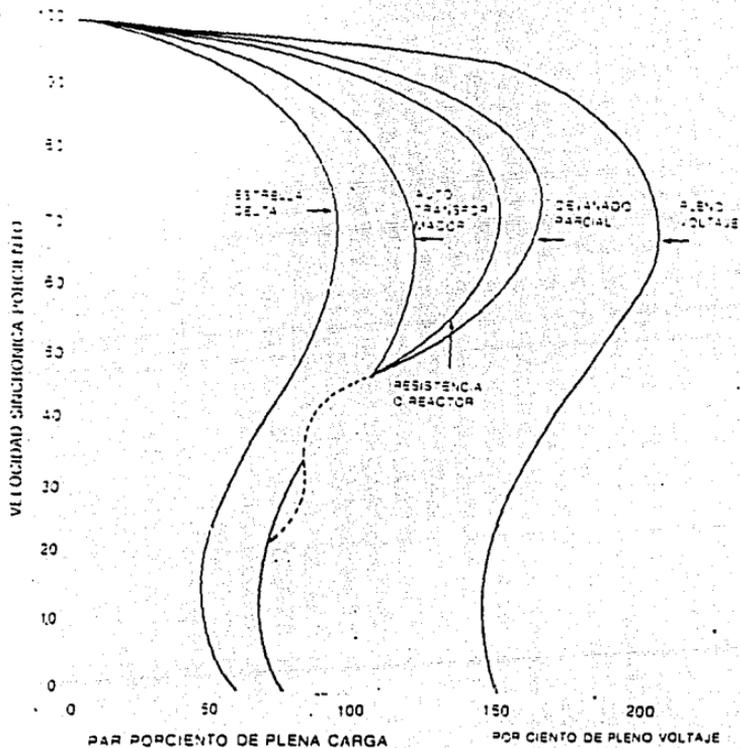
Las únicas precauciones por tomar con motores de más alta velocidad, es el comprobar que la flecha es adecuada para transmitir por banda. También, si el sentido de rotación del motor tiene que invertirse frecuentemente, los motores de alta velocidad tienen menos capacidad térmica en comparación con los de baja velocidad.

E) FACTOR DE SERVICIO

La capacidad en CP grabada en la placa del motor, no necesariamente indica la capacidad máxima, excepto cuando el F.S. = 1.0.

Cuando el factor de servicio es superior a 1.0, por ejemplo 2.15, el motor podrá sobrecargarse sin peligro en un 15% por arriba de su capacidad nominal en forma continua; sin embargo, es importante hacer notar que el factor de servicio sólo es aplicable cuando prevalecen y se mantienen las condiciones de tensión y frecuencia establecidas en la placa. También, es preciso advertir al cliente, que al aplicar el factor de servicio aumentará la temperatura de operación del motor y afectará la vida útil del

CARACTERÍSTICAS DE ARRANQUE A TENSIÓN REDUCIDA



RESISTENCIA
REACTOR
DEVANADO PARCIAL
AUTO TRANSFORMADOR
ESTRELLA DELTA

VOLTAJE	CORRIENTE	PAR
90	90	64
30	30	64
100	65	50
30	64	64
120	33	33

devanado, el factor de potencia, la eficiencia y la velocidad.

b) Arrancador con Autotransformador

Este es uno de los métodos más comúnmente usados para arrancar a voltaje reducido debido a su economía, eficiencia y flexibilidad para ajustar al voltaje de arranque deseado. Toda la energía aplicada se transmite al motor, excepto las pérdidas del autotransformador que son pequeñas, por lo que la carga se acelera suave y en forma segura. Las derivaciones en el autotransformador permiten el ajuste de la corriente y del par de arranque, de acuerdo con las necesidades de la mayoría de las aplicaciones. Las características que producen las tres derivaciones de voltaje comúnmente usadas son como sigue:

Derivación	Par de Arranque (% del par a plena tensión)	Corriente de arranque en la línea (% de la misma a plena tensión)
50%	25	28
65%	42	45
85%	64	67

Como puede apreciarse del cuadro anterior, tanto la corriente como el par varían en este caso en proporción inversa al cuadrado del voltaje. La corriente aumenta ligeramente sobre la proporción indicada debido a la corriente de magnetización del auto transporte.

Estos arrancadores se construyen para operación manual con transición

abierta (se conocen vulgarmente como compensadores) en capacidades hasta de 300 CP en 440 Volts.

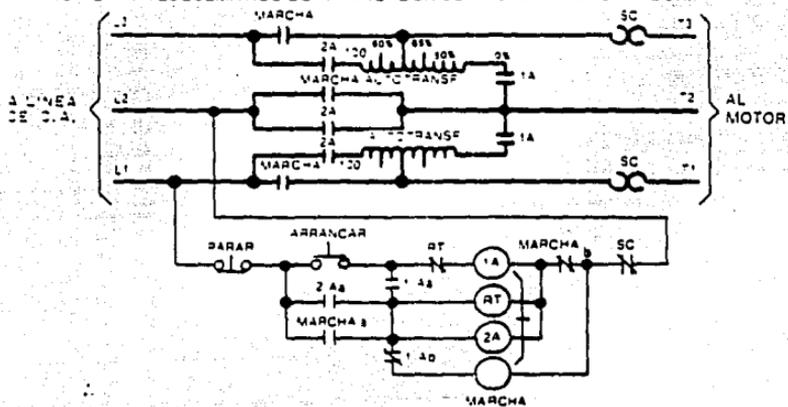
DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE ARRANCADOR CON AUTOTRANSFORMADOR

También se construyen para operación automática con transición cerrada en capacidades hasta de 100 CP en 440 Volts.

La ventaja de la transición cerrada sobre la abierta, es que la aplicación de la tensión es suave y continua desde el valor reducido hasta el pleno voltaje. Como el motor no queda momentáneamente desconectado de la línea, no hay interrupción de la corriente de línea que podría causar un segundo transitorio de corriente durante la transición.

Los arrancadores con autotransformador se usan para arrancar cargas pesadas, tales como: compresores, bombas, molinos de bolas y de martillos, molinos de hule,

DIAGRAMA ESQUEMATICO DE ARRANCADOR CON AUTOTRANSFORMADOR.



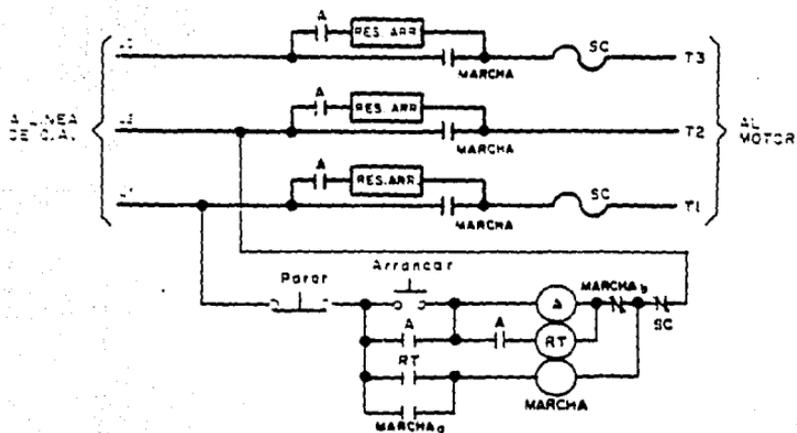
centrifugas en la industria del azúcar, etc.

c) **Arrancadores con resistencias**

Estos arrancadores se usan poco porque no tienen la eficiencia, ni la flexibilidad del sistema anterior. Generalmente se construyen para reducir el voltaje aplicado al motor al 80% de su valor de línea, con lo cual la corriente de arranque se reduce en la misma proporción y el par de arranque se reduce al 64% de su valor a plena tensión.

**DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE ARRANCADOR CON RESISTENCIAS
PRIMARIAS**

DIAGRAMA ESQUEMATICO DE ARRANCADOR CON RESISTENCIAS PRIMARIAS



SECUENCIA DE LOS CONTACTORES

CONTACTOR	ARRANQUE	TRANSICION	MARCHA
A	●	●	
MARCHA		●	●

Esto se logra conectando momentáneamente las resistencias de arranque en serie con los devanados del motor. El ciclo de arranque es de transición cerrada.

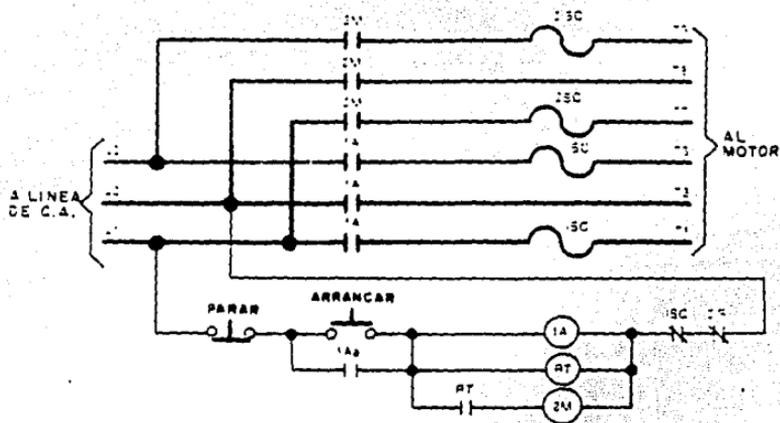
Se aplican para arrancar maquinaria delicada como maquinaria textil, escaleras eléctricas y transformadores que tengan que arrancar suavemente.

d) Arrancadores para devanado bipartido

Estos arrancadores proveen un sistema de arranque muy económico, cuando las necesidades de par durante el arranque pueden manejarse con el 50% del par a plena tensión. Pueden usarse con motores estándar diseñados para voltaje dual por ejemplo 220 440 Volts en el voltaje menor, es decir 220 Volts. También pueden usarse con motores específicamente diseñados para este tipo de arranque en cualquier otro voltaje.

**DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE ARRANCADOR PARA DEVANADOR
BIPARTIDO**

DIAGRAMA ESQUEMATICO DE ARRANCADOR PARA DEVANADOR BIPARTIDO



Cuando se usen motores estándar de voltaje dual, es necesario cerciorarse de que el par desarrollado durante el arranque (50%) es suficiente para acelerar la carga lo suficientemente sin producir un transiente indeseado al conectar todo el devanado a la línea, o bien un trancazo o golpe en la carga movida al ser esta acelerada a pleno par.

Este tipo de arrancador es muy usado para arrancar cargas ligeras como compresores descargados, bombas centrifugas, máquinas -herramientas, etc.

Se construyen en capacidades estándar hasta de 200 CP en 440 Volts.

e) **Arrancadores Estrella-delta**

Estos arrancadores muy usados en Europa son menos económicos que el arrancador de devanado bipartido, ya que requieren por lo menos de un contacto de más de dos polos.

Se usan en aquellos casos en que los requerimientos de par durante el arranque son bajos (33% del par de arranque a plena tensión), pero el periodo de aceleración es prolongado debido a la alta inercia de la carga.

Se pueden usar con motores conectados en Delta para operación normal y que estén provistos con 6 puntas de salida (2 para cada una de las fases). Al arrancarse el motor conectado en Estrella se aplica aproximadamente el 58% del voltaje de línea a los devanados y el motor toma el 33% de la corriente de arranque y desarrolla 33% del par de arranque a plena tensión. Una vez que el motor ha acelerado, se reconecta en Delta para operación normal.

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN ARRANCADOR ESTRELLA-DELTA (TRANSICIÓN ABIERTA)

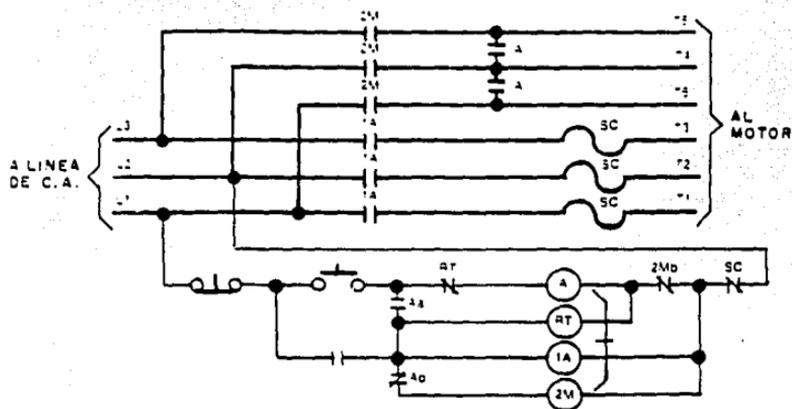
Generalmente se construyen estos arrancadores en capacidades estándar hasta de 150 CP en 440 Volts, con transición abierta.

Si la transición abierta es objetable, debido a los inconvenientes ya apuntados, se puede construir este arrancador con transición cerrada, pero resulta relativamente caro por el equipo adicional requerido (un contacto de tres polos y tres resistencias de transición). En este caso, conviene analizar cuidadosamente si no es más económico usar un arrancador de autotransformador con transición cerrada.

CONDICIONES DE OPERACIÓN DE ACUERDO AL TIPO DE AMBIENTE

La mayoría de los motores comprados en la actualidad son para ser usados en localizaciones comunes en donde el aire es relativamente limpio, la temperatura

DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UN ARRANCADOR ESTRELLA-DELTA (TRANSICION ABIERTA)



se mantiene dentro de límites normales tolerables por seres humanos y las condiciones extremas de carga en los motores sólo se presentan excepcionalmente: sin embargo, miles de motores se usan en aplicaciones en donde estas condiciones ideales no existen. El propósito de este artículo es discutir los problemas que presentan las condiciones ambientales extremas y los sistemas de aislamiento disponibles para resolver estas aplicaciones.

Desde el punto de vista del usuario, el aislamiento es uno de los aspectos más importantes del motor, ya que es el elemento que decide:

La vida útil del motor y el mantenimiento aplicable al mismo.

Además los sistemas de aislamiento son constantemente investigados y desarrollados para mejorarlos. El adelanto tecnológico que se ha obtenido en este aspecto durante los últimos 20 años es muy notable.

Es por ello que el usuario de motores está vitalmente interesado en obtener el aislamiento que otorgue máxima protección a un costo razonable. Parte de la respuesta se encuentra en las características del sistema de aislamiento, mientras que la otra parte consiste en seleccionar la cubierta en el motor más adecuado a la aplicación. Trataremos de cubrir ambos aspectos.

a) Condiciones ambientales

Las condiciones que listamos a continuación son las que determinan las áreas problemáticas. Si alguna de ellas existe, hay que tomar medidas para proteger el

motor o a sus partes.

Condiciones ambientales perjudiciales

Temperatura ambiente (arriba de 40° C)

Altura sobre el nivel del mar (arriba de 1000 Mts.)

Abuso mecánico (por impacto o vibración)

Contaminantes atmosféricos:

Agentes químicos corrosivos

Agentes abrasivos (polvos y partículas)

Agentes obstruyentes (polvo, pelusa, nieve)

Humedad (alta humedad relativa, salpicadura)

Forma de los contaminantes:

Sólidos, líquidos o gases

Forma en que se mueven:

Suspendidos en el aire

Cayendo por gravedad

Rebotando de superficies adyacentes

Impulsados por fuerzas indefinidas

b) Temperatura ambiente alta (arriba de 40° C)

Esta afecta en primer lugar a los aislamientos causando deterioro rápido y envejecimiento. También reduce la viscosidad de la grasa o del aceite en las

chumaceras, pudiendo llegar a degradar sus propiedades lubricantes.

Para afrontar este problema, deben usarse aislamientos especiales para temperaturas más altas como los clase F (155° C temp. total) o clase H (180° C temp. total). Las chumaceras si son de balas deberán ir cargadas con grasa para alta temperatura y los baleros deberán tener un juego interno entre balas y pistas mayor que el normal (C-3 en lugar de C-2 que es normal). Si el lubricante es aceite, éste deberá ir provisto de aditivos especiales para mantener el índice de viscosidad a altas temperaturas, para inhibir la oxidación y reducir la fricción y el espumeo.

c) Gran altura sobre el nivel del mar

Este factor que es uno de los principales problemas en México, debido a su topografía, afecta el aumento de temperatura en los aislamientos. Al reducirse la densidad del aire con la altura, disminuye su capacidad refrigerante y la disipación del calor decrece.

Ahora bien, en los motores diseñados por IEM, se ha tomado en cuenta este factor para que el aumento de temperatura no exceda los valores normados por CCONNIE a la altura de la ciudad de México (2.280 mts. sobre el nivel del mar).

En casos en que haya necesidad de operar los motores a alturas muy superiores a la arriba indicada, habrá necesidad de usar las mismas medidas ya indicadas. La única ventaja que se presenta en este caso es que generalmente la temperatura ambiente decrece al aumentarse la altura.

d) Impacto y vibración

Estas condiciones deterioran rápidamente al motor completo causando rotura de las patas armazón tapas y flecha, causan fatiga y falla prematura en los rodamientos y aislamientos.

En esta condición, más vale prevenir que lamentar. Los factores antes apuntados pueden prevenirse mediante un alineamiento perfecto entre el motor y la carga y comprobando que el balanceo dinámico de la carga no produzca vibración excesiva (arriba de 0.050 mm de amplitud total).

Si el impacto se origina al arrancar y acelerar el motor habrá que cambiar a algún sistema de arranque más suave y de transición cerrada, como quedó apuntado en el capítulo anterior.

e) Contaminantes atmosféricos

Estos, como ya apuntamos, pueden ser:

Químicos corrosivos

Polvos Abrasivos

Polvos obstruyentes

Alta humedad relativa

Para hacer frente a estos agentes destructivos Industrias IEM ha desarrollado últimamente:

- a) Un aislamiento especial a prueba de humedad, corrosión y abrasión (APH).
- b) Motores totalmente cerrados con acabados epóxicos especiales y en los cuales naturalmente se aplica el aislamiento APH.

Estos motores se conocen bajo el nombre genérico de Tipo Químico y además de los factores antes enumerados, también llevan aislamientos "Clase F" para resistir las sobrecargas y altas temperaturas ambientales.

A continuación presentamos una tabla de selección de motores en función de las condiciones ambientales:

D) Tipo de Motor de Acuerdo al Medio Ambiente de Operación.

MOTOR LOCALIZADO EN:	TIPO DE MOTOR
Fábricas y oficinas limpias, almacenes, caseta de elevadores, cuartos aislados para motores, plantas generadoras y toda clase de aplicaciones donde la atmósfera sea limpia y seca.	Estándar a prueba de goteo
En interiores o exteriores protegidos, pero con alta humedad ambiental.	A prueba de goteo con APH*
En interiores o exteriores con alta humedad y vapores o salpicaduras químicas.	Motor TCCV Tipo Químico
En interiores con polvo metálico (máquinas, herramienta para trabajo pesado, industria automotriz, etc.)	Motor TCCV

En interiores o exteriores con polvo abrasivo	Motor TCCV
Mismo que anteriores, pero vapores o gases químicos en adición.	Motor TCCV Tipo Químico
Polvos secos no explosivos, negro de humo, etcétera.	Motor TCCV
Aplicaciones polvosas y húmedas con materiales como polvos y pulpa que pueden obstruir los ductos de ventilación de un motor abierto.	Motor TCCV Tipo Químico
Condiciones tropicales	Motor TCCV Tipo Químico
Atmósferas explosivas	Motor TCCV a prueba de explosión

Claves: TCCV Totalmente cerrado con ventilación.
 *APH Aislamiento a prueba de humedad.

F) MOTORES ROTOR DEVANADO EN ARMAZONES 215 A 440

La nueva línea de motores de inducción de rotor devanado manufacturados por industrias IEM, es una respuesta cuidadosamente planeada a las necesidades y demandas de las industrias con equipos de ciclo pesado y ajustes de velocidad constante.

CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN

a) Laminación del rotor y estator

Las laminaciones son troqueladas en prensas de precisión. La lámina es

de acero de alta permeabilidad.

Al recibir las laminaciones el proceso térmico en nuestra planta, son relevadas de esfuerzos mecánicos y sus pérdidas magnéticas se llevan a un nivel controlado, con lo cual se obtienen núcleos altamente confiables y con bajas pérdidas magnéticas.

b) **Núcleo del estator.**

Las laminaciones del núcleo del estator se apilan en un madril de expansión. Se presanan y sujetan bajo presión controlada, para mantener los núcleos dentro de dimensiones muy precisas, para cumplir con los requerimientos de alineación y concetricidad obteniendo un entrehierro uniforme.

c) **Núcleo del rotor.**

La construcción del núcleo del rotor se hace utilizando placas robustas de acero en sus extremos, para evitar que los conductores del rotor queden sujetos a esfuerzos, debidos al floreo de las laminaciones.

d) **Flecha**

La flecha se ha diseñado de manera que tenga una rigidez adecuada para resistir el par motriz y la deformación excesiva resultante del peso del rotor y de las fuerzas centrifugas y magnéticas. Esta se calcula para asegurar que la velocidad critica esté muy por encima de la velocidad de operación de la máquina.

El acero empleado para su manufactura es de la más alta calidad y

resistencia. Se manufactura en tensión de flecha de acuerdo con las dimensiones, tolerancias y acabados especificados por las normas.

e) **Rodamientos antifriccionantes**

La selección de estos rodamientos de acero desgasificado se hace en forma conservadora, para contribuir así a una larga vida del motor y disponer también de una capacidad de carga sobrada en una amplia gama de aplicaciones.

f) **Devanado del estator y rotor**

El diseño del devanado del estator y rotor se hace por medio de computadora con un programa comprobado por más de 10 años en Westinghouse, adaptado a las condiciones de la industria nacional.

El tipo de cobre (electrolítico), aislamiento, barniz y terminales, son los mismos que a través de la experiencia acumulada por industrias IEM, han demostrado su calidad superior en esta aplicación.

El devanado del estator, se ha diseñado para brindar al usuario un motor con alta eficiencia y rendimiento.

g) **Caja de conexiones**

Las cajas de conexiones se suministran en varios tamaños. La normal correspondiente al armazón es de fundición y bipartida diagonalmente, para facilitar las

conexiones. Se proporcionan cajas de mayor tamaño, a solicitud del cliente.

h) Porta escobillas

Los porta-escobillas de los motores IEM se han diseñado con gran simplicidad, para evitar costos extras de mantenimiento. El cuerpo soporte sirve también de conductor de la corriente de fase, a la vez que aloja dos escobillas que aseguran buen contacto sobre los anillos rozantes, por medio de resortes espirales de acero inoxidable, estos están diseñados para aprovechar totalmente las escobillas.

El juego de porta escobillas (3 piezas), está sujeto por medio de dos tornillos aislados adecuadamente y que impiden su deslizamiento o un mal contacto en los anillos rozantes, con cambios de giro del motor.

i) Escobillas (carbones)

Las escobillas o carbones seleccionadas para usarse en los motores IEM, son de electrografito con el grado adecuado, para evitar desgastes excesivos por fricción y temperatura por el paso de la corriente de fase.

En combinación con el resorte completan un buen equipo recolector de la corriente del rotor.

j) Anillos rozantes (colector)

Industrias IEM, ha seleccionado perfectamente los materiales, conductores y aislantes que forman el alma del motor de rotor devanado, o sean los anillos

rozantes o colector.

Los anillos están manufacturados de una aleación capaz de soportar las corrientes de operación del rotor, así como también la presión, fricción y aumento de temperatura, ocasionados por el paso de la corriente a las terminales del control, sin tener un desgaste notorio.

El material aislante soporta perfectamente la temperatura de operación sin perder sus cualidades dieléctricas. Al conjunto "núcleo rotor bobinas" una vez terminado, se le ensambla el colector, posteriormente es balanceado todo el conjunto evitando así la presencia de vibraciones indeseables en el proceso de operación del motor teniendo por lo consiguiente un motor silencioso y de largo periodo de duración en la industria pesada y semipesada.

k) Carcasas

1. Cerrado con ventilación. Las carcasas son de construcción sólida de fierro fundido con aletas externas, diseñadas para proporcionar un máximo enfriamiento y gran facilidad de limpieza.

El gran número de aletas en la superficie exterior ha sido posible gracias a las nuevas técnicas de fundición alcanzadas. El diseño de la carcasa y sus métodos de manufactura fueron seleccionados especialmente para lograr la máxima transmisión del calor del núcleo del estator a la carcasa, para su disipación al medio ambiente, aislando los embobinados de un ambiente contaminado e indeseable.

2. Goteo y cerrados sin ventilación.- Las carcasas se fabrican de placa de acero. El diseño, su armado y maquinado, proporcionan una rigidez ideal para la aplicación en lugares de ciclos de trabajo deseado (grúas, laminadoras y fundidoras de metales).

SISTEMA DE VENTILACIÓN

a) Abiertos a prueba de goteo

Nuestro sistema de ventilación está diseñado para tomar el aire del medio ambiente a través de las ventanas inferiores y laterales de las tapas, e introducirlo a las partes calientes del motor (núcleos y embobinados), aprovechándose al máximo la corriente de aire fresco.

b) Cerrados con ventilación

Nuestro sistema es silencioso con un máximo de enfriamiento y un mínimo de ruido, estas son las características resultantes de la atención especial a la selección de los ventiladores y al diseño del flujo de aire a través de la carcasa y tapas. La ventilación externa se logra por medio del ventilador principal, que se encuentra en el lado delantero del motor.

El aire frío es succionado a través de las rejillas de la cubierta por el ventilador e impulsado por el mismo y dirigido a lo largo del aleteado de la carcasa por la cubierta que es de aleación de aluminio.

c) Cerrados sin ventilación

Este motor carece de ventilación, sin embargo, su diseño permite lograr un equilibrio térmico especificado entre el tiempo de operación y el límite de temperatura del aislamiento anotado en la placa, de modo tal que el motor disipa las pérdidas sin sobrecalentarse.

MOTORES ROTOR DEVANADO PARA SERVICIO INTERMITENTE

Estos motores tienen características de variación de velocidad con tiempo corto de duración. Pueden desarrollar su capacidad nominal durante el tiempo especificado sin dañar sus aislamientos por temperatura. Están diseñados para uso severo de frenado por inversión de fases o cambios de giro y para servicios donde se requieren arranques y paros frecuentes. Su par máximo es un poco mayor que el de aplicación general (275% del par de plena carga).

Este tipo de motor tiene una aplicación idónea en grúas (movimiento de ganchos y su desplazamiento), aprovechando que el par de arranque puede variarse al introducir diferentes valores de resistencia en el circuito del rotor, así al levantar la carga, este se empieza a mover y se lleva a la velocidad deseada por medio de pasos sucesivos en la resistencia, ya que al eliminar resistencia la velocidad aumentará.

Si se empleara un motor normal de tipo jaula de ardilla el movimiento resultaría demasiado brusco, provocando sacudimientos indeseados que pondrían en peligro al personal y a la carga, además el motor se sobrecalentaría.

MOTORES ROTOR DEVANADO PARA SERVICIO CONTINUO

Recomendaciones para su aplicación:

En general el motor de rotor devanado para trabajo continuo debe aplicarse:

- a) Para equipos que requieren variación ajustable de velocidad como: ventiladores, compresores o bombas con velocidades hasta del 50% de la síncrona y a cargas hasta del 40% de la capacidad nominal.
- b) Para equipos que requieran par de arranque alto y corriente de arranque baja conectados a un sistema de capacidad limitada, como compresoras recíprocas y bombas de embolo.
- c) Para equipos con inercias altas ($WR <^2 <d>$ o $GD <^2 <d>$) que requieran pares de aceleraciones de valores excesivos y con aceleración suave, que por su duración producirían pérdidas mayores y difíciles de disipar en un rotor del tipo jaula de ardilla.
- d) Para equipos que requieran par constante en cargas a velocidad variable, en donde el rango de velocidad es pequeño y requiere una operación estable.

VENTAJAS SOBRE EL MOTOR TIPO JAULA DE ARDILLA:

1. Posibilidad de obtener un par de arranque adaptado a la máquina o equipo movido.

2. Reducción máxima de la demanda de corriente durante el arranque.
3. Permite arranques de larga duración o frecuentes con la ayuda de resistencias apropiadas.
4. Posibilidad de controlar dentro de ciertos límites la velocidad para diferentes cargas.

CLASIFICACIÓN Y APLICACIÓN

El motor de inducción o asincrónico es bien conocido en la industria y tiene la característica de velocidad constante del motor sincrónico, ya que aunque el rotor no gira a velocidad de sincronismo, sí permanece casi constante con pequeñas variaciones de la carga, representando su costo y el de sus controles una ventaja considerable.

Cuando se trata de motor de rotor devanado, se puede tener mayor control en cuanto a velocidad y corriente de arranque.

Los motores se clasifican de manera general por su aplicación como sigue:

- a) Trabajo continuo:
 - a.1.) Abierto a prueba de goteo
 - a.2.) Cerrado con ventilación
- b) Trabajo intermitente:
 - b.1.) Abierto a prueba de goteo
 - b.2.) Cerrado sin ventilación

LIMITACIONES

Al utilizar el motor rotor devanado en aplicaciones de velocidad ajustable, deberá tenerse presente que la capacidad de disipación de pérdidas que producen el calentamiento del motor, depende de la velocidad con que el motor mueve aire en su circuito de ventilación, por lo que al disminuir su velocidad, disminuirá su capacidad de disipación de temperatura. Estos motores pueden ser arrancados con carga, sin producir disturbios en la línea de alimentación por efecto de la corriente de arranque, conectadas en serie al devanado del rotor. También es posible operarlos a velocidades reducidas hasta donde lo permite la regulación; el par máximo del rotor puede estar disponible en el arranque, cuando se necesita arrancar y acelerar cargas de gran inercia y fricción; puede estar arrancando a intervalos cortos con mucho menor calentamiento que los de jaula de ardilla, debido a que las pérdidas del rotor causadas por el arranque son disipadas en la resistencia exterior.

3.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

A) DEFINICIÓN DE TRANSFORMADOR

Se entiende por transformador a un dispositivo eléctrico, que no tiene partes móviles, el cual, mediante inducción electromagnética transforma la energía eléctrica suministrada por uno o más circuitos, proporcionando a su vez de energía eléctrica a otros circuitos (uno o varios) sin variar la frecuencia, pero generalmente con valores distintos de voltaje y corriente. Por ser una máquina estática no presenta pérdidas mecánicas por rodamientos, por lo que su eficiencia es grande comparada con

las máquinas rotativas. Además que esta característica permite un mantenimiento preventivo casi nulo (los fabricantes de transformadores recomiendan que se les realice mantenimiento una vez por año) trayendo como consecuencia lógica, abatir los costos de operación.

B) PARTES DE QUE SE COMPONE UN TRANSFORMADOR

NÚCLEO.- Su función es proporcionar un camino al flujo magnético de poca reluctancia, es decir, constituye el circuito magnético que transfiere energía de un circuito a otro. Se fabrican de acero al silicio de grano orientado con laminaciones de 11 a 14 milésimas de pulgada de espesor, con el fin de reducir las pérdidas por corriente parásitas. El acero de silicio de mayor calidad es el que produce el Japón y en segundo término los Estados Unidos de Norte América, es por esta razón que los transformadores de alta calidad, su costo también sea alto, ya que en nuestro país se carece de un acero confiable.

AISLAMIENTOS.- Son todos aquellos materiales que presentan alta resistencia al flujo de corriente eléctrica y su función es proteger y aislar las partes vivas del transformador.

En la construcción de transformadores por las tensiones y corrientes de operación estos materiales son de vital importancia. Los avances tecnológicos en este ramo han permitido construir transformadores de todas las capacidades disminuyendo su tamaño y aumentando su eficiencia, algunos de ellos son:

Barniz aislante, cintas y telas de algodón, cintas o telas amarillas (tela

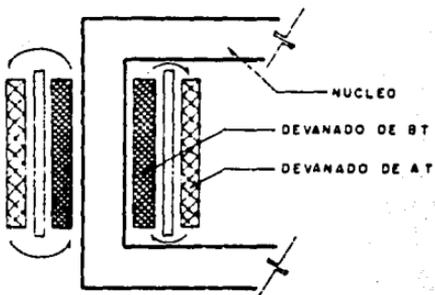
cambrigh), papel pescado, papel arroz, papel craft, cartón prensado, maderas desfleadas (pino, maple), cinta de fibra de vidrio y cintas de materiales plásticos (mayler), porcelana, resinas epóxicas y baquelita.

DEVANADOS.- Los devanados constituyen los circuitos de alimentación y de carga. La función de los devanados es la de crear un campo magnético y utilizar su flujo para inducir una fuerza electromotriz. Estos circuitos normalmente son denominados como alta tensión y baja tensión. Conforme a normas nacionales para la primera se emplea la letra "H" con símbolo de marca de polaridad ($H_1, H_2, H_3 \dots H_n$) y la "X" para la segunda ($X_0, X_1, X_2, X_3 \dots X_n$).

También se nos establece que el circuito primario será aquel que siempre está conectado a la línea y el secundario el que alimenta la carga. Por esta característica el transformador puede ser elevador o reductor dependiendo de la forma de que se conecte.

Son fabricados de cobre y aluminio. Se emplean conductores redondos en bobinas con pequeñas corrientes (desde los más delgado hasta el número 8). Se emplean conductores de sección rectangulares en bobinas con altas corrientes.

TANQUE.- Los transformadores que emplean como medio refrigerante líquidos deben tener su núcleo y devanados en tanque. Estos se construyen de láminas o placas de acero soldadas y pueden tener forma circular, óvalo o rectangular. El tanque debe tener espacio suficiente para permitir la dilatación y contracción térmica del aceite. Además es importante señalar que las distancias entre núcleo y devanados están normalizados de tal forma que no existan distancias cortas entre ellos. Se puede



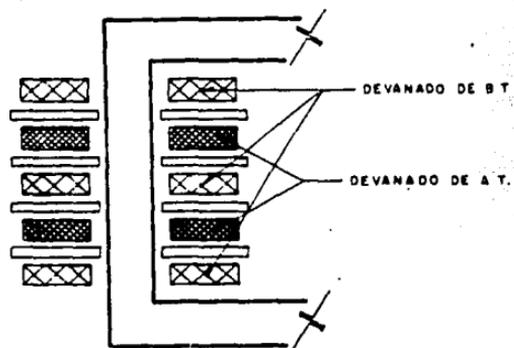


FIGURA No.1.- DISPOSICION DE DEVANADOS

agregar que el tanque es un medio protector del conjunto interior del transformador. Sus componentes principales son: cubierta, fondo o base, tubos o radiadores, registro, conector a tierra, estructura y argollas para manejo del tanque.

MEDIO REFRIGERANTE.- El medio refrigerante debe ser un buen conductor del calor y buen dieléctrico. En los transformadores pequeños la superficie es relativamente grande frente al volumen.

La refrigeración por radiación, suele ser suficiente para mantener la temperatura de funcionamiento por debajo del máximo que puede soportar el aislamiento sin reducir seriamente su duración. Sin embargo, al aumentar el tamaño de un objeto el volumen crece con el cubo de sus dimensiones lineales, mientras que el área lo hace con el cuadrado. Con eso se ve que al aumentar el tamaño hay que proveer de medios artificiales para facilitar la refrigeración.

VÁLVULA DE MUESTREO.- Esta válvula se encuentra en la parte inferior del tanque y su función es para sacar muestras del líquido refrigerante (en caso del pyranol o ascarel, dicha válvula va en la parte superior del tanque ya que el agua es más liviana que estos elementos).

VÁLVULA DE DRENAJE.- Esta válvula tiene la función de que por alguna causa se tenga que vaciar el líquido refrigerante, se desaloje por este conducto y va ubicada en la parte inferior del tanque.

VÁLVULA DE ALIVIO.- Esta válvula tiene la función de operar cuando por alguna causa aumente la presión en el interior del tanque, ya sea por trabajo normal o por falla en el interior del tanque, ya sea por trabajo normal o por

falla de corto circuito y para transformadores tipo distribución su operación debe de ser a 0.35 kg/cm^2 . Todos los transformadores tendrán estarcido el dato de su capacidad nominal este dato debe aparecer en el tanque, cerca de las boquillas de baja tensión, con letras y números no menores de 65 mm. de altura y pintado con color que contraste con el transformador.

CAMBIADOR DE DERIVACIONES.- Este elemento se emplea para seccionar el devanado, regularmente está instalado en el lado de alta tensión. En transformadores tipo distribución puede estar contenido en el conjunto interior del tanque o bien en el exterior.

Dependiendo de la calidad de los elementos se puede operar con carga o totalmente desenergizado el transformador.

NOTA.- Los transformadores de distribución de 225 a 500 KVA vienen provistos de conexiones para filtro prensa superior e inferior esto se logra dotando de conductos de ventilación a los devanados, aumentando las dimensiones de radiación del tanque y adicionando elementos que ayuden a la rápida disipación de calor.

Los refrigerantes más empleados, son: el aire, líquidos dieléctricos no inflamables (aceite, ascarel, pyranol), silicón, agua en toberas.

ACCESORIOS

BOQUILLAS.- De alta tensión y baja tensión, dichos elementos son fabricados de porcelana y tienen mordazas de conexión. En el caso de al alta tensión

constan de un elemento, que se llama cuerno de arqueo, el cual permite en caso de saturaciones, producto de un campo eléctrico, descargar los elementos de conexión ya que éste estará a una distancia aproximada al tanque el cual estará sólidamente conectado a tierra.

PLACA DE DATOS.- En ella se anotan las características fundamentales de construcción del transformador y que son las siguientes:

Marca, tipo de enfriamiento, capacidad, tensión de operación, frecuencia, derivaciones, conexiones, sobre elevación de temperatura, impedancia, peso de conjunto interior (núcleo y bobinas), litros de refrigerante, peso de tanque, peso total, número de serie, nivel básico de impulso, fecha de fabricación, operación del cambiador de derivaciones.

En caso de solicitarle al fabricante se le pueden instalar el indicador de temperatura, que como su nombre lo indica nos dará la temperatura interna del transformador, indicador de presión el cual tendrá la función de registrar la presión interna en el transformador.

C) CLASIFICACIÓN

POR EL NÚMERO DE FASES.- Los transformadores pueden ser monogásicos, trifásicos y polifásicos.

los transformadores tipo distribución monofásicos frecuentemente se encuentran conectados en serie-paralelo por el lado de baja tensión, siendo los tipos poste los que

presentan esta característica.

En conexiones trifásicas los transformadores de distribución más usuales son los de conexión delta-estrella.

En lo que respecta a las conexiones polifásicas es muy raro encontrar un transformador con estas características ya que se requieren diseños especiales para este tipo de conexiones. (Doble estrella, la t-t, la scot, zig-zag, etc.)

POR LA FORMA DEL NÚCLEO

NÚCLEO ACORAZADO.- El cual consta de una columna central, piernas laterales, yugos o cabeceras superior e inferior. Por su forma entre los espacios de la columna central y las piernas recibe el mencionado espacio el nombre de ventana. Fig.

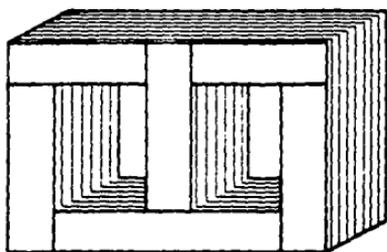
2 (a)

NÚCLEO DEVANADO O ENROLLADO.- Para la construcción de este tipo de núcleo, se cortan las laminaciones de acero al silicio de tal forma que envuelvan o enrollen a la bobina del transformador. Fig. 2 (b)

En lo que respecta a estos dos tipos de núcleos, el tipo devanado presenta mejor eficiencia que el tipo acorazado ya que el flujo magnético será más uniforme por el tipo de su construcción.

En cuestión de costos el tipo acorazado es más barato ya que se emplea menos material además de que su ensamble es más sencillo y rápido de efectuar. Fig.

g) NUCLEO TIPO ACORAZADO



b) NUCLEO TIPO DE DEVANADO

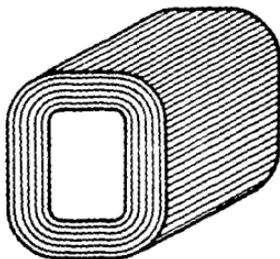


FIGURA No. 2.- TIPOS DE NUCLEOS

No. 3

POR SU REFRIGERACIÓN.- Para el transformador tipo distribución se emplean dos clasificaciones que están en función de la disipación del calor que contiene el transformador bajo condiciones de operación y que son:

Tipo OA.- Transformadores sumergidos en aceite por refrigeración natural de aire.

Tipo OA/FA.- Transformador sumergido en aceite con enfriamiento propio, por medio de aire forzado, es básicamente un transformador tipo OA de mayor capacidad.

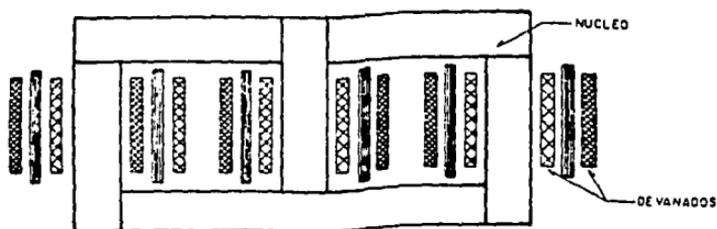
Este tipo de ventilación forzada tiene la ventaja de aumentar de un 20 a un 35% la capacidad del transformador, ya que al disipar la temperatura del mismo es posible dar el incremento de carga señalado anteriormente.

POR SU OPERACIÓN.- Para este caso particular el transformador tipo distribución es normalmente empleado en las líneas de las compañías suministradoras de energía eléctrica para las siguientes tensiones:

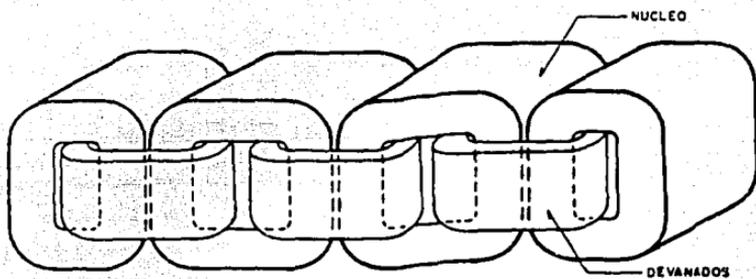
23,000 - 20,000 - 13,200 volts por el lado de alta tensión.

440/254 - 220/127 (Para el caso trifásico), 440/220 - 220/110 Volts (Sistema monofásico) para el lado de baja tensión.

POR SU UTILIZACIÓN.- Pueden ser: de línea, elevadores, reductores de potencia constante y de corriente constante.



TRANSFORMADOR TIPO COLUMNA



TRANSFORMADOR TIPO DEVANADO

FIGURA No. 3.- TIPO DE TRANSFORMADOR SEGUN SU NUCLEO.

EN FUNCIÓN DE LOS LUGARES DE INSTALACIÓN

TIPO POSTE.- Estos transformadores están diseñados específicamente para aplicaciones donde la distribución de energía sea aérea. La aplicación convencional de este tipo de transformadores es en la distribución eléctrica urbana, rural o industrial.

TIPO SUBESTACIÓN.- Este tipo de unidades tiene su aplicación principal en edificios comerciales, hoteles, hospitales, pequeña y mediana industria, etcétera.

Y en aquellos lugares donde la instalación del transformador sea una estación interior o intemperie sobre el piso.

TIPO PEDESTAL.- Son unidades diseñadas para la distribución subterránea comercial o residencial de energía eléctrica, por sus características técnicas se pueden considerar el transformador más confiable y versátil que existe en la distribución ya que es autoprotegido y su gabinete es hermético y además de fácil manejo.

TIPO BÓVEDA O SUMERGIBLE.- Este tipo de transformador encuentra su utilización en redes subterráneas y en la mayoría de las veces es herméticamente sellado ya que está expuesto a cambios climatológicos y a polvo que proviene del medio ambiente. Un alto riesgo es que por el lugar en que se encuentra instalado puede quedar sumergido en agua producto de una inundación.

CONEXIONES DE TRANSFORMADORES MÁS COMUNES

Anteriormente se ha señalado que es posible conectar las terminales de la bobina de un transformador en varias formas, ya sea en forma monofásica, trifásica o

polifásica. Antes de analizar este tipo de conexiones se tratará el tema de la construcción de la bobina monofásica y partiendo de este principio se llegará a una conexión trifásica siendo, estas dos conexiones las más empleadas en transformadores tipo distribución. Para lo cual nos basaremos en un ejemplo:

Se tiene un transformador con los siguientes datos de placa:

Tipo OA-75 KVA - 13200 V - 220/110 V-60 HZ 1Ø conexión 2/2±

POSICIÓN	TENSIÓN (ALTA TENSIÓN)	TENSIÓN (BAJA TENSIÓN)
1	13868 Volts	
2	13530 Volts	220/110 Volts
3	13200 Volts	
4	12870 Volts	
5	12548 Volts	

De acuerdo a los datos de placa se nos indica que el voltaje nominal del lado de alta tensión es de 13200 volts y que además este transformador tiene un cambiador de derivaciones 2/2, esto nos indica conforme a norma que se tendrán dos valores menores que ésta. La Comisión Federal de Electricidad y la Compañía de Luz y Fuerza (en liquidación) que son los principales compradores de transformadores tipo distribución, solicitan que entre derivación y derivación exista el 2.5% arriba y abajo de la tensión nominal.

El diagrama representado en la figura 4 nos representa tanto a la bobina de alta tensión como a la de baja tensión señalando los rangos de operación

conforme a los datos de placa. Se puede decir que los fabricantes de transformadores construyen las bobinas de alta tensión seccionadas sacando puntas o derivaciones que van conectadas a los bornes del cambiador de derivaciones estas conexiones estarán en función del voltaje de operación con que se alimenta el transformador.

Debe hacerse hincapié que el cambiador de derivaciones se instala por el lado de alta tensión con la finalidad de regular el voltaje de entrada permitiendo con ello que a la salida del transformador tengamos una tensión constante.

De acuerdo a esta representación se puede ver claramente que para lograr la regulación del 100% de la bobina se seccionará en cuatro partes y cada una de ellas será del 2.5%, por lo que la regulación se consigue restándole a la bobina el 10% de sus espiras. Del cambiador de derivaciones se puede decir que en su generalidad para el transformador tipo distribución son de operación mecánica (manual) y sin carga (desenergizado el sistema), comúnmente está localizado en el interior del tanque por lo que para su operación se requiere retirar la tapa de agujero de mano teniendo la precaución de no introducir la mano en el líquido refrigerante. También existen cambiadores que se encuentran instalados exteriormente en el tanque, en ambos casos se nos indica el sentido de giro de la manivela para la selección de la posición.

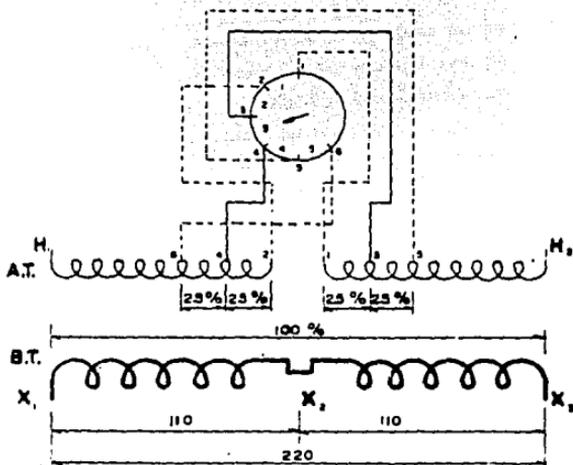
Partiendo del principio de que se tienen tres transformadores monofásicos es posible lograr una conexión trifásica figura 5a.

Se analizará la conexión más usual y que se utiliza siempre de referencia para realizar los cálculos teóricos y que es la conexión delta-estrella figura 5b

En la figura 6(A) se representa el diagrama vectorial de un transformador

PLACA DE DATOS

POSICION	TENSION EN A.T.	TENSION EN B.T.	CONEXION
1	13 868	220/110	1 CON 2
2	13 520		2 CON 3
3	13 200		3 CON 4
4	12 870		4 CON 5
5	12 548		5 CON 6



REPRESENTACION EN POSICION DE VOLTAJE NOMINAL DEL CAMBIADOR DE DERIVACIONES

FIGURA No. 4.

conectado en delta-estrella en vacío.

Para realizar el diagrama vectorial en el caso de la conexión que se está analizando se considera un factor de potencia unitario por lo que las corrientes y las tensiones estarán en fase, figura 6b.

En base al análisis anterior se pueden realizar las siguientes conexiones:

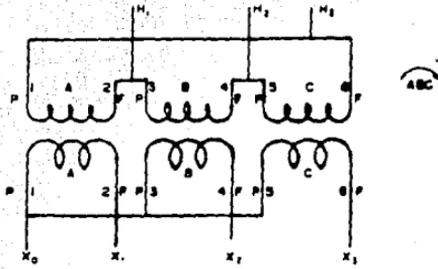
conexión	delta - delta
conexión	estrella - delta
conexión	delta - estrella
conexión	estrella - estrella

La conexión delta-delta es la que presenta las mayores ventajas en un transformador trifásico formado por tres transformadores monofásicos. Esto es debido a que cuando uno de los transformadores requiere ser reparado o tiene que recibir mantenimiento esto se puede realizar sin dejar de suministrar energía al sistema que alimenta, funcionando dicho banco con los otros dos transformadores pero con un rango de capacidad reducido a un 58% de la capacidad total del banco de transformadores trifásicos original.

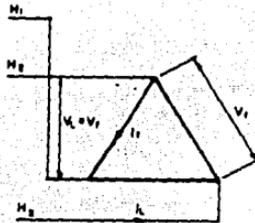
Esta conexión se le conoce como conexión delta abierta o conexión "V". La conexión estrella-delta, comúnmente es usada en un transformador reductor de un alto voltaje a un medio o bajo voltaje.

La razón original para usar esta conexión es que se cuenta con el neutro para

FIGURA No 5 - CONEXION TRIFASICA DE TRANSFORMADOR EN DELTA ESTRELLA



(a)



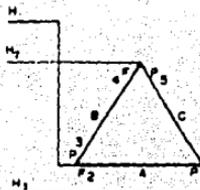
$$V_L = \sqrt{3} V_f$$

PARA LA CONEXION DELTA

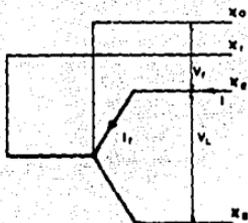
$$I_L = \sqrt{3} I_f$$

DONDE: I_f = CORRIENTE DE FASE
 I_L = CORRIENTE DE LINEA

ES MONOFASICOS



(a)



PARA LA CONEXION ESTRELLA

$$V_L = \sqrt{3} V_f ; I_L = I_f$$

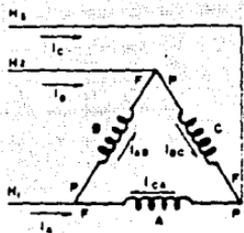
V_f = VOLTAGE DE FASE

V_L = VOLTAGE DE LINEA

106

FALLA DE ORIGEN

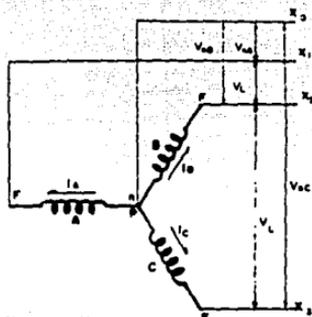
FIGURA No. 6 - DIAGRAMA VECTORIAL DE UN TRANSFORMADOR CONECTADO EN DELTA-ESTRELLA EN VACIO.



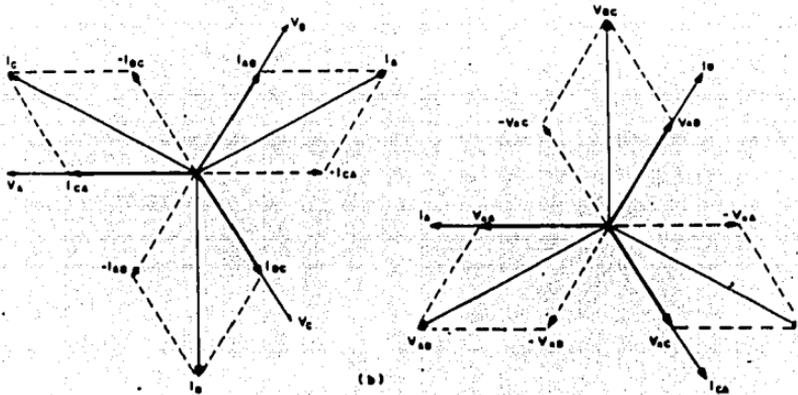
$$\begin{aligned} I_a &= I_{0a} - I_{c0} \\ I_b &= I_{0b} - I_{a0} \\ I_c &= I_{0c} - I_{b0} \end{aligned}$$

(b)

(a)



$$\begin{aligned} V_L &= V_{ab} = V_{bc} = V_{ca} \\ V_{bc} &= V_{ab} - V_{ac} \\ V_{ca} &= V_{bc} - V_{ab} \end{aligned}$$



FALLA DE ORIGEN

poder aterrizar el lado de alta tensión.

La conexión delta-estrella es generalmente usada en transformador elevador de un bajo o medio voltaje a un alto voltaje.

La conexión estrella-estrella es muy raramente usada porque origina muchos problemas el fenómeno de corriente de excitación.

En los transformadores monofásicos tipo distribución generalmente la bobina de baja tensión se construye seccionada con el propósito de hacer conexiones en serie o bien en paralelo.

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS.- Trata capacidad, tensión y corriente nominales, derivaciones, niveles de aislamiento, corrientes de excitación, impedancia, relación de transformación, regulación y sus tolerancias, polaridad desplazamiento angular, secuencia de fases y designación de terminales.

ESPECIFICACIONES TÉRMICAS.- Trata lo relacionado al límite de elevación de temperaturas para capacidades continuas.

ESPECIFICACIONES MECÁNICAS.- En este punto se contempla la construcción del tanque, agujero de mano, hermeticidad empaques, soportes para sujetar al poste, aditamentos para maniobras acabado y tornillería.

ESPECIFICACIONES PARA LOS ACCESORIOS.- Este punto trata el número de accesorios y la ubicación de los mismos en el transformador.

ESPECIFICACIONES DE CORTO CIRCUITO.- Trata lo relacionado con la capacidad que debe tener el transformador para soportar sin dañarse los esfuerzos mecánicos y térmicos provocados por un corto circuito.

ESPECIFICACIONES DE NIVEL DE RUIDO.- En este punto se contempla que el nivel de ruido no exceda los decibeles en el transformador cuando éste sea excitado a su tensión nominal.

D) DIFERENTES TIPOS DE PRUEBAS PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

1) Prueba de resistencia de aislamiento

Finalidad de la prueba.- El propósito de esta prueba es determinar la calidad de los aislamientos que integran a las bobinas del transformador.

Esta prueba es demostrativa ya que se aplican tensiones relativamente bajas a comparación de las tensiones de trabajo del transformador.

Para la realización de esta prueba se emplea un instrumento llamado Megger. En el mercado Nacional existen Meggers de operación manual o bien de operación manual con adaptación para alimentación independiente o dual, también existe el Megger electrónico el cual tiene la característica de no tener manivela ni conexión independiente. Las lecturas que se tomen con el Megger estarán dada en Megaohms.

Conexión de prueba:

RANGOS DE OPERACION DEL MEGGER
TENSION DE PRUEBA

0-500 V.
0-1000 V.
0-2500 V.
0-5000 V.

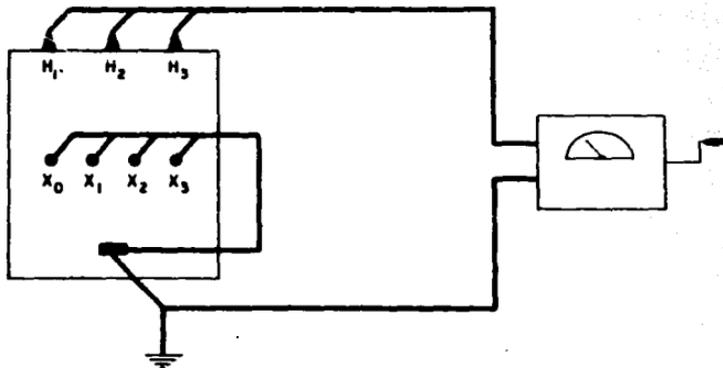


FIGURA No. 7.- MEDICION DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO CON MEGGER
AT. vs. BT. + TIERRA

Para la prueba se realizan las siguientes conexiones:

Baja tensión contra Alta tensión más tierra.

Alta tensión contra Baja tensión más tierra.

Baja tensión contra Alta tensión.

La figura No. 7 muestra las conexiones para medir la alta tensión contra baja tensión más tierra.

Si el transformador tiene cambiador de derivaciones la prueba se realiza en la posición 1 del cambiador, para así tomar el 100% de la bobina.

Resultados de prueba:

Existen dos criterios para determinar el estado de los aislamientos:

- 1.- Que por cada Megaohm de lectura deberá haber 1 Kilovolt de trabajo.
- 2.- Índice de polarización.- Esta prueba consiste en tomar diez lecturas, una cada minuto por lo que la prueba tendrá un tiempo de duración de 10 minutos.

Se toma como referencia la lectura del minuto diez ente la lectura del minuto uno, si el resultado de esta división nos da 2 o mayor que 2 se puede considerar que los aislamientos están en muy buen estado. Si el resultado es de 2 a 1.5 nos indica que a la bobina le ha penetrado poca humedad. Si el resultado es de 1.5 a 1, nos indica que la bobina del transformador contiene ya demasiada humedad. Si el resultado es 1 o menor que la unidad se tiene la plena certeza de que en poco tiempo el transformador

causará problemas.

Este criterio está basado en la experiencia que tienen tanto los fabricantes de transformadores como los compradores de los mismos.

R_{med} = Resistencia medida en ohms.

$R_{75^{\circ}C}$ = Resistencia corregida a temperatura de trabajo.
75°C

En el caso particular de la alta tensión y tomando en consideración que la mayoría de los transformadores tipo distribución cuentan con el cambiador de derivaciones se deberán tomar las lecturas indicadas en la tabla siguiente:

POS	CONEXIONES
1	$H_1 -H_2 \quad H_2 -H_3 \quad H_3 -H_1$
2	$H_1 -H_2 \quad H_2 -H_3 \quad H_3 -H_1$
3	$H_1 -H_2 \quad H_2 -H_3 \quad H_3 -H_1$
4	$H_1 -H_2 \quad H_2 -H_3 \quad H_3 -H_1$
5	$H_1 -H_2 \quad H_2 -H_3 \quad H_3 -H_1$

Se utilizará el mismo procedimiento y criterio que se empleó en el caso de la baja tensión, pero ahora tomando un promedio con respecto a las posiciones.

Para el caso de la prueba de temperatura ésta se realizará en la posición mínima del cambiador de derivaciones bajo el criterio de que en esta posición existirán menos devanados e la bobina, por lo tanto el transformador en esta posición bajo condiciones nominales tendrá su temperatura máxima y el puente se conectará en las

polaridades en las cuales se halla determinado el valor más bajo de resistencia. En caso de las conexiones trifásicas el valor de las resistencias medidas tanto del lado de alta tensión como de baja tensión y multiplicadas por sus respectivos valores de corriente elevadas al cuadrado nos dará lo que se conoce como efecto Joule. La ecuación anterior deberá ser multiplicada por un factor de 1.5 el cual se demuestra a continuación.

2) Prueba de resistencia ohmica

Finalidad de la prueba.- El propósito fundamental de esta prueba es medir el valor de la resistencia del conductor con el cual se construyeron las bobinas, verificando con ello que el transformador bajo prueba soportará correctamente las corrientes que circulen en los devanados, además de ello esto nos permite verificar la temperatura de trabajo para la cual fue diseñado el transformador.

Procedimiento de la prueba.- Debe aclararse que esta prueba se realiza considerando los acuerdos entre los principales constructores de transformadores tipo distribución y los compradores (Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A. en liquidación, Comisión Federal de Electricidad y Petróleos Mexicanos). La prueba es aplicada a los transformadores prototipo dicho en otras palabras a los transformadores de nuevo diseño.

Para efectuar esta prueba se emplea el puente de Wheatstone para valores de resistencia de un ohm o valores mayores, para valores menos de un ohm se emplea el puente de Kelvin. Las normas Nacionales traslapan valores de medición de ambos puentes, pero en la práctica y para tener una mayor precisión en los valores por medir

se emplea el criterio señalado anteriormente.

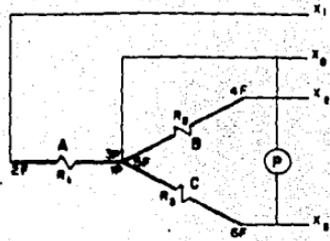
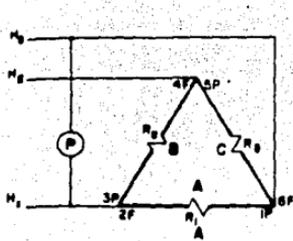
Al iniciar la prueba debe estar totalmente desconectado el transformador y no deberá existir conexión en ningún tipo de conductor a las terminales de baja tensión y de alta tensión. Esta prueba se realiza a la temperatura ambiente o como se dice en la práctica el transformador en frío. En el lado de alta tensión se mide la resistencia con el puente de Wheatstone y en el lado de baja tensión con el puente de Kelvin. Esto es porque el devanador de alta tensión está fabricado con un conductor delgado y muchas vueltas en el arrollador.

3) Prueba de rigidez dieléctrica

Finalidad de la prueba.- Someter a una diferencia de potencial al líquido refrigerante con el propósito de determinar sus características dieléctricas. Esta prueba se les realiza a todos los líquidos refrigerantes que emplean los fabricantes de transformadores; se recomienda que esta prueba se haga antes de entrar en operación cuando el transformador es nuevo.

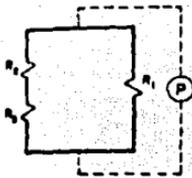
Los fabricantes recomiendan que esta prueba se repita periódicamente (una vez al año, cuando se da mantenimiento general a la subestación). Equipo empleado en la prueba.- El equipo que se emplea para realizar esta prueba consta de una copa que contiene dos electrodos circulares, los cuales pueden ser del tipo plano o semiesférico, la separación entre electrodos es de $2.5 + 0.01$ mm para electrodos planos y $1.0 + 0.3$ mm para electrodos planos y $1.0 + 0.03$ mm para electrodos semiesféricos, se debe tener la precaución de calibrarse correctamente antes de iniciar la prueba, en la

Esto se realiza y tiene su aplicación cuando el transformador se somete a prueba de temperatura:
 para conexiones trifásicas:



Caso de la delta

Si conectamos el puente en la posición H_1-H_3 de la delta el diagrama quedaría



R_{med} = Resistencia de medición

$$R_{med} = \frac{R_1 (R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Si $R = R_1 = R_2 = R_3$

entonces

$$R = \frac{3 R_{med}}{2}$$

Por definición el efecto Joule es igual a: Efecto Joule = $R I^2$

Para conexión delta se tiene que:

$$I_L = \sqrt{3} I_F \quad ; \quad I_F = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

$$R I^2 = \frac{3 R_{med}}{2} \left(\frac{I_L}{\sqrt{3}} \right)^2$$

$$R I^2 = \frac{R_{med}}{2} (I_L)^2$$

mencionada copa se deposita la muestra de aceite bajo prueba.

Consta además de un transformador excitado por una fuente variable de baja tensión de una capacidad y diseño adecuado para realizar esta prueba; un interruptor que protegerá a dicho transformador de la corriente que se presenta al momento del arco; un medidor de tensión o voltámetro de diseño apropiado para medir la tensión aplicada en el momento de ruptura del dieléctrico y un calibrador para verificar la separación entre electrodos. En la figura 8 se aprecia un esquema de este equipo y las dimensiones de los electrodos.

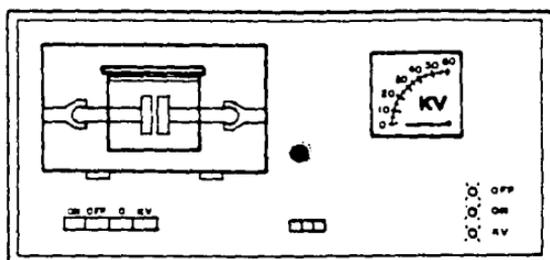
Esto se realiza y tiene su aplicación cuando el transformador se somete a prueba de temperatura:

Para conexiones trifásicas:

Caso de la delta

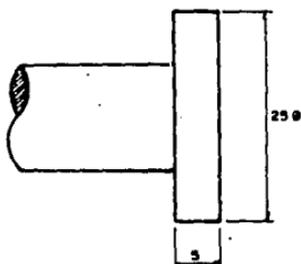
Si conectamos el puente en la posición $H_1 - H_2$ de la delta el diagrama quedaría

APARATO DE PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA



TIPO DE ELECTRODOS USADOS PARA PRUEBA DE RIGIDEZ DIELECTRICA

ELECTRODO PLANO



ELECTRODO SEMIESFERICO

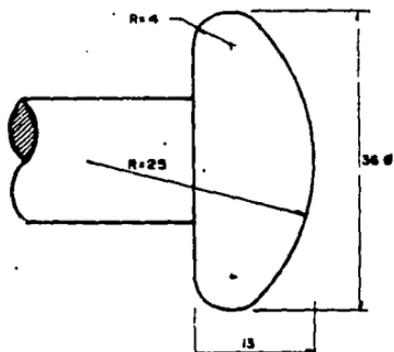


FIGURA No. 8

R_{med} = Resistencia de medición

$$R_{med} = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Si $R = R_1 = R_2 = R_3$

entonces

$$R = \frac{3 R_{med}}{2}$$

Por definición el efecto Joule es igual a: Efecto Joule = $R I^2$

Para conexión delta se tiene que:

$$I_L = \sqrt{3} I_f : I_f = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

$$R I^2 = \frac{3 R_{med}}{2} \left(\frac{I_L^2}{3} \right)$$

$$R I^2 = \frac{R_{med}}{2} (I_L^2)$$

Procedimiento de prueba.- Por la válvula de muestreo que se encuentra en la parte inferior del tanque del transformador es tomada la muestra del aceite a probar. Se recomienda usar un recipiente para obtener uno o dos litros de aceite que no serán usados como muestra y posteriormente se toma el aceite que será sometido a prueba.

Habiendo realizado esta operación inmediatamente se coloca la copa en el equipo probador de aceite. Dicha copa debió ser lavada con anterioridad con aceite limpio de transformador, gas Nafta o bien alcohol industrial.

Una vez colocada la copa con aceite en el equipo de prueba se esperan tres minutos antes de energizar el equipo; el esperar este tiempo permite que la estructura molecular del aceite se uniformice en el recipiente. Pasado este tiempo se energiza el regulador de voltaje al cual están conectados los electrodos de la copa. Se va incrementando la diferencia de potencial entre los contactos de la copa y se observa cuando salta el arco, que es cuando se produce la ruptura del aceite, tomando en ese momento la primera lectura. Se repite esta prueba en tres ocasiones a la misma muestra de aceite esperando ahora un minuto entre cada prueba.

Esto se hace con el objeto de determinar el valor promedio de la tensión que provocó el rompimiento del dieléctrico del aceite, el cual será un resultado final.

Resultado de prueba de recomendaciones.- Si el promedio de las lecturas tomadas es igual o mayor de 30 kilovolts se concluye que el líquido refrigerante está en muy estado ya que las normas Nacionales nos marcan como mínimo para esta prueba 30 kilovolts cuando se lleva a cabo con electrodos planos y a una separación de 2.5 + milímetros por lo que se espera una resistencia mayor y el devanado de baja tensión está fabricado con conductor grueso y pocas vueltas en el arrollamiento por lo que se espera una resistencia menor.

Normalmente por el lado de baja tensión se realizan las siguientes mediciones.

Terminal X1	contra	Terminal X2
Terminal X2	contra	Terminal X3
Terminal X3	contra	Terminal X1

Los valores tomados entre fases serán estadísticos y las lecturas tomadas

entre líneas será el que se emplee para pruebas sucesivas.

En la práctica varían los valores de estas resistencias principalmente por la falta de calidad de la mano de obra por lo tanto se tomará el promedio de las tres lecturas para determinar el valor de resistencia, por medio de un termómetro se tomará la temperatura ambiente y el valor de resistencia deberá corregirse a la temperatura que trabajará el transformador bajo condiciones de carga nominal y de acuerdo a la siguiente relación:

Factor de corrección para el cobre:

$$R_{med} = \left(\frac{234.5 + T}{234.5 + t} \right) = (R_{75^{\circ}C})$$

Factor de corrección para el aluminio:

$$R_{med} = \left(\frac{225 + T}{225 + t} \right) = (R_{75^{\circ}C})$$

Donde:

T = Temperatura a 75 grados centígrados

t = temperatura ambiente en grados centígrados

Como se realizan tres mediciones se tendrá que multiplicar por tres la ecuación.

$$RI^2 = \frac{3 R_{med} I_L^2}{2} = 1.5 (R_{med} I_L^2)$$

Para el caso de la conexión estrella. Si se conecta el puente en al posición

$X_1 - X_3$ de la estrella el diagrama quedará:

$$R_{med} = R_1 + R_3$$

Donde

$$R = R_1 + R_3$$

entonces

$$R = \frac{R_{med}}{2}$$

Si por definición el efecto joule es:

$$\text{efecto Joule} = RI^2$$

Para la conexión estrella se tiene que:

$$I_L = I_F$$

$$RI^2 = \frac{3 R_{med} I_L^2}{2}; RI = 1.5 R_{med} (I_L)^2$$

Finalmente para conexiones trifásicas la ecuación general será:

$$RI = 1.5 (R_{med. \quad I} + R_{med. \quad I})$$

A.T. L BT L

75°C 75°C

Fallas más frecuentes.- En transformadores nuevos con esta prueba se puede determinar además del valor de resistencia las siguientes fallas:

- Puntas abiertas en el cambiador de derivaciones (no se podrá determinar el valor de resistencias por medir)



$$R_{me} = R_1 + R_3$$

Donde

$$R = R_1 = R_3$$

entonces

$$R = \frac{R_{med}}{2}$$

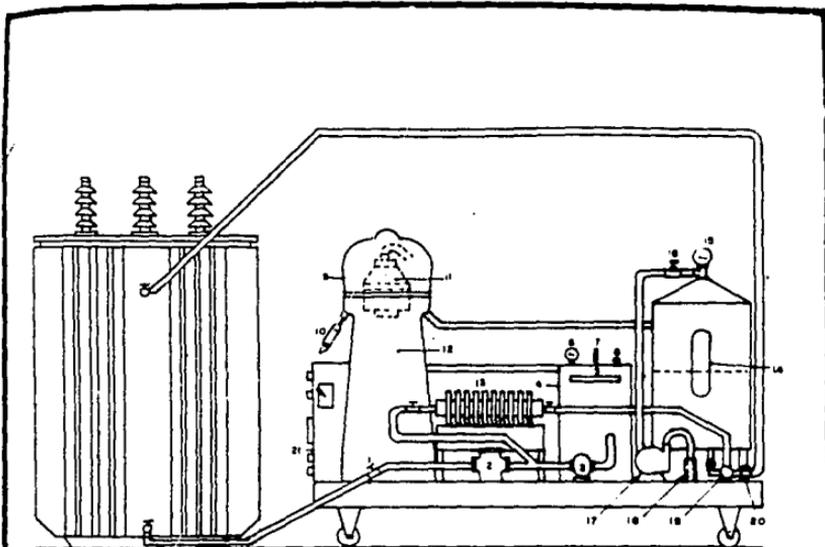
- Falsos contactos (por mala aplicación de soldadura, por falta de apriete en bornes de conexión; para este caso la aguja indicadora del galvanómetro no estabiliza).

0.01 mm (este método es llamado como el de la "copa normal")

La especificación que se tiene para electrodos semiesféricos con una separación de 1.0 ± 0.03 mm es de 20 KV como mínimo.

En el caso de la prueba con electrodos planos, cuando un aceite rompe a menos de 30 KV, debe procederse a su reacondicionamiento por medio de un filtro prensa y una bomba centrífuga para aceite o una unidad regeneradora de aceite al vacío, con el fin de eliminar humedad, aire, gases y sedimentos formando ácidos orgánicos que son producto de la oxidación del aceite y que atacan los aislamientos y se combinan con el propio aceite. En la figura No. 9 se muestra el esquema de una unidad regeneradora de aceite en vacío conectada a un transformador. En esta unidad el aceite es calentado a una temperatura tal (sin sobrecalentarse), para facilitar en la centrifugación la separación de impurezas que modifican las propiedades normales del aceite. Con el alto vacío se consigue la evaporación total de humedad y desgasificación y con la microfilmación se retienen los productos de oxidación y sedimentos.

Además la ventaja que presenta esta unidad regeneradora es que todo esto se puede hacer mientras el transformador está en operación y debido a que el aceite es recirculado simultáneamente absorbe humedad, gases y sedimentos del tanque, núcleo y devanados llevándolos a dicha unidad donde son desechados quedando limpios aceite y equipo.



**UNIDAD REGENERADORA DE ACEITE CONECTADA
A UN TRANSFORMADOR**

- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1.- VALVULA REGULADORA DEL FLUJO DE ENTRADA. | 11.- TAZON CENTRIFUGO. |
| 2.- COLADERA. | 12.- TANQUE DE VACIO. |
| 3.- BOMBA DE ENTRADA CON VALVULA DE BY-PASS. | 13.- UNIDAD FILTRO-PRENSA. |
| 4.- CALENTADOR ELECTRICO. | 14.- VENTANA. |
| 5.- TERMOSTATO. | 15.- MANOMETRO DE VACIO. |
| 6.- MANOMETRO DE PRESHON. | 16.- VALVULA REGULADORA DE VACIO. |
| 7.- TERMOMETRO. | 17.- BOMBA DE ALTO VACIO. |
| 8.- VALVULA DE SEGURIDAD. | 18.- CONDENSADOR. |
| 9.- PURIFICADORA DE VACIO. | 19.- BOMBA DE DESCARGA CON BY-PASS. |
| 10.- TUBO COLECTOR DE IMPUREZAS. | 20.- VALVULA REGULADORA DE SALIDA. |
| 21.- EQUIPO Y CONTROL ELECTRICO. | |

FIGURA No. 9

4) Prueba de factor de potencia del aceite

Finalidad de la prueba.- Esta prueba se realiza con el propósito de determinar contaminantes, humedad y productos que deterioren al conjunto interior del transformador.

Definición.- El factor de potencia del aceite aislante es la relación de potencia disipada en watts al producto del voltaje-corriente efectiva en volts-amperes cuando se prueba en un campo eléctrico alterno, se define, también como el coseno del ángulo de fase entre el voltaje de corriente alterna aplicado al aceite y la corriente resultante.

Equipo empleado en la prueba.- Este equipo recibe el mismo nombre de la prueba en la cual se aplica, en el mercado Nacional existe únicamente la marca "MEU" dicho equipo es de importación y por su alto costo son contados los laboratorios de prueba que lo tienen. Además como equipo adicional se debe tener un horno con la finalidad de elevar la temperatura del aceite bajo prueba ya que esta se realiza a 25 y a 100 grados centígrados.

La figura No. 10 representa el diagrama físico del medidor del factor de potencia del aceite.

Procedimiento de prueba.- Esta prueba por su alto costo se realiza normalmente a los transformadores nuevos, debe aclararse que se toma sólo una muestra de un lote aproximadamente de cincuenta transformadores; en caso de que el aceite presente contaminación el lote es rechazado, ya que esta falla se considera como crítica.

Se recomienda que en el mantenimiento anual a transformadores usados

MEDIDOR DE FACTOR DE POTENCIA DEL ACEITE

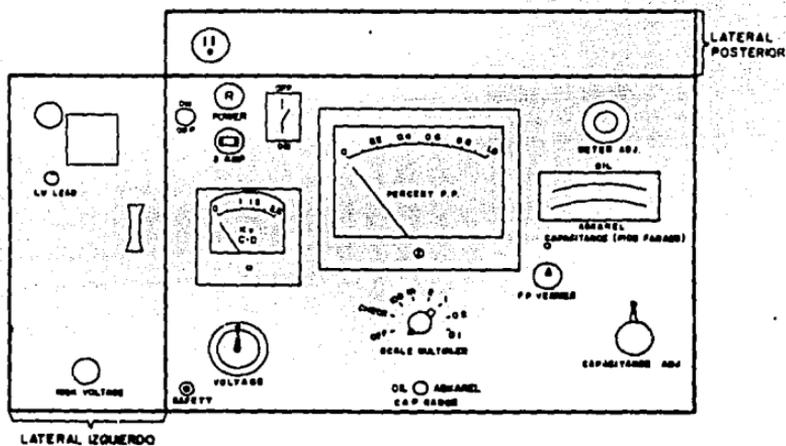


FIGURA No. 10

425 FALLA DE ORIGEN

se les realice esta prueba, puesto que en muchas ocasiones la experiencia a demostrado que el aceite pasa la prueba de rigidez dieléctrica pero es rechazado en la prueba de factor de potencia.

Para este caso particular se recomienda el cambio total del aceite y darle una limpieza con aceite nuevo al conjunto interior del transformador.

En transformadores terminados la muestra se extrae de la válvula de muestreo siguiendo el procedimiento que se empleó en la prueba de rigidez dieléctrica. La muestra se coloca en la celda de pruebas, la cual tiene marcado internamente el nivel que debe de contener del líquido a aprobar, con el propósito de que éste no se derrame a la hora de realizar la prueba.

Dicha celda de pruebas debe ser lavada con anterioridad a la prueba que puede ser con acetona o algún desengrasante teniendo el cuidado de que quede totalmente seca o sin desengrasante antes de depositar la muestra, esto se puede lograr horneando o sometiéndola a aire seco, si por algún descuido estuviera sucia no va a permitir la estabilización del galvanómetro que recibe la señal cuando se concluye la prueba.

Resultado de norma.- Para una temperatura de 25 grados centígrados deberá tener un factor de potencia igual a 0.05% máximo, todos los valores menores que el señalado por la norma nos indica que el dieléctrico está en buen estado (este valor de norma es para el aceite).

A una temperatura de 100 grados centígrados deberá tener un factor de potencia igual a 0.3% máximo al igual que en el caso anterior todos los valores menores que el indicado en la norma son de aprobación, los valores mayores a éste son

motivo de rechazo.

Como se ha mencionado esta prueba es indicativa de las impurezas que se dan en el conjunto interior del transformador, las causas principales entre otras son oxidación, partículas coloidales, partículas conductoras, carbón, barniz, madera y demás elementos aislantes que integran el conjunto interior del transformador.

A los fabricantes de transformadores se les exige esta prueba por medio del muestreo estadístico siendo motivo de rechazo si el aceite queda fuera de norma en cualquiera de las dos referencias ya sea a 25 o 100 grados centígrados.

En lo que respecta a mantenimiento preventivo, si el transformador sometido a esta prueba queda fuera de norma se recomienda el cambio total del aceite, además de darle una limpieza al conjunto interior del transformador (con aceite nuevo).

5) Prueba de punto de escurrimiento del aceite

Finalidad de la prueba.- Esta es una prueba normalizada que tiene por objeto establecer una de las características del aceite aislante (refrigerante) obtenido de la destilación fraccionada del petróleo crudo, para uso en equipo eléctrico con tensiones nominales hasta 400 kilovolts. La prueba consiste en determinar la temperatura más baja a la cual el dieléctrico (aceite) fluye en el recipiente que lo contiene, cuando aún se observa dicho movimiento del aceite se considera como punto o temperatura de escurrimiento. Esta característica es importante en climas fríos porque se puede conocer la temperatura más fría del aceite sin perjudicar la circulación del mismo, es decir la cantidad de parafinas del aceite tienden a solidificarse a bajas

temperaturas. Esta prueba es también importante para climas tropicales como indicativo de la cantidad de parafinas existentes en el aceite, dado que si se presentan en grandes cantidades pueden producir huecos, lo que podría originar la formación del efecto corona.

Equipo empleado.- Recipiente de prueba de vidrio transparente en forma cilíndrica, con marca que indique límite de la muestra, un tapón de corcho para el recipiente de prueba con perforación en el centro para colocar termómetro adecuado. Una camisa metálica o de vidrio con un disco de corcho colocado en el fondo de ésta. Un anillo de corcho o fieltro para separar el recipiente de prueba que se introduce en la camisa y un baño enfriador.

Procedimiento.- Se llena el recipiente de prueba hasta la marca, tapando el recipiente y colocando el termómetro 3 milímetros abajo de la superficie del aceite. Se calienta el aceite a una temperatura de 46 grados centígrados y después se enfría a 25 grados centígrados con el baño, se coloca el recipiente en la camisa, ahora se baja la temperatura del recipiente a 10 grados centígrados y posteriormente a 7 grados centígrados hasta que llegue a -20 grados centígrados (aquí empieza la cristalización de la parafina). Las observaciones se empiezan a realizar a 12 grados centígrados arriba de la temperatura de escurrimiento esperada, esta observación se hace sacando el recipiente de la camisa e inclinandolo en forma horizontal para ver si existe movimiento del aceite, esta operación se realiza con mucho cuidado y no debe pasar de 3 segundos, de ahí en adelante la prueba se realiza cada 3 grados centígrados hasta que el aceite no se mueva durante 5 segundos manteniendo el recipiente en forma horizontal en ese momento la prueba termina y el punto de escurrimiento se encuentra

restando 3 grados centígrados del valor de la prueba.

Resultados de prueba.- Para esta prueba la norma marca que el punto de escurrimiento del aceite debe ser a $- 26^{\circ}$ C como mínimo.

6) Prueba de polaridad y relación de transformación

Este tema de polaridad y de relación de transformación aunque están íntimamente relacionados, el sustentante tratará en primera instancia de hacer un análisis separado de cada tema para finalmente relacionarlos entre sí y dar las conclusiones al respecto.

Polaridad.- Se entiende por polaridad a la referencia que se toma de entrada de corriente en un devanado, tomando como principio fundamental la ley de Lenz y la regla de la mano derecha.

Las marcas de polaridad en transformadores está normalizada, usando la simbología de $H_0, H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$ Para la alta tensión y $X_0, X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ para la baja tensión. Si el transformador tiene conexiones especiales en los datos de placa se debe especificar la simbología que normalmente puede ser $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$. Esto último es única y exclusivamente para casos muy especiales, por lo que es muy raro en transformadores tipo distribución encontrar dicha simbología.

Principio fundamental.- En la figura 11 se representa el caso en el cual convencionalmente se toma la dirección de la corriente y aplicando la regla de la mano derecha se puede observar que el flujo del devanado de la pierna de alta tensión será opuesto al flujo del devanado de la pierna de baja tensión. En este caso se

considera que por esta opuestos los flujos la polaridad es sustractiva.

En el transformador físicamente esto se representa cuando las terminales de la alta tensión H_1 , H_2 están lineales con respecto a X_1 , X_2 .

En la figura 12 tomando las mismas consideraciones que en el caso anterior, pero cambiando la disposición del arreglo de la bobina de baja tensión, podemos comprobar que los flujos se están sumando, por lo que la polaridad se considera aditiva.

Físicamente en el transformador las terminales de alta tensión H_1 , H_2 estarán con respecto a las de baja tensión X_1 , X_2 , en cruz.

Procedimiento de prueba.- Esta prueba se realiza por diferentes métodos, que son: transformador patrón, impulso inductivo con corriente directa, y prueba con tensión alterna. En la práctica se emplea siempre el método del transformador patrón (TTR) por lo que a continuación se darán las características del mencionado equipo.

El transformador patrón consta de: tres indicadores que son: 1 Amperímetro (indica corriente de excitación de prueba), 1 voltímetro (indica tensión de prueba) y 1 galvanómetro (indicador de cero el cual se deflexiona hacia la izquierda o a la derecha dependiendo del análisis comparativo entre el transformador patrón y el transformado bajo prueba). Cuatro indicadores (mirillas), las cuales de izquierda a derecha tienen los rangos de 0 a 12, 0 a 9, que nos indican los números enteros, físicamente el instrumento tiene un punto que representa los valores decimales los cuales tendrán el rango de 0 a 9 y 0 a 99. Estos valores se logran por medio de la operación

PRINCIPIO FUNDAMENTAL DE POLARIDAD DE UN TRANSFORMADOR

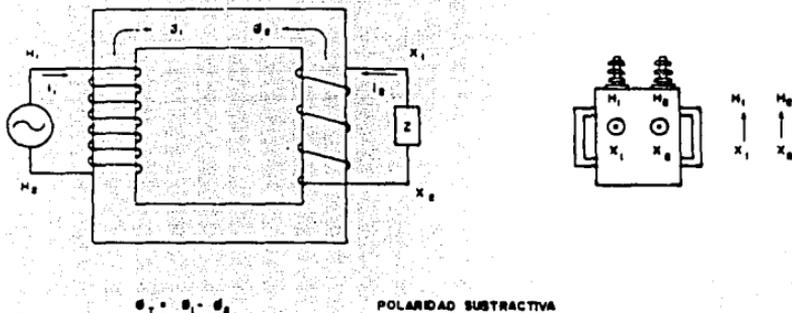
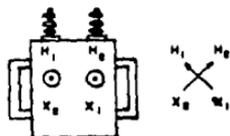
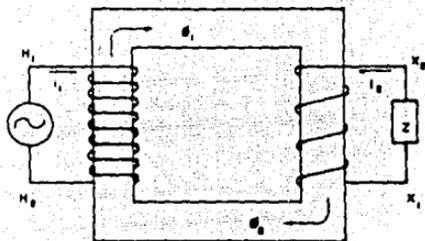


FIGURA No- 11



$$\Phi_1 \cdot \Phi_2 = \Phi_1 \cdot \Phi_2$$

POLARIDAD ADITIVA

FIGURA No- 12

mecánica de unas perillas selectoras (una por mirilla).

Del transformador patrón hacia el exterior salen cuatro puntas de conexión, con sus marcas de polaridad cada una (rojo y negro). Las características físicas se dan en que los conductores que se emplean para la baja tensión son más gruesos que los que se emplean para la alta tensión, además que los dispositivos de conexión son totalmente diferentes. Cuenta con una manivela la cual excitará al generador para alcanzar el voltaje de prueba.

Secuencia de conexión.- Antes de iniciar la prueba se debe verificar la calibración del transformador patrón, el fabricante de este equipo indica en su instructivo de manejo que se debe realizar la siguiente operación:

Las marcas de polaridad rojas se deberán cortocircuitar entre ellas, haciendo la misma operación con la polaridad negra y estando separadas entre sí. Antes de operar el equipo, se debe verificar el ajuste mecánico de los indicadores hecho esto se pone una relación igual a la unidad (01.00), se procede a girar la manivela hasta alcanzar los 8 volts de prueba, en ese instante la aguja del indicador de cero deberá estar exactamente en la posición cero de no ser así, esto indica que el equipo patrón está descalibrado. Siguiendo el mismo procedimiento se efectúa la operación para determinar la siguiente relación 0.999. Cuando se tiene el voltaje de prueba al igual que el caso anterior, el indicador de cero deberá estar en la posición cero, de no ser así, se concluye al igual que en el caso anterior.

Ejemplo

Tenemos un transformador trifásico con los siguientes datos:

Tipo: OA - 112.5KVA - 13200 - 220/127 volts - 2/2 conexión delta-estrella.

POSICIÓN DESVIADOR	ALTA TENSIÓN	BAJA TENSIÓN	RELACIÓN
1	13860	220/127	109.33
2	13530	220/127	106.535
3	13200	220/127	103.937
4	12870	220/127	101.338
5	12540	220/127	98.661

En un transformador ideal la potencia de entrada es igual a la de salida:

$$KVA_1 = KVA_2 \quad \text{como} \quad KVA = V_1 I_1$$

Sustituyendo

$$(V_1) (I_1) = V_2 I_2 \quad \text{despejando:}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \text{relación de transformación.}$$

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2}$$

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{13200}{127} = 103.937$$

En la figura 13 se muestran las conexiones de las puntas de prueba del TTR para medir relación de transformación entre los devanados primario y secundario de la pierna "C" de un transformador trifásico.

Se recomienda que antes de iniciar la prueba se calcule la relación esperada, además se debe recordar que el transformador bajo prueba no debe tener ninguna conexión exterior y deberá esta sin operación es decir, debe estar desenergizado.

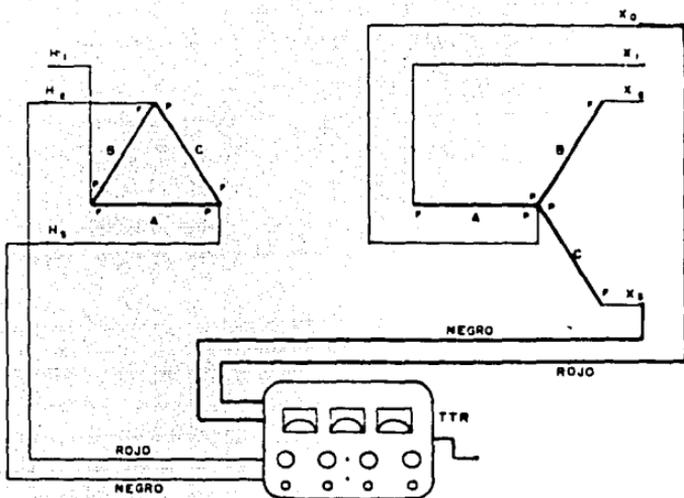
Las normas indican que entre la relación medida y la calculada no deberá existir una diferencia de $\pm 1\%$ entre derivación y derivación.

El transformador patrón permite realizar varias pruebas simultáneas, ya que además podemos probar:

Secuencia de fases, puntas abiertas, puntas invertidas, corto circuito entre espiras, falsos contactos y corrientes de excitación.

En conexiones trifásicas para el caso de la delta se toman como referencia el voltaje de la línea, para el caso de la conexión estrella se toma como referencia el voltaje de la fase, esto último se realiza única y exclusivamente para la medición de la relación de transformación por el método del transformador patrón.

Criterio para determinar fallas.- Para el caso de puntas abiertas que normalmente se dan por el lado de alta tensión, ya sea por mala mano de obra o en la transportación del transformador, ésta se detecta fácilmente con el transformador patrón, si es en las derivaciones por más que se mueva el selector jamás tendremos la relación



CONEXIONES PARA MEDIR RELACION DE TRANSFORMACION ENTRE DEVANADOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS DE LA PIERNAS "C" DE UN TRANSFORMADOR TRIFASICO.

TABLA DE CONEXIONES

A		B		C	
ROJO	NEGRO	ROJO	NEGRO	ROJO	NEGRO
X ₀	X ₁	X ₀	X ₂	X ₀	X ₃
H ₃	H ₁	H ₁	H ₂	H ₂	H ₃
ROJO	NEGRO	ROJO	NEGRO	ROJO	NEGRO

FIGURA No. 13

buscada, en el caso de que las guías de alta tensión sean las que estén abiertas, no será posible medirle relación para ninguna de las derivaciones.

El equipo se comportará con el voltaje de prueba de 8V, la corriente de excitación permanecerá siempre en cero, independientemente de que se varíen los selectores o no. Para corregir este tipo de falla, si una de las guías de alta tensión es la que está abierta ésta debe ser substituida, si falla se da en el cambiador de derivaciones, se debe localizar de antemano la conexión que esté abierta para proceder a soldar o a substituir. Si el cambiador y las guías están sumergidas en el líquido refrigerante, antes de corregir se deberá bajar el nivel para no contaminarlo.

Falsos contactos.- Esta falla en la planta se da por mala calidad en la mano de obra, normalmente en el cambiador de derivaciones, en campo se puede dar por carbonización en las conexiones. Esta falla se detecta con transformador patrón, cuando a pesar de haber localizado la relación calculada, el instrumento de cero no estabiliza (está oscilando). En planta esta falla se corrige revisando conexiones y soldando correctamente las terminales, en campo retirado el carbón que en los puntos de contacto o áreas de contacto lo contengan, teniendo la misma precaución que el caso anterior.

Puntas invertidas.- Esta falla normalmente se da en planta, es casi improbable encontrar un transformador con esta falla antes de instalarse en campo. Se presenta por mala mano de obra o por mala interpretación en los diagramas de conexión, esta falla casi siempre se determina en la línea de ensamble final y para su reparación se requiere únicamente modificar la forma de conexión.

Secuencia de fases.- Esta falla al igual que la anterior se dan en planta por mala mano de obra, pero por lo regular se da en transformadores trifásicos y se corrige de la misma forma que la anterior.

Corto circuito entre espiras.- Este tipo de falla normalmente se detecta en los transformadores que están operando y que por alguna causa se someten a fallas de corto circuito, con el transformador patrón es fácilmente detectable y el comportamiento del equipo es que la corriente de excitación tiende a infinito y el voltaje de prueba se vuelve cero, además que la manivela que va acoplada al generador se opone al giro, además el indicador de cero no estabiliza, por más que se varíen los selectores. En transformadores nuevos cuando estos fallan en pruebas destructivas también se les realiza la prueba del transformador patrón. Para este tipo de fallas que se puede clasificar como crítica, la única forma de reparar a los transformadores en planta o en taller de reparación. En los transformadores tipo distribución que son dañados por una falla de corto circuito normalmente ésta se da en el devanado de baja tensión ya que éste es el que alimenta a la carga y que generalmente es de donde proviene o donde se origina esta falla.

Corriente de excitación.- Este tipo de falla, se da por un mal diseño o por mala mano de obra, el transformador patrón en estos casos se comporta de la siguiente forma: la corriente de excitación es grande, el voltaje de prueba se genera con cierta dificultad, pero se alcanza el valor de la relación buscada, en planta se recomienda desensamblar el transformador y localizar los orígenes de falla (malas conexiones, defasamiento angular mal calculado) ya que es un hecho que en la prueba de alto potencial inducido el transportador falle.

En caso que el transformador a probar tenga la conexión delta estrella y las tensiones de operación de 23000/220-127V se debe cambiar el procedimiento de prueba ya que este equipo la relación máxima que mide es de 130.

Los procedimientos a seguir son por medio de la medición directa con el instrumento transformador patrón (la delta convencional contra la delta abierta) y el otro es empleando un transformador auxiliar. Por razones de costo del equipo a emplear en la prueba y por facilidad de manejo la más usual es la primera opción, la cual a continuación se describe tanto en conexiones como en secuencia de instalación del transformador patrón, con un ejemplo:

Se tiene un transformador con las siguientes características:

Tipo OA - 112.5KVA 23000/220-127 2/2 conexión delta-estrella.

Se calcula la relación de transformación en base a los datos de placa

$$a = \frac{23000}{127} = 181.102$$

Debido a que el transformador patrón sólo puede medir hasta una relación de 130 y de acuerdo al resultado anterior se observa que no es posible medir esta relación de transformación en la conexión normal delta estrella por lo que se utilizó el método de la delta convencional contra la delta abierta.

Se considera en la delta abierta una tensión en el secundario de 254 volts ya que para efectos de cálculo se suman las tensiones de fase de los dos devanados bajo prueba.

Para lograr esto en el transformador bajo prueba se conectan sólidamente a tierra el neutro y la fase libre en el secundario para que no se induzca tensión en este devanado, por lo que se considera que esta parte queda fuera del sistema.

Ahora la relación de transformación será la siguiente:

$$a = \frac{23000}{254} = 90.551$$

En estas condiciones el rango del transformador patrón es suficiente para poder medir dicha relación.

En base a lo anterior se toman las lecturas de la siguiente manera:

- a) Tenemos que para la fase A:

Tomando la siguiente lectura en el transformador patrón:

Negro

Terminal H₁

Contra

Rojo

Terminal H₂

Negro

Terminal X₁

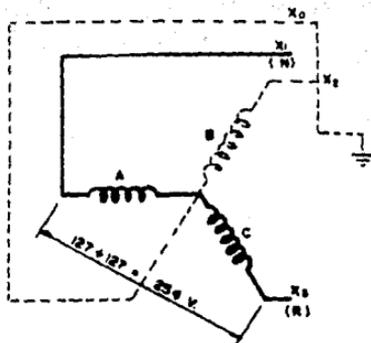
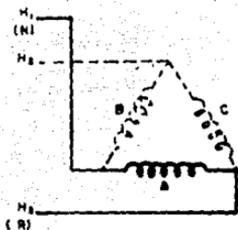
Contra

Rojo

Terminal X₂

440

FALLA DE ORIGEN



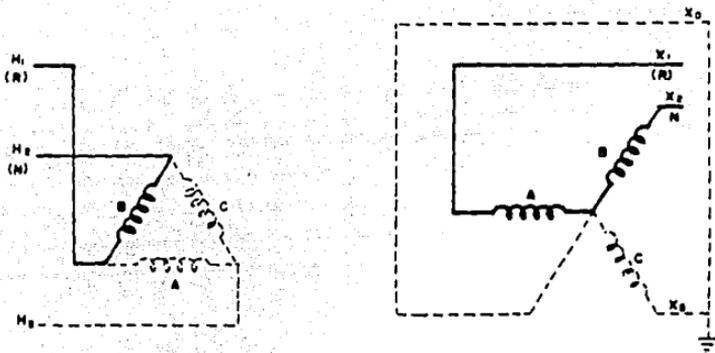
Tomando la siguiente lectura en el transformador patrón:

Negro		Rojo		Negro		Rojo
Terminal H ₁	Contra	Terminal H ₂	Terminal X ₁	Contra	Terminal X ₂	

b) Para la fase B:

Con la siguiente lectura:

Negro		Rojo	Negro		Rojo
Terminal H ₂	Contra	Terminal H ₁	Terminal X ₂	Contra	Terminal X ₁



Con las siguiente lectura:

Negro	Rozo	Negro	Rozo
Terminal H ₂	Contra Terminal H ₁	Terminal X ₂	Contra Terminal X ₁

e) Para la fase C:

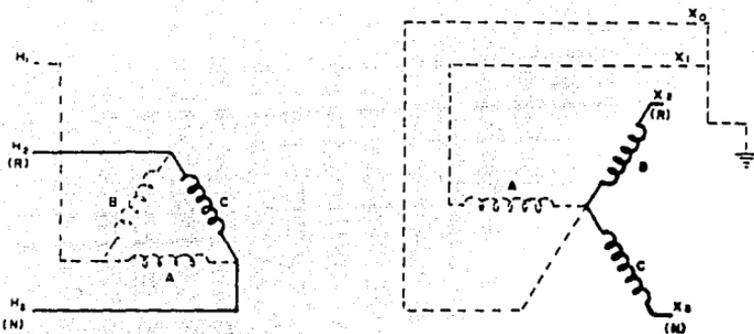
Con la siguiente lectura:

Negro		Rojo	Negro		Rojo
Terminal H ₁	Contra	Terminal H ₂	Terminal X ₃	Contra	Terminal X ₂

Nota: El transformador del ejemplo tiene un cambiador de derivaciones posición 2/2 por lo que la medición de la relación se hace para cada una de las posiciones siguiendo el mismo procedimiento anterior para cada fase.

Método del transformador patrón con transformador auxiliar.

Los fabricantes de transformadores tipo distribución, cuando se les presenta el problema del ejemplo anterior, utilizan un transformador auxiliar para medir la

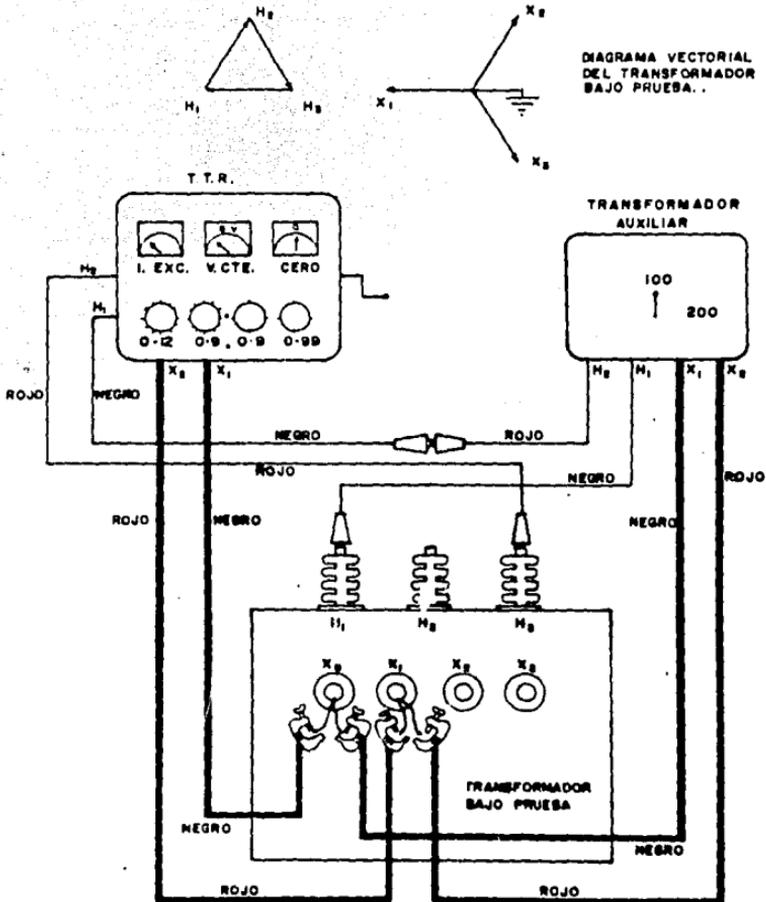


Con la siguiente lectura:

Negro	Rojo	Negro	Rojo
Terminal H_3	Contra Terminal H_2	Terminal X_3	Contra Terminal X_2

FIGURA No 14

DIAGRAMA DE CONEXION PARA MEDICION DE RELACION DE TRANSFORMACION MAYOR DE 130 POR EL METODO DEL TRANSFORMADOR PATRON CON TRANSFORMADOR AUXILIAR



relación de transformación. En el mercado nacional existen transformadores auxiliares con relación de 100:1 200:1 empleándose más frecuentemente el primero. Debe aclararse que dicho transformador auxiliar tiene un alto costo, ya que no son de fabricación nacional y a su vez son transformadores patrones.

En la figura 14 se representa el diagrama de conexiones del transformador patrón con el transformador auxiliar para este tipo de prueba.

Tomando como referencia que el transformador auxiliar es de relación 100:1 y si el transformador bajo prueba tiene una relación 23000/220-127 volts, la lectura que se espera tomar es de 181.102. Ya que el transformador auxiliar por su tipo de relación señalada es de 100, el transformador patrón tendrá una lectura de 81.102 dándonos un total de 181.102 de relación de transformación.

7) Prueba de potencia aplicado

La prueba de potencial aplicado es del tipo destructivo, ya que al aplicar una diferencia de potencial a los devanados, mayor que la de operación, con objeto de probarlos, se somete a sus aislamientos a esfuerzos dieléctricos mayores que los de operación. Por esta razón debe considerarse que entre mayor sea el número de veces que se le aplique esta prueba a un transformador, mayor será su probabilidad de falla.

Finalidad de la prueba.- Esta prueba sirve para probar los aislamientos entre devanados y los aislamientos entre devanados y tierra; y esto se logra sometiendo dichos aislamientos a un esfuerzo dieléctrico uniforme. Aplicándoles una tensión de prueba durante 1 minuto.

Secuencia de realización de la prueba.-

- 1.- Todas las terminales de un mismo devanado se cortocircuitan conectándolas entre sí.
- 2.- El devanado que se someterá a prueba se conecta a la línea del transformador de potencial de prueba.
- 3.- Los devanados restantes y la estructura del tanque se conectan a tierra.
- 4.- El voltaje de prueba se seleccionará de acuerdo con las normas oficiales vigentes y considerando la clase de aislamiento del devanado.
- 5.- Una vez seleccionado el valor de prueba (Vp), se aplicará el siguiente criterio de porcentajes de aplicación de dicho valor de prueba, acordado entre el fabricante y el comprador bajo la consideración que los transformadores en operación, han fallado y ahora han sido reparados.

	Potencial aplicado
Reconstrucción total (cambio total de bobinas)	100% Vp
Reconstrucción total (cambio bobinas de una fase)	75% Vp
Revisión (limpieza, ajuste, etc., sin cambio de bobina)	65% Vp

Vp = Valor de prueba obtenido de la tabla No. 1

- 6.- Aplicación de la tensión.- Esta deberá hacerse empezando desde cero o máximo un cuarto del voltaje pleno de prueba, y se incrementará hasta alcanzar

el voltaje de prueba.

7.- Después de alcanzar el valor de prueba, se sostiene ésta durante 1 minuto.

8.- Transcurrido este tiempo, se disminuye el voltaje hasta un cuarto o menos del voltaje de prueba, para desconectar el circuito de prueba.

Equipo de prueba

Para realización de esta prueba se cuenta con el siguiente equipo:

a) Un regulador de voltaje Westinghouse Electric

50 kw 1 fase 60 ciclos
440 voltaje primario 114 ampers secundario
100 % de regulación

b) Un transformador de potencial Balteau tipo TE-4, 6 número 6753/1, normas ANSI.

Tensión primaria 44000 volts-relación 400:1

Nivel básico de impulso 250 KV frecuencia 60 hz

Clase de aislamiento 46 KV carga terminal 4000 Va

Precisión	W	X	Y	Z
Clase	0.3	0.3	0.3	0.3

TABLA No. 1

CLASE DE AISLAMIENTO	VALOR DE PRUEBA A BAJA FRECUENCIA (60 HZ)	
	EN ACEITE K V	SECOS K V
1.2	10	4
5	19	12
8.7	26	19
15	34	31
25	50	
34.5	70	
46	95	
69	140	

- c) Un interruptor 3 polos 200 amp. 220 volts, accionado manualmente con resortes para operación de cuchillas y fusibles.
- d) Un voltímetro Weston de carátula escala 0-150-300 volts corriente alterna tipo bobina móvil, precisión + 0.5% influencia de la frecuencia 0.2% (55 a 65 hz)
- e) 2 bornes para conexión del voltímetro en la mesa de pruebas.
- f) Una cuchilla 3 polos 1 tiro 100 amps. 250 volts.
- g) 2 cuchillas 1 polo 1 tiro 100 amps. 250 volts.

Diagrama de conexiones.

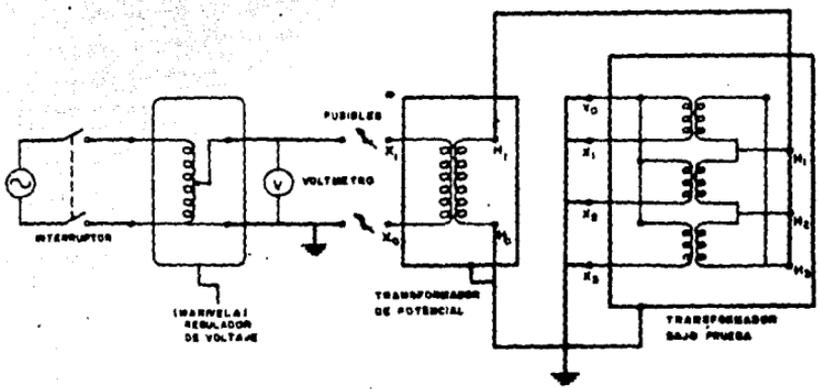
A) Potencial aplicado por alta tensión.

B) Potencial aplicado por baja tensión

- c) Un interruptor 3 polos 200 amp. 220 volts., accionado manualmente con resortes para operación de cuchillas y fusibles.
- d) Un voltmetro Weston de carátula escala 0-150-300 volts corriente-alterna tipo bobina móvil, precisión : 0.5% influencia de la frecuencia 0.2% (55 a 65 hz)
- e) 2 bornes para conexión del voltmetro en la mesa de pruebas.
- f) Una cuchilla 3 polos 1 tiro 100 amps. 250 volts.
- g) 2 cuchillas 1 polo 1 tiro 100 amps. 250 volts.

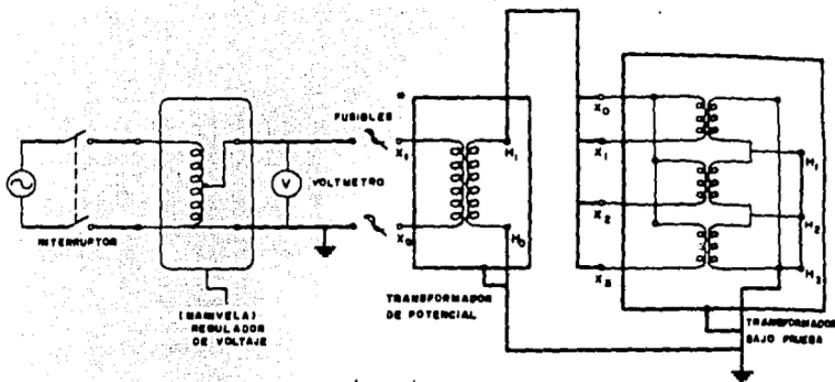
Diagrama de conexiones.

A) Potencial aplicado por alta tensión.



AL Vo. S.T. + TIERRA
 FIGURA No. 15

B) Potencial aplicado por baja tensión



BT. V₀ A.T. + TIERRA

FIGURA No. 16

Precauciones:

- 1.- Asegúrese de conectar todas las terminales y partes conductoras incluyendo el núcleo y el tanque a tierra la terminal de referencia -- del equipo de prueba.
- 2.- La conexión a tierra entre el transformador bajo prueba y el equipo de prueba deberá ser un circuito "firmemente conectado a tierra"
- 3.- No deberá colocarse ninguna resistencia de valor apreciable entre el equipo de prueba y el transformador que se vaya a probar.
- 4.- Antes de conectar el interruptor para realizar la prueba, deberán verificarse todas las conexiones, debiendo ser firmes.

Precauciones:

1.- Asegúrese de conectar todas las terminales y partes conductoras incluyendo el núcleo y el tanque a tierra la terminal de referencia del equipo de prueba.

2.- La conexión a tierra entre el transformador bajo prueba y el equipo de prueba deberá ser un circuito "firmemente conectado a tierra"

3.- No deberá colocarse ninguna resistencia de valor apreciable entre el equipo de prueba y el transformador que se vaya a probar.

4.- Antes de conectar el interruptor para realizar la prueba, deberán verificarse todas las conexiones, debiendo ser firmes.

5.- Revisar conexiones del cable de líneas al caimán y del caimán a la terminal que sujeta así como las interconexiones entre terminales. El desprendimiento de cable de línea durante la prueba podría energizar alguna parte metálica no considerada y causar un accidente.

6.- No permitir el movimiento, ni de grúa, equipo o personal en el cuadro de prueba durante la realización de esta prueba.

7.- Sustituir todos los conductores, que se sospechen defectuosos (algunos hilos de cable fracturados, etc.)

8.- Distancias mínimas. Recordar que el incremento de humedad ambiental tiende a disminuir las distancias dieléctricas en el aire. A continuación se da la

tabla 2 de distancias mínimas en el aire en condiciones ambientales de baja humedad; para humedad ambiental alta deberán aumentarse estas distancias:

Tabla No. 2 Distancias mínimas en aire

Voltaje de Operación (Volts)	Distancia mínima de un conductor a tierra (Pulgadas)		Distancia mínima entre conductores de potenciales opuestos (pulgadas)	
		(cm)		
1100	1 1/2	3.81	3 1/2	8.9
2300	2 3/4	7	4	10.2
4000	3	7.7	4 1/2	11.5
6500	3	7.7	4 1/2	11.5
7500	3 1/4	8.3	4 1/2	11.5
9000	3 1/2	8.9	4 1/2	11.5
11000	3 3/4	9.6	4 3/4	12.1
13200	4 1/4	10.8	5	12.7
15000	4 1/2	11.5	5 1/2	14
16500	5	12.7	6	15.3
18000	6	15.3	7	17.8
22000	7	17.8	9	22.9
26000	9	22.9	12	30.5

9.- La conexión de línea deberá estar totalmente aislada de tierra, ya que aún si es sostenida por cinta de algodón, o algún otro aislante de resistividad baja, y el potencial aplicado es alto, alguna corriente podría "arrastrarse" sobre la

superficie de la cinta hacia tierra, ocasionando una falla o un accidente.

10.- Es recomendable que el personal que opere las cuchillas y regulador de voltaje, lo haga sobre tarimas de madera y alejado de la malla de alambre que rodea el cuadro (conectada a tierra).

11.- Equipo de seguridad del personal.- Se deberá contar con zapatos de seguridad de suela aislante, guantes de carnaza, camisola fajada (para evitar tirones o enganches) pantalón y casco aislante (para eliminar el efecto de punta de la cabeza).

12.- Características del personal del cuadro de pruebas.- El principal acciona para evitar los riesgos eléctricos es:

"Pensar lo que se va hacer, antes de actuar"

Por lo que el personal del cuadro deberá ser ágil mentalmente, diestro y de conducta respetable para minimizar los riesgos de accidente.

Fallas más frecuentes.- En este tipo de prueba las fallas pueden ser por dos razones: por mal cálculo de Ingeniería de Diseño. Por una selección inadecuada de la calidad de los aislamientos o por cálculos indebidos en distancias cortas. Muchas veces esta falla se origina por la mala calidad de la mano de obra, dicho en otras palabras cuando los operarios no respetan las instrucciones dadas por Ingeniería de Diseño.

Fisicamente cuando el transformador se somete a esta prueba llega a fallar por distancias cortas entre las guías de la alta tensión del tanque, entre las guías del cambiador de derivaciones, entre bobina de alta tensión contra el tanque y la

más crítica que es entre bobina y bobina o entre bobina y núcleo frecuentemente cuando el líquido refrigerante es de mala calidad, ya que sus propiedades dieléctricas no son las adecuadas.

Se recomienda siempre efectuar primero las pruebas correspondientes al aceite antes de aplicarles esta prueba.

8) Prueba de potencial inducido

Finalidad de la prueba.- El propósito de esta prueba es determinar la calidad de los aislamientos de las bobinas que integran el transformador.

Esta prueba al igual que la anterior se clasifica como prueba destructiva ya que en caso de falla las bobinas materialmente se destruyen.

Secuencia de prueba.- Las normas nacionales nos indican que para esta prueba el transformador debe de soportar 7200 ciclos aplicándole dos veces su voltaje nominal. El tiempo de duración de la prueba estará en función del generador que se ocupe para alimentar el transformador bajo prueba. En el mercado nacional existen generadores con frecuencias de trabajo que se representa en la gráfica siguiente incluyendo para este caso particular el tiempo de prueba.

FRECUENCIA	TIEMPO DE PRUEBA
120	60 segundos
180	40 segundos
240	30 segundos
360	20 segundos
400	18 segundos

El tiempo de prueba se calcula por medio de la siguiente relación:

$$t = \frac{7200}{f \text{ frecuencia}}$$

Debe de recordarse que el transformador bajo prueba debe de estar sin conexiones exteriores por lo que esta prueba se hace en vacío. Se recomienda iniciar la prueba desde una tensión aproximadamente igual a cero y durante un tiempo de 15 segundos hasta alcanzar el voltaje de prueba, transcurrido el tiempo de prueba se emplearán 5 segundos para regresar a una tensión igual a cero.

Por facilidades de alimentación esta prueba se realiza normalmente por el lado de baja tensión.

DIAGRAMA DE CONEXIONES

MONOFÁSICO

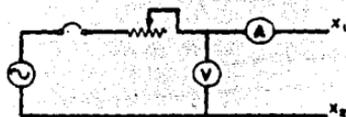
TRIFÁSICO

Tipos de falla.- Las fallas en esta prueba todas son del tipo críticas ya que se dan entre bobina y bobina, y entre bobina y núcleo.

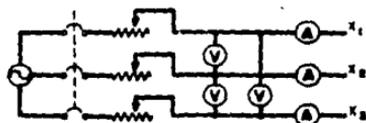
En la prueba de alto potencial aplicado como en la prueba de alto potencial inducido se deben de tomar el máximo de precauciones para el personal que realiza estas pruebas. Ya que las tensiones con las que se trabaja son muy grandes y en casos de descuido pueden originar la muerte a el personal que la realiza.

DIAGRAMA DE CONEXIONES

MONOFASICO



TRIFASICO.



9) Prueba de Medición de Pérdidas en el Núcleo y Corriente de Excitación.

Finalidad de la prueba.- Esta prueba tiene como objeto determinar las pérdidas en el núcleo y la corriente de excitación cuando el transformador está trabajando en vacío.

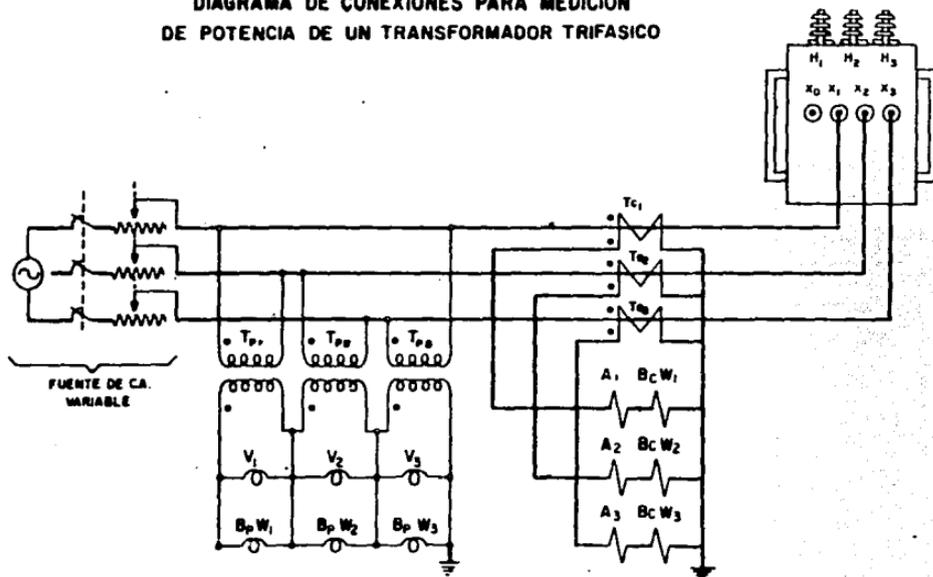
Procedimiento de prueba.- La prueba de pérdidas en el núcleo recibe dos nombres más que son: Prueba de vacío y Prueba de pérdidas de hierro. Los autores de libros de texto ocupan indistintamente cualquiera de los tres nombres.

El transformador bajo prueba deberá estar desconectado, estando totalmente libres, tanto las terminales de baja como las de alta tensión. La alimentación se da para voltaje nominal y frecuencia de trabajo, conforme a datos de placa. Esta prueba puede realizarse tanto del lado de baja tensión como del lado de alta tensión, pero por facilidades de alimentación de medición, ésta prueba se realiza normalmente por el lado de baja tensión.

Los parámetros a medir serán la corriente de excitación o de vacío y los watts de pérdidas o potencia que consume el núcleo al ser alimentado a voltaje nominal y estando el transformador en vacío.

Diagrama de conexiones.- Se recomienda iniciar la prueba desde un voltaje aproximadamente igual a cero, aumentar paulatinamente la tensión hasta llegar a voltaje nominal, simultáneamente, se deberán tomar lecturas tanto de corriente como de watts. La figura 17 nos representa el circuito de conexión para un

DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA MEDICION
DE POTENCIA DE UN TRANSFORMADOR TRIFASICO



SIMBOLOGIA

- T_p - TRANSFORMADOR DE POTENCIAL
- T_c - TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
- V - VOLTMETRO
- A - AMPERMETRO
- B_pW- BOBINA DE POTENCIAL DEL WATTMETRO
- B_cW- BOBINA DE CORRIENTE DEL WATTMETRO

FIGURA No. 17

transformador trifásico, ya que en las pruebas subsecuentes, se empleará el mismo circuito.

Debe aclararse que tanto los transformadores de potencial como los de corriente serán empleados conforme a las necesidades de prueba, pero si se esperan valores muy pequeños, se emplean transformadores de relación 1 a 1 (para no dañar los instrumentos por una posible falla).

En esta prueba, la selección de la escala para los amperímetros, debe ser del rango más pequeño, ya que el valor de la corriente de vacío (I_0) será pequeña y empleando este criterio, se tendrá mayor precisión.

En éstas notas se va a omitir tanto el diagrama vectorial como el circuito equivalente del transformador ideal, ya que prácticamente para el análisis del transformador real queda implícita la explicación del transformador ideal.

En la figura 18, se representa esquemáticamente un transformador bajo prueba de vacío.

Al aplicar un voltaje de alimentación V_{o1} , aparecerá instantáneamente una corriente I_0 (corriente de vacío), la cuál dará origen a un flujo propio en el devanado primario y éste a su vez, producto del núcleo, dará origen a un flujo máximo el cual unirá magnéticamente el lado primario con el lado secundario. Este flujo máximo originará en el lado primario una fuerza contraelectromotriz inducida (E_{o1} que se está oponiendo a la variación de flujo que la está originando), en el lado secundario aparecerá un FEM inducida (E_{o2} que será igual al voltaje secundario). Debe aclararse que si el lado primario está alimentado a voltaje nominal, del lado

REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UN TRANSFORMADOR
MONOFASICO BAJO PRUEBA EN VACIO

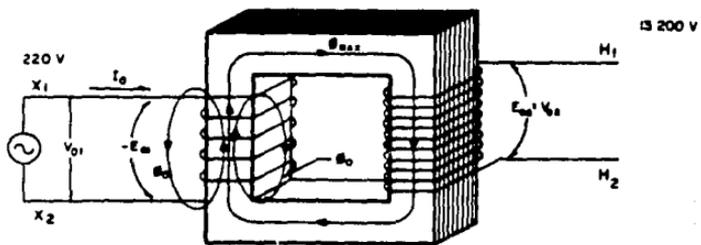


FIGURA No. 18

DIAGRAMA VECTORIAL COMPLETO DEL TRANSFORMADOR
MONOFASICO BAJO PRUEBA EN VACIO

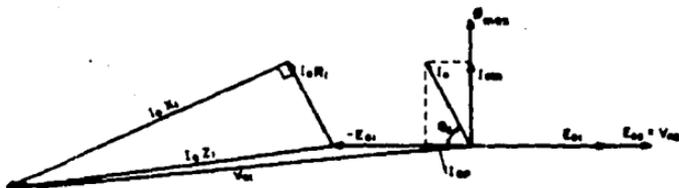


FIGURA No. 19

secundario, se tendrá entre terminales, también su voltaje nominal V_{o2} . Cumpliéndose con este principio de que:

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2}$$

DONDE:

- I_{om} = Corriente magnetizante
- Φ_{max} = Flujo máximo
- I_{op} = Corriente de pérdidas o parásitas (Eddy o Foucault)
- I_o = Corriente de vacío
- $\cos \phi_o$ = Factor de potencia de los devanados del transformador o de pérdidas (f.p. en vacío)
- $-E_{o1}$ = Fuerza contraelectromotriz inducida
- $I_o R_1$ = Caída de tensión por reactancia
- $I_o Z_1$ = Caída de tensión por impedancia
- V_{o1} = Voltaje del lado primario
- E_{o2} = Fuerza contraelectromotriz inducida en el lado secundario
- V_{o2} = Voltaje en el lado secundario

La figura 19 nos representa el diagrama vectorial completo para este tipo de prueba.

La corriente I_{om} da origen al flujo máximo, y a su vez a 90° con

respecto a él y a 180° , entre ellas aparecen la fuerza contraelectromotriz y la fuerza electromotriz inducida. La suma vectorial de I_{om} e I_{op} , da origen a la corriente de vacío, conforme al ángulo que tiene, lo representará al final de la fem inducida la caída por resistencia y al final de este valor y a 90° con respecto a él se representa la caída por reactancia. La suma vectorial de estas dos últimas, dan origen a la caída por impedancia. La suma vectorial de $-E_{o1}$, $I_o R_1$ e $I_o X_1$, será igual a V_{o1} . El ángulo que se forma entre I_o y V_{o1} , será ϕ_o y que es el factor de potencia del transformador en vacío.

Donde
$$\vec{I}_o = \vec{I}_{om} + \vec{I}_{op}$$

Entonces
$$I_o = \sqrt{I_{om}^2 + I_{op}^2}$$

Para transformador monofásico:

$$W_o = V_{o1} I_o \cos \phi_o$$

Para transformador trifásico:

$$W_o = \sqrt{3} V_{o1} I_o \cos \phi_o$$

$$I_o = \frac{W_o}{\sqrt{3} V_{o1} I_o \cos \phi_o} = \sqrt{I_{om}^2 + I_{op}^2}$$

$$\%I_o = \frac{I_o}{I_N} \times 100$$

A.T. = Alta Tensión

B.T. = Baja Tensión

$$\%I_{o_{BT}} = \frac{I_o}{I_{NB.T.}} \times 100$$

$$\% I_{oAT} = \frac{I_o}{I_{NA.T.}} \times 100 \Rightarrow \% I_{oBT} = \% I_{oA.T.}$$

Para transformador monofásico

$$\cos \phi_o = \frac{W_o}{V_{o1} I_o} \times 100$$

Para transformador trifásico

$$\cos \phi_o = \frac{W_o}{\sqrt{3} V_{o1} I_o}$$

Al encontrar la I_o , se puede determinar la relación de los T_o a emplear en la prueba.

Los fabricantes de transformadores al concluir las pruebas de pérdidas, realizan una medición más que se llama TARA, la cual consiste en lo siguiente:

Hemos señalado que la prueba de vacío se realiza a voltaje nominal y que por dificultad se lleva a cabo, por el lado de baja tensión; al transformador bajo prueba, se le aplica el criterio señalado y súbitamente se le retira la alimentación. Lógicamente esto se realiza después de haber tomado las lecturas correspondientes de la corriente de excitación y de los watts de pérdidas. Se retiran las puntas de alimentación del transformador y se colocan en el piso (separadas entre sí para no provocar un corto circuito) y se procede a alimentar nuevamente el voltaje de prueba, en este momento se vuelven a tomar las lecturas de los wattmetros y estos watts que se detectan son

$$T_c = \frac{R_c}{R_f} (225 + T_f) - 225$$

Cálculo de elevación de temperatura (Ed).- La elevación de temperatura será:

$$Ed = T_c - T_{as} + E_{as}$$

En donde:

Ed = Elevación de temperatura del devanado

T_c = Temperatura del devanado en el momento del corte

T_{as} = Temperatura del aceite superior en el momento del corte

E_{as} = Elevación de la temperatura del aceite superior sobre el ambiente al término de estabilización.

14) Prueba de Impulso

Finalidad de la prueba.- Esta prueba tiene como objetivo comprobar que el transformador cumpla con su nivel básico de aislamiento al impulso, es decir, que los aislamientos estén bien diseñados para resistir un pulso de voltaje unidireccional transitorio.

Esta prueba se encuentra normalizada y está en función de capacidad y aislamiento contenido y sólo se aplica a transformadores prototipo.

La prueba consiste en simular rayos o fenómenos de voltaje transitorio a los que quedan expuestos los transformadores al estar operando en los sistemas de distribución

lo que se conoce como TARA.

Dicho en otras palabras la TARA, es la potencia que consume los conductores e instrumentos que se emplean en el circuito de prueba por lo que los watts reales que consume el transformador bajo prueba serán:

$$\text{Watts primera lectura} - \text{Tara} = \text{Watts reales}$$

(consumidos por el transformador bajo prueba).

10) Medición de Pérdidas con Carga y por ciento de Impedancia

Finalidad de la prueba.- Esta prueba tiene por objeto determinar las pérdidas en los devanados, producto de la carga, incluyendo pérdidas debidas a las corrientes de carga y pérdidas indeterminadas. En esta prueba se desprecian las pérdidas de vacío, porque la corriente de excitación es muy pequeña en comparación con la corriente nominal. También se determina el por ciento de impedancia.

Procedimiento de prueba.- Esta prueba es conocida con los nombres de pérdidas con carga, pérdidas del cobre, pérdidas en los devanados o pérdidas de circuito corto. Una vez que el transformador bajo prueba esté desenergizado y libre de conexiones, se requiere que uno de los devanados esté conectado en circuito corto, normalmente es el lado de baja tensión, esta forma de realizar la prueba es por razones de seguridad y disponibilidad del equipo, es decir, por la facilidad de alimentar bajas corrientes.

La sección de los conductores usados para poner en circuito corto el transformador debe ser igual o mayor que la sección del conductor de la boquilla, estos conductores deben ser lo más corto posibles y estar limpios y

apretados debidamente.

Por el lado de alta tensión se excitará a frecuencia nominal (puesto que la impedancia es función de la frecuencia), con una tensión tal que haga circular la corriente nominal de ese devanado (cuando se trate de transformadores trifásicos y no se obtienen corrientes iguales en las tres fases, el promedio de ellas deberá ser igual a la corriente nominal), empezando desde cero volts. Al alcanzar la corriente nominal en este devanado, también circulará la corriente nominal del devanado en circuito corto.

La tensión a la cual se alcanza la corriente nominal es una tensión pequeña, llamada "tensión de impedancia, la cual varía del 7 al 25 por ciento de la tensión nominal.

Una vez ajustada la corriente y frecuencia a sus valores nominales, se deben tomar lecturas simultáneas en los instrumentos de medición.

Nota: El diagrama de conexiones es similar al empleado en la prueba de vacío con las variantes de cortocircuitar el lado de baja tensión y alimentar por el lado de alta tensión.

La temperatura de los devanados deberá ser tomada inmediatamente antes y después de la prueba, tomándose como temperatura del devanado, el promedio de las dos temperaturas.

Las pérdidas $R I^2$ de los devanados se calculan a partir de las corrientes que se usan en la medición con carga y de las mediciones de resistencia ohmica

(corregidas a 75 grados centígrados).

Estas pérdidas RI^2 restantes de las pérdidas de carga leídas en los wattmetros, dan como resultado las pérdidas indeterminadas del transformador a la temperatura de prueba.

Por tanto: $P_{cu} = RI^2 + P_{ind}$.

Donde: P_{cu} = Pérdidas del cobre

RI^2 = Pérdidas por efecto joule

P_{ind} = Pérdidas indeterminadas

Corrección por temperatura.- La componente RI^2 de las pérdidas de impedancia se incrementa con la temperatura y la componente por pérdidas indeterminadas disminuye con la temperatura. Por tanto la corrección a 65 o 75 grados centígrados (temperatura a la cual trabajará el transformador), se hace en forma separada de la siguiente manera.

$$RI^2 \text{ a } 75^\circ\text{C} = RI^2 \text{ a } t^\circ\text{C} \cdot \frac{234.5 + 75^\circ\text{C}}{234.5 + t^\circ\text{C}}$$

Donde: $RI^2 \text{ a } 75^\circ\text{C}$ = Pérdidas por efecto joule (RI^2) a 75°C

$RI^2 \text{ a } t^\circ\text{C}$ = Pérdidas por efecto joule (RI^2) a la temperatura de prueba.

$t^\circ\text{C}$ = Temperatura del devanado durante la prueba.

234.5 = Constante para el cobre.

$$P_{ind} \text{ a } 75^{\circ}\text{C} = P_{ind} \text{ a } t^{\circ}\text{C} \cdot \frac{234.5 + t^{\circ}\text{C}}{234.5 + 75^{\circ}\text{C}}$$

Donde: $P_{ind} \text{ a } 75^{\circ}\text{C}$ = Pérdidas indeterminadas a 75°C .

$P_{ind} \text{ a } t^{\circ}\text{C}$ = Pérdidas indeterminadas durante la prueba.

$t^{\circ}\text{C}$ = Temperaturas de prueba.

234.5 = Constante para el cobre.

Nota: Cuando los devanados son de aluminio, la constante es 225.

En conclusión tenemos $P_{imp} \text{ a } 75^{\circ}\text{C} = R I^2 \text{ a } 75^{\circ}\text{C} + P_{ind} \text{ a } 75^{\circ}\text{C}$

Donde: $P_{imp} \text{ a } 75^{\circ}\text{C}$ = Pérdidas por impedancia a 75°C :

Por ciento de impedancia.- Por definición sabemos que el por ciento de una cantidad (X), con respecto a una cantidad base (X_B), es:

$$\% X = \frac{X}{X_B} \cdot 100$$

Si consideramos la impedancia de corto circuito Z_{cc} y la impedancia a plena carga Z, (corriente y tensión nominales), tenemos:

$$\% Z_{cc} = \frac{Z_{cc}}{Z_1} \cdot 100$$

I = Corriente nominal primario

V = Tensión nominal primario

Si $Z_{cc} = \frac{V_Z}{I_1}$ y $Z_1 = \frac{V_1}{I_1}$

I = Corriente nominal primario

V = Tensión nominal

primario

Diagrama vectorial de circuito corto.

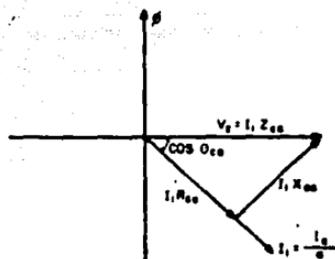
Figura No. 20.

V_z	=	Tensión de impedancia.
$I_1 R_{cc}$	=	Tensión por resistencia (en fase con I_1)
$I_1 X_{cc}$	=	Tensión por resistencia (en cuadratura con $I_1 R_{cc}$)
I_1	=	Corriente de circuito corto.
$\cos \theta_{cc}$	=	Factor de potencia de circuito corto.

11) Prueba de Hermeticidad

Finalidad de la prueba.- Esta prueba se realiza con el propósito de garantizar la hermeticidad del transformador, para evitar la entrada de humedad y las fugas de aceite. Ya que cuando existe una fuga el aceite se contaminará con el agua disminuyendo su rigidez dieléctrica, deteriorando a la vez las características químicas del aceite, además esta prueba nos permite ver que el tanque y radiadores no

Diagrama vectorial de circuito corto.



sufran deformaciones a la hora de ser sometidos a la presión normalizada, creando condiciones peligrosas al operar el transformador.

Equipo empleado en la prueba.- Manómetro de baja presión, tanque con nitrógeno, (o aire seco), válvula de seguridad, válvula de escape de gas, manguera Pratt, regulador y manómetro de alta presión.

Procedimiento de prueba.- Se retiran tapones machos del equipo, se conecta una manguera a la cámara de alta tensión del transformador y otra a la cámara de baja tensión.

Aplicar sellador a las reducciones Bushing para hacer un cierre hermético, se revisa que la llave del regulador se encuentre cerrado, se abre la válvula del tanque y lentamente se va abriendo la válvula del regulador teniendo abierta la válvula de admisión del equipo de prueba, se inyecta nitrógeno o aire seco a cada una de las mangueras que se encuentran conectadas al equipo, de acuerdo a normas nacionales, si el transformador de distribución es aéreo 0.34 kg/cm^2 y si es subterráneo 0.70 kg/cm^2 , durando dos horas con una tolerancia del 10%.

Se debe tener cuidado de no aplicar bruscamente dicha presión y no sobrepase de ella, para no dañar el manómetro de baja presión, lo cual es muy importante.

Se mide después de haber pasado las 2 horas 5 minutos, si no ha bajado la presión en el manómetro.

Abriendo una por una las válvulas de globo que se encuentran en el equipo de prueba, si ésta presión se mantiene invariable quiere decir que la prueba es

correcta y que no hay fugas en el transformador.

Se abre la válvula de seguridad para descargar la presión de nitrógeno o aire seco que se encuentra en las mangueras que van al transformador, se procede a retirar el equipo de prueba. Se colocan (uno por uno) los tapones machos aplicándole sellador a cada uno y dándole su apriete adecuado. Tener preparado el tapón macho para colocarlo en el momento de retirar la manguera procurando que no salga todo el nitrógeno y formar así una cámara interior con el mismo.

Al final se coloca un sello de plomo en cada una de las partes probadas.

Fallas más frecuentes.- En caso de que el equipo sometido a prueba tenga fugas de presión, se localiza en qué parte es, se le inyecta nuevamente nitrógeno de acuerdo a normas nacionales (0.34 kg/cm^2) y se detecta el lugar con brocha y jabonadura, normalmente se tienen problemas en las partes de las que existen empaque, soldaduras quebradizas o además en componentes flojas, una vez localizadas la fuga, se trata de reparar chequeando el apriete en las tuercas.

En caso de variación de temperaturas se recomienda emplear un termómetro para tomar lectura al inicio de la prueba y al final de la misma, si existe una variación muy grande, deberá de emplearse la siguiente fórmula:

$$P_2 = P_1 \frac{T_2}{T_1}$$

En donde:

P_1 = Presión residual al finalizar la prueba en kg/cm^2 .

- P_2 = Presión residual corregida a la temperatura inicial en kg/cm^2 .
 T_1 = Temperatura al finalizar la prueba, en grados Kelvin.
 T_2 = Temperatura al iniciar la prueba, en grados Kelvin.

NOTA: Las presiones P_1 y P_2 son absolutas.
(presión manométrica más presión atmosférica).

12) Prueba de Operación de Válvula de Sobrepresión

El procedimiento para esta prueba se desarrolla con el mismo equipo que se empleó para la prueba de hermeticidad, pero a diferencia de ésta los resultados de prueba se verán única y exclusivamente para la válvula de sobrepresión.

Esta prueba sirve para verificar que la válvula de sobrepresión abra a una presión mayor a la estipulada en la prueba de hermeticidad, pero menor a 0.5 kg/cm^2 de tal forma que al haber aumento en la presión mayor a 0.35 kg/cm^2 , ésta escape por la válvula de sobrepresión, y que además dicha válvula cierre antes de que la presión baje a un valor menor de 0.3 kg/cm^2 , con el fin de evitar que el transformador absorba humedad por dicha válvula.

Fallas más frecuentes.- Por medio de jabón aplicado con una brocha, se verifica si la válvula opera correctamente; normalmente a la falla que presenta la multicidad a válvula; es falla mecánica y esta se origina porque el resorte está muy tenso o es débil. Para este tipo de falla lo que se debe realizar es cambiar el resorte.

13) Prueba de Sobre Elevación de Temperatura

Esta prueba está considerada como prueba de diseño, por lo que se efectúa una sola vez al inspeccionar transformadores de diseño nuevo.

Finalidad de la prueba.- El objeto de esta prueba es comprobar que el transformador bajo prueba no exceda la temperatura garantizada en operación con carga para la que esté diseñado.

Secuencia de la prueba.- El método normalmente empleado para transformadores sumergidos en aceite es el de corto circuito, estando el cambiador de derivaciones en la posición de máximas pérdidas o sea en la derivación mínima.

Localización.- el transformador debe colocarse en un recinto libre de corrientes de aire y alejado de paredes u otros transformadores, cuando menos 1.2 metros (si están superficialmente están calientes; la distancia deberá ser de cuando menos 1.8 metros).

Se recomienda que el fondo de los transformadores tipo poste, esté separado del piso aproximadamente 30 centímetros.

Determinación de la temperatura ambiente.- Para medir la temperatura ambiente (T. amb.), se deben colocar cuando menos tres termopares depositados en recipientes con aceite y con el bulbo sumergido a unos 5 centímetros abajo de la superficie del aceite y deberán colocarse a la mitad de la altura del transformador y a una distancia que oscile entre 1 y 2 metros del transformador y cuando menos 0.30 metros de las paredes u otros tanques, el promedio de las 3 lecturas nos determina la

temperatura ambiente.

Determinación de la temperatura del aceite superior.- (T_{as}). Para conocer la temperatura del aceite superior se introduce un termopar, con el bulbo sumergido a 5 centímetros abajo del nivel del aceite frío dentro del transformador. La lectura de este termopar, nos da la temperatura máxima del aceite.

Determinación de la temperatura de los radiadores (T_i sup. y T_i inf.).- Se selecciona un radiador con una exposición promedio a paredes frías y a otros radiadores del propio transformador y protegido de corrientes de aire. Se coloca un termopar en el tubo superior y otro en el tubo inferior del mismo radiador a la mitad de la distancia entre el tanque y el primer panel. Los termopares se colocan contra la superficie metálica, fijándose firmemente y aislándose térmicamente, cubriendo con masillas de asbesto.

Determinación de la resistencia en frío.- Debe seleccionarse un instrumento (puente de Wehatstone o puente de Kelvin) con precisión suficiente para determinar cuando menos cuatro cifras significativas que no incluya ninguna resistencia en serie, la corriente del puente no debe exceder el 15% de la corriente nominal del devanado.

El transformador debe estar tan ensamblado como sea compatible con la prueba. Si las terminales del puente se conectan a una zapata o conector, ésta debe estar colocada antes de la determinación de resistencia y no debe alterarse esta conexión hasta después de terminada la prueba de temperatura.

No debe haberse cambiado o agregado aceite ni aplicado corriente a los devanados en un período de 6 horas antes de la prueba. Ni haberse presentado

un cambio normal de ambiente en las últimas 3 horas. La temperatura del devanado se determina colocando un termómetro dentro del aceite y de preferencia colocado a la altura de la parte media de los devanados a no más de 15 centímetro de los devanados y no menos de 25 centímetros de la pared del tanque. No debe existir una diferencia de más de 2 grados centígrados entre la temperatura de este termopar y la temperatura ambiente medida a la misma altura al aire libre.

Cálculo de pérdidas.- Se corrigen las resistencias en frío a la temperatura de las pérdidas en el cobre, medidas en la prueba de corto circuito.

Para cobre:
$$R_p = \frac{234.5 + T_p}{234.5 + T_f} \times R_f$$

Para aluminio:
$$R = \frac{225 + T_p}{225 + T_f} \times R_f$$

Donde: R_f = Resistencia en frío.

T_f = Temperatura de medición de resistencia en frío.

R_p = Resistencia a la temperatura de pruebas de pérdidas con carga.

T_p = Temperatura de prueba de pérdidas con carga.

Con éstos valores se determinan las pérdidas con carga.

Con estos valores se determinan las pérdidas por resistencia (I^2R) a la temperatura de prueba y por diferencia con los watts medidos, se determinan las pérdidas indeterminadas. Se corrigen las pérdidas por resistencia de los

devanados (cobre o aluminio) a la temperatura de 75 grados centígrados para transformadores de 55 grados centígrados de sobre-elevación de temperatura (o a 85 grados centígrados para transformadores de 65 grados centígrados), utilizando las mismas fórmulas anteriores.

Se corrigen las pérdidas indeterminadas con la siguiente fórmula:

Para transformadores con elevación de 55 grados centígrados wind.

$$75^{\circ}\text{C} = \frac{234.5 + T_p}{234.5 + 75} \times \text{wind. D}$$

Para transformador con elevación de 65 grados centígrados:

$$85^{\circ}\text{C} = \frac{234.5 + T_p}{234.5 + 85} \times \text{wind. P}$$

Las pérdidas totales a utilizar serán la suma de las pérdidas en vacío (pérdidas en el fierro) más pérdidas por I^2R más pérdidas indeterminadas, corregidas las dos últimas a 75 grados centígrados o a 85 grados centígrados.

Procedimiento

1.1.- Estabilización.- Con uno de los devanados (normalmente el de baja tensión). En corto circuito, se hace circular en el otro devanado la suficiente corriente para que se presente los watts totales calculados en el inciso anterior. Sostenga esta carga (watts calculados) hasta que la diferencia entre la temperatura del aceite superior y la del ambiente permanezca constante. Se considera que se ha obtenido la

estabilización cuando en cuatro lecturas sucesivas de elevación de aceite superior sobre ambiente, (Eas) tomadas con intervalos de una hora, muestran una variación máxima de ± 1 grado centígrado y cuando menos una variación en más de ± 1 grado centígrado durante las 2 últimas lecturas.

Es permisible, al principio el periodo de calentamiento, utilizar una sobrecarga de hasta 35% para cortar la duración de la prueba, debe tenerse cuidado de no sostener la sobrecarga demasiado tiempo y provocar que sobrepase el calentamiento esperado. El tiempo total de esta prueba no debe exceder de 8 horas.

1.2.- Corriente normal.- Después de haber obtenido la estabilización a pérdidas totales, se reduce la corriente al valor nominal de la conexión utilizada y se sostiene dicho valor de corriente. un tiempo mínimo de dos horas.

1.3.- Medición de resistencia en caliente (Rx).- Se interrumpe la energía y simultáneamente se pone en marcha un cronómetro, se retira al conector de corto circuito y los cables de alimentación y se conecta el puente entre las terminales seleccionadas. El puente debe ser el mismo que el utilizado para la determinación de resistencia en frío, con las mismas puntas y colocadas éstas en el mismo punto de la boquilla o terminal y de ser posible con el mismo apriete.

Se ajusta la lectura del puente a un valor precalculado de resistencia a 75 grados centígrados (o a 85 grados centígrados), se hace circular la corriente del puente y se deja transcurrir el tiempo de inducción registrando en la prueba de resistencia en frío, se conecta el galvanómetro y se toman las lecturas sucesivas de resistencia (R), registrando el tiempo transcurrido entre cada una y el corte. La primera lectura

debe tomarse lo antes posible después de transcurrido el tiempo de inducción y a no más de 4 minutos del corte. Se continúa tomando lecturas por 6 o 7 minutos, deben tomarse cuando menos 4 lecturas durante este tiempo, preferiblemente 8 o más lecturas.

1.4.- Reconexión.- Después de colocar nuevamente el conductor de corto circuito y los cables de alimentación, pueden repetirse los incisos 1.2, 1.3 y hacer la corrección de resistencia en caliente tantas veces como sean necesario para obtener la resistencia en caliente de todos lo devanados.

Corrección de resistencia en caliente al tiempo del corte (R_c)- Se grafican los valores de la resistencia (R_x) con los tiempos respectivos en papel milimétrico, se traza la curva extrapolándola al tiempo cero, determinando así la resistencia en el momento del corte (R_c).

Cálculo de la temperatura del devanado en el momento del corte (T_c).

Para cobre

$$\frac{R_c}{R_f} = \frac{234.5 + T_c}{234.5 + T_f}$$

$$T_c = \frac{R_c}{R_f} (234.5 + T_f) - 234.5$$

Para aluminio tendremos:

$$\frac{R_c}{R_f} = \frac{225 + T_c}{225 + T_f}$$

eléctrica.

La prueba consiste en la aplicación de una onda completa a tensión reducida, dos ondas cortadas (la más común en transformadores tipo distribución y potencia es la onda cortada en la cola) y una onda completa a tensión plena. A menos que otra cosa se especifique, se deben de aplicar ondas de polaridad negativa a transformadores sumergidos en aceite y de polaridad positiva a transformadores tipo seco o llenos con "compound". La onda completa nominal deberá ser de $1.2 \times 50 \mu$ segundos lo que significa que en 1.2μ segundos, la onda alcanza su valor de 100% (tiempo de frente) y al 50% de su valor de cresta, decae en 50μ segundos (tiempo de cola), contados a partir del origen virtual del impulso.

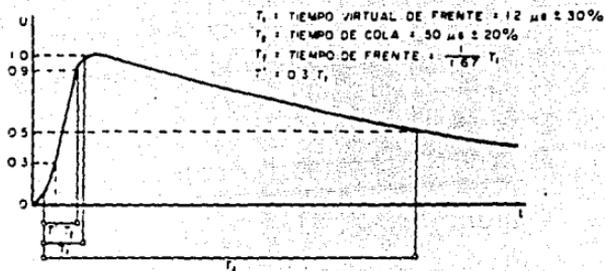
El tiempo para llegar a la cresta desde el cero virtual no debe ser superior a 2.5μ segundos excepto para los devanados de gran capacitancia al impulso, por ejemplo: devanados de baja tensión, alta capacidad en KVA y algunos de alta tensión y alta capacidad en KVA.

Para facilitar las mediciones del tiempo, se considera que el tiempo para llegar a la cresta a partir del cero virtual, es decir, la duración del frente de onda, es igual al 1.67 veces el registrado entre los puntos en el frente de onda a 30% y 90% del valor de cresta del frente de onda.

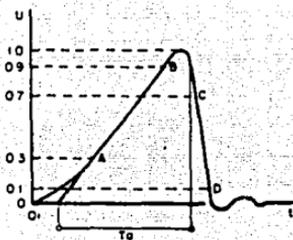
La duración de la cola de onda es el tiempo entre el origen de la onda de impulso y el punto en la cola de la onda en el cual la amplitud es la mitad del valor de cresta.

La figura 21 nos muestra los tipos de onda utilizados en la prueba de

a) ONDA COMPLETA DE IMPULSO



b) ONDA CORTADA EN EL FRENTE



T_0 = TIEMPO DE ARQUEO

impulso.

De preferencia la magnitud de las oscilaciones no debe exceder del 10% de la tensión aplicada.

La onda cortada en la cola es en la cual el impulso súbitamente se reduce a cero en un punto poco tiempo después de la cresta.

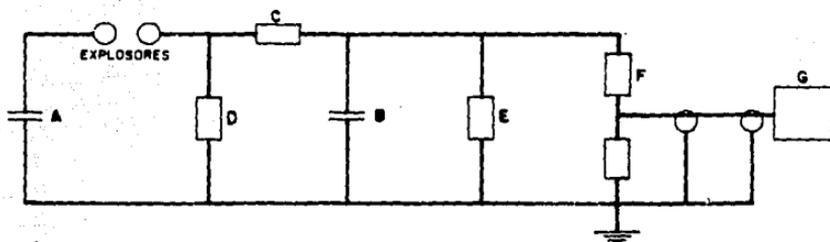
Procedimiento de prueba.- Para la realización de la prueba se cuenta con un circuito normal de impulso, que comprende básicamente un generador de impulsos, un banco de capacitores que tiene una capacitancia global, una resistencia total de frente, una resistencia total de cola, el objeto de prueba, un divisor de voltaje y un osciloscopio. La figura 22 muestra la distribución de los elementos antes mencionados.

Teoría de operación del generador de impulsos.- El generador de impulsos tiene un arreglo de alta eficiencia, el cual consiste de un banco de capacitores separados por explosores esféricos, que se cargan en paralelo a través de resistencias de carga, por medio de una fuente de corriente directa y se descargan en serie por medio de los explosores a través de las resistencias de frente y de cola.

Cuando el banco de capacitores es cargado al voltaje de prueba deseado, el voltaje preseleccionado es alcanzado y disparado por medio de un sistema que libera un pulso para descargar el banco de capacitores. Simultáneamente, por medio del osciloscopio y una cámara fotográfica especial, se toma una fotografía de la forma de onda obtenida.

Las diferentes formas de onda de los impulsos que se aplican pueden ser

DISTRIBUCION ESQUEMATICA
DEL EQUIPO DE IMPULSO



- A - GENERADOR DE IMPULSOS
- B - CAPACITOR DE FRENTE
- C - RESISTENCIA DE FRENTE
- D - RESISTENCIA EN PARALELO (DE COLA)
- E - OBJETO BAJO PRUEBA
- F - DIVISOR DE VOLTAJE
- G - OSCILOSCOPIO

FIGURA No- 22

simuladas por medio del intercambio de los resistores de forma de onda, de cola y de frente, que se encuentran localizados en el banco de capacitores.

Para preparar la prueba de impulso se lleva la siguiente secuencia:

a) Se debe de conectar uno de los extremos del devanado primario a tierra, esta conexión se puede efectuar directamente por medio de una resistencia, si se desea registrar la corriente, cada una de las terminales se debe probar por separado en transformadores trifásicos.

b) Las terminales de los devanados secundarios se deben poner en corto circuito o bien pueden ser unidas a través de una resistencia de bajo valor y con una de las terminales a tierra (con el fin de limitar las tensiones inducidas en los devanados), además es conveniente que estas no excedan el 80% de la tensión de onda completa correspondiente a su clase de aislamiento.

c) Debe conectarse a tierra el armazón, la base y el núcleo si está destinado a ser puesto a tierra.

d) Para evitar el contorneo bajo condiciones adversas de humedad y densidad del aire, la distancia de contorneo puede ser aumentada provisionalmente por medios adecuados.

e) La tensión de prueba puede aplicarse en el extremo del devanado primario no conectado a tierra y tierra.

f) En transformadores monofásicos con aislamiento plano se aplica la

tensión de prueba a cada una de las terminales primarias tomándolas una a una.

g) En el caso de que la inductancia del devanado sea tan baja que no se puede obtener la forma de onda especificada, se puede insertar una resistencia de 500 ohms como máximo en el extremo del devanado que va conectado a tierra.

Fallas más comunes.- Si se sobreponen los oscilogramas de la onda de tensión reducida y la onda de tensión completa final, no debe existir ninguna diferencia en ellos, si se aprecia diferencia que considera que hay falla de aislamiento.

También se debe considerar como posibles fallas las diferencia que se observen al comparar las ondas cortas entre sí principalmente en rizo final. Es importante considerar si las fallas no se deben al circuito extremo de medición o al de protección.

Si después de efectuar la prueba de impulso se aprecian burbujas con humo en el líquido refrigerante, se determina que hay falla de aislamiento.

Si al hacer la prueba de onda cortada no ocurre un arqueo en el explosor o cualquier parte extrema a pesar de que los oscilogramas muestran una onda cortada, esto es indicación de que en el transformador existe un arqueo. Si al aplicar el impulso se escucha ruido dentro del transformador, puede ser indicación de falla (se debe investigar más a fondo).

E) PRUEBAS DE CAMPO RECOMENDADAS ANTES DE SU INSTALACIÓN.

Al terminar de ser fabricado el transformador en la planta de producción

se procede a ser embarcado a el lugar en dónde indique el comprador.

Debido a las maniobras de embarque el transformador corre el riesgo de sufrir daños en su interior, como puede ser que algún elemento interno se afloje o llegue a desoldarse.

Pruebas a efectuar:

- a) Prueba de rigidez dieléctrica.
- b) Prueba de resistencia de aislamiento.
- c) Prueba de relación de transformación.
- d) Prueba de hermeticidad.

a) Prueba de rigidez dieléctrica.- Por principio mencionaremos que la prueba de rigidez dieléctrica, se realiza para verificar que no contenga humedad el líquido refrigerante del transformador, ya que dicho transformador que se va a instalar pudo estar mucho tiempo almacenado.

Esta prueba se realiza cerca de donde se encuentre el laboratorio de la compañía que compró el transformador y antes de su trayecto para su instalación, ya que si la prueba sale con humedad o contaminado, se podrá cambiar el líquido refrigerante del transformador, por líquido nuevo que tenga una rigidez dieléctrica satisfactoria.

Por la válvula de muestreo, se obtiene la muestra del líquido refrigerante a probar, se procede a hacerle la prueba en el laboratorio. En el laboratorio se vacía en la copa de prueba, el líquido refrigerante y se coloca en el equipo, se realizan 3 lecturas en un tiempo de 3 minutos, tomando la lectura con mucho cuidado y

registrándola en el momento en el que se produce la ruptura. El promedio de las lecturas será el resultado final y debe ser igual o mayor que 30 kilovolt, ya que las normas nacionales nos marcan como mínimo 30 kilovolt.

Para mayor información sobre la prueba de rigidez dieléctrica, ver capítulo IV, sección 3.

b) Prueba de resistencia de aislamiento.- Como finalidad de la prueba de resistencia de aislamiento es la de determinar la calidad de los aislamientos de las bobinas del transformador.

Esta prueba es demostrativa ya que se aplican tensiones relativamente bajas comparadas con las del transformador.

Para esta prueba se emplea un instrumento llamado megger, en el cual por su fácil manejo y por ser un instrumento portátil y no estorboso o complicado, se realizan las siguientes pruebas:

Baja tensión	Contra	Alta tensión	+	Tierra
Alta tensión	Contra	Baja tensión	+	Tierra
Baja tensión	Contra	Alta tensión		

Las lecturas que se tomen, estarán dadas en Mega-ohms.

Existen 2 criterios para determinar el estado del aislamiento.

1.- Por cada Mega-ohms de lectura deberá haber 1 kilovolt de trabajo.

- 2.- Consiste en tomar 10 lecturas, 1 cada minuto y se aplican los siguientes criterios.

Relación de lecturas	Conclusión
$\frac{\text{Lectura del minuto 10}}{\text{Lectura del minuto 1}} = 2$	Buen estado del aislamiento
$\frac{\text{Lectura del minuto 10}}{\text{Lectura del minuto 1}} = 1.5 \text{ a } 2$	Poca humedad en los aislamientos
$\frac{\text{Lectura del minuto 10}}{\text{Lectura del minuto 1}} = 1.0 \text{ a } 1.5$	Demasiada humedad en los aislamientos
$\frac{\text{Lectura del minuto 10}}{\text{Lectura del minuto 1}} = 1 \text{ o menor}$	Problema con los aislamientos

Esta es una prueba de fácil manejo y su tiempo de duración es corto, en comparación con otras pruebas, se debe tener cuidado en la conexión del instrumento, y de que no existan falsos contactos en la conexión del transformador ya que esto origina errores en las lecturas y es motivo de un mal criterio en la conclusión de la resistencia de aislamiento de las bobinas del transformador que se va a instalar.

c) Prueba de relación de transformación.- Para realizar esta prueba, se utiliza el transformador patrón (T.T.R.). Es un instrumento portátil y no requiere instalaciones auxiliares, se coloca en el suelo o en alguna posición donde se pueda operar la manivela libremente.

Cuando el instrumento se usa en algún lugar donde hay posibilidad de que

se induzca voltaje en el equipo o en el transformador que se está probando, el equipo se debe aterrizar por medio de un cable que se conecta al poste del tablero del instrumento. Para más información del instrumento y su conexión se indica en el capítulo IV, sección 6.

Para la conexión se deben de tomar las siguientes precauciones:

- a) El único peligro es que el transformador patrón, se conecte accidentalmente al transformador energizado, asegúrese que está desenergizado al transformador que se va a probar.
- b) Revisar que todas las terminales del transformador estén desconectadas de la línea o carga del transformador.
- c) Si el equipo de alto voltaje cerca, aterrizara un lado de cada devanado y el transformador patrón.
- d) Conecte las terminales de excitación X_1 y X_2 al devanado de bajo voltaje (calibre del conductor grueso del transformador patrón) y las terminales secundarias H_1 y H_2 a las terminales de alto voltaje (calibre del conductor del transformador delgado).
- e) Ponga los selectores del transformador patrón en cero, no de vueltas a la manivela del transformador patrón cuando alguien esté haciendo contacto con los conectores secundarios, revise las conexiones para asegurarse que las puntas del transformador patrón no están en corto circuito.

Cuando estén tomadas todas estas precauciones en el transformador, se puede realizar el balanceo. Cuando se energiza todo el devanado de bajo voltaje durante la prueba, se puede leer la relación directamente en las mirillas del transformador patrón.

Para tener un mayor criterio sobre la prueba de relación de transformación, tomar referencias de el capítulo IV, sección 6.

d) Prueba de hermeticidad.- Esta prueba es demostrativa, ya que sirve para verificar que no exista una fuga del aceite dieléctrico del tanque del transformador o por donde pueda entrar humedad al interior del transformador, ya sea por mal apriete en su tornillería o un golpe en su transportación.

En el lugar designado para su instalación del transformador, se puede realizar esta prueba, debido a que el equipo empleado es fácil de transportar. En el lugar se conecta el manómetro al tanque de nitrógeno y a las válvulas de las mangueras que van al transformador, se empieza la prueba sometiendo una presión de 5 libras/pulgada², durante un tiempo aproximado de 10 minutos, para certificar que no existen fugas. Se coloca jabonadura en los puntos donde existan empaques, tapas, llaves y todo aquel accesorio que esté relacionado con el tanque del transformador para detectar alguna fuga y en caso de no observar algo anormal, se concluye que el transformador está herméticamente sellado, listo para su instalación, conexión y operación.

Esta prueba se aplica con mayor detalle en el capítulo IV, sección 11.

Accesorios

Todos los transformadores, dependiendo su capacidad y clase de

aislamiento se entregan completos, con los accesorios establecidos por las normas o especificaciones adicionales, negociadas particularmente.

Siendo estos:

- Ventiladores automáticos (Altas capacidades).
- Termómetro.
- Indicador del nivel de aceite.
- Block de acoplamiento (Barras terminales).
- Gargantas en alta y/o baja tensión.
- Cambiador de derivaciones.

Excepto en los casos donde se especifique lo contrario, todos los transformadores se embarcan completos en su dotación de aceite necesario.

Pruebas

Contamos con un laboratorio completo para realizar todas las pruebas comerciales de aceptación y de acuerdo con lo establecido en las normas NACIONALES.

Las pruebas de laboratorio se realizan a todos los transformadores de distribución y potencia, cerciorándose se manufacturen con la más alta calidad.

F) NÓRMAS OFICIALES MEXICANAS.

ANSI-C-57	TRANSFORMADORES DE POTENCIA.
ANSI-C-76	BOQUILLAS, TRANSFORMADORES DE POTENCIA.
DGN SEPAFIN	NORMAS TÉCNICAS PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS.
K0000-01	TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN TIPO POSTE.
L0000-06	TRANSFORMADORES DE POTENCIA DE 10 MVA Y MAYORES.
D8500-02	GUÍA PARA LA SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS.
NOM-U-31	DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO AL TACTO Y TIEMPO DE SECADO DURO DE LOS RECUBRIMIENTOS PARA PROTECCIÓN ANTICORROSIVA.
DGN-J-109	TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.
DGN-J-202	DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS AISLADORES DE PORCELANA PARA ENERGÍA ELÉCTRICA.
NOM-J-98	TENSIONES NORMALIZADAS.

- NOM-J-116 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN TIPO POSTE Y TIPO SUBESTACIÓN.
- NOM-J-123 ACEITE AISLANTE NO INHIBIDO.
- NOM-J-153 CLASIFICACIÓN DE MATERIALES.
- NOM-J-169 PRODUCTOS ELÉCTRICOS-TRANSFORMADORES Y AUTOTRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN Y POTENCIA-MÉTODOS DE PRUEBA.
- NOM-J-234 BOQUILLAS DE PORCELANA DE BAJA Y ALTA TENSIÓN PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN Y SERVICIO EXTERIOR.
- NOM-J-279 TÉCNICA DE PRUEBAS EN ALTA TENSIÓN.
- NOM-J-281 DICCIONARIO DE TERMINOLOGÍA ELÉCTRICA.
- NOM-J-282 MEDICIÓN DE TENSIÓN POR MEDIO DEL VOLTÍMETRO DE ESFERAS.
- NOM-J-284 PRODUCTOS ELÉCTRICOS-TRANSFORMADORES DE POTENCIA.
- NOM-J-185 TRANSFORMADORES TIPO PEDESTAL TRIFÁSICOS PARA DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA.

NOM-J-286	TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEA TIPO PEDESTAL MONOFÁSICOS.
NOM-J-410	GUÍA PARA TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN Y POTENCIA SUMERGIDOS EN ACEITE.
L0000-31	REQUISITOS DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD PARA PROVEEDORES DE BIENES Y SERVICIOS.

G) BREVE DESCRIPCIÓN DE SELECCIÓN DE TRANSFORMADOR PARA PEQUEÑA Y MEDIANA POTENCIA.

Tomando en cuenta las normas para la manufactura de los transformadores del cual anexo, y respetando las indicaciones de "National Electrical Code", para definir las protecciones de las unidades de transformación y del uso apropiado con las cargas definidas, iniciamos los pasos siguientes:

- 1) Las medidas de capacidad en el transformador son en KVA.
 - 1A) Para el transformador un (1) KVA es igual a un (1) HP de potencia.
 - 1B) Un (1) KVA es aproximadamente un (1) KW.
 - 1C) El transformador debe de mantenerse con un sistema de enfriamiento en medio ambiente de 65°C, esto deberá ser controlado en su temperatura por medio de un IMAGEN TÉRMICO (son detectores de bulbo por

medio de transformadores de corriente). Los 65°C son el total:

- (D) Los transformadores que tienen ventiladores externos cuyos diseños son de mantener la temperatura constante por medio de térmicos en 2 o 3 pasos. Pueden elevarse su capacidad por este sistema de enfriamiento en algunos casos hasta de 25% mayores que la capacidad nominal.
- (E) Las indicaciones de National Electrical Code, especifican en el Artículo 440 que los transformadores deben de tener una reserva de protección del 10% sobre cualquier diseño de cargas máximas que pueda tener el transformador en sus horas pico y también define que los transformadores de pequeña y mediana potencia deben de tener los porcentajes de carga no mayores a las siguientes:
- 60% de carga para motores trifásicos con arranque no mayores de 20 seg. por cada motor.
 - 15% para sistemas de control de cualquier índole de tipo trifásico, que esté entrelazado en su secuencia con relación a las operaciones de los motores antes mencionados.
 - 15% en unidades monofásicas de tipo motores monofásicas, alumbrado, aparatos domésticos, etc.
 - 10% de reserva para cualquier eventualidad de disparo de carga especialmente de tipo trifásico.

2) Ejemplo:

2A) Se tiene una planta de tratamiento de agua especial con 12 motores trifásicos, de 600 HP, 4160 V, 85 AMP, 595 RPM y 60 HZ.

$$\text{HP} = \text{KVA} \quad 600 \times 12 = 7200 \text{ KVA}$$

2B) Se tienen unidades trifásicas como motores de ventilación, controles trifásicos para operación interna de la planta, compuertas con motores trifásicos pequeños, etc.

$$1800 \text{ KVA} = \text{KW} \times 0.7.$$

Los 2570 KW, son la suma de la carga en los elementos antes mencionados, de tipo ventilación, compuertas y motores trifásicos pequeños de tipo auxiliar.

2C) Para las condiciones monofásicas, generalmente del sistema de alumbrado, motores monofásicos de bomba tipo casero, controles de circuito cerrado, etc., la planta consume normalmente 1800 KVA.

2D) La reserva del transformador para esta carga del punto 2A, 2B, y 2C), es de aproximadamente 1200 KVA.

Solución del problema:

La planta tiene	7200 KVA que es el 60% de la carga. (carga motriz mayor)
	1800 KVA que es el 15% de la carga. (carga trifásica menor)
	1800 KVA que es el 15% de la carga. (carga monofásica menor)
	1200 KVA que es el 10% de la carga. (reserva para el sistema trifásico motriz)
Suma:	<hr/> 1200 KVA

- 2E) Se busca la selección del transformador, por lo general debe de ser especial por no tener una salida secundaria de 4160 V. de tipo comercial.
- 2F) El transformador principal de 12000 KVA, tendrá otros transformadores de menor capacidad para realizar las transformaciones de las cargas pequeñas de equipo trifásico y de equipo monofásico, las pérdidas de KVA, por esta transformación no son mayores del 3%, en caso contrario, algo está mal calculado.

Como referencia los transformadores son mas nobles para soportar las cargas de esta índole que los sistemas de generación, ya que este último por lo general se debe de tener una reserva del 15 al 20% dependiendo del tipo de carga y las sincronizaciones deben de estar perfectamente bien definidas con la secuencia de carga de todos los equipos especialmente de mayor capacidad.

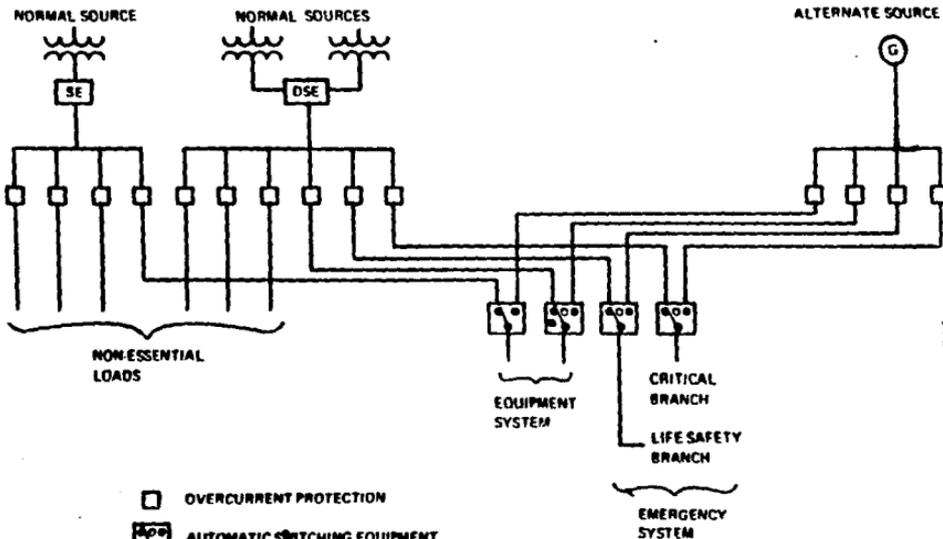
Para la selección de transformadores, los fabricantes utilizan en su catálogo de ventas y precios al mercado los standares que están amparados con las normas que se anexan a éste informe y la curva forma los rangos de selección que generalmente son los que autorizan la Comisión Federal de Electricidad y la Cía. de Luz y Fuerza (también se anexa).

A continuación se presenta la tabla de la selección de transformadores por su capacidad de rango primario y combinaciones en rango secundario, de pequeña y mediana capacidad.

TABLA DE TRANSFORMADORES STANDARES.

<u>CLASIFICACIÓN</u>	<u>CLASE 15</u>	<u>CLASE 25</u>	<u>CLASE 34.5</u>
PRIMARIO	13,200 y/o 4,160	23,000 y/o 20,000	34,500
SECUNDARIO	220/127 y/o 440/254	220/127 y/o 440/254	220/127 y/o 440/254
KVA	15	15	
	30	30	30
	45	45	45
	75	75	75
	112.5	112.5	112.5
	150	150	150
	225	225	225
	300	300	300
	400	400	400
	500	500	500
	750	750	750
	1000	1000	1000
	1250	1250	1250
	1500	1500	1500
	2000	2000	2000

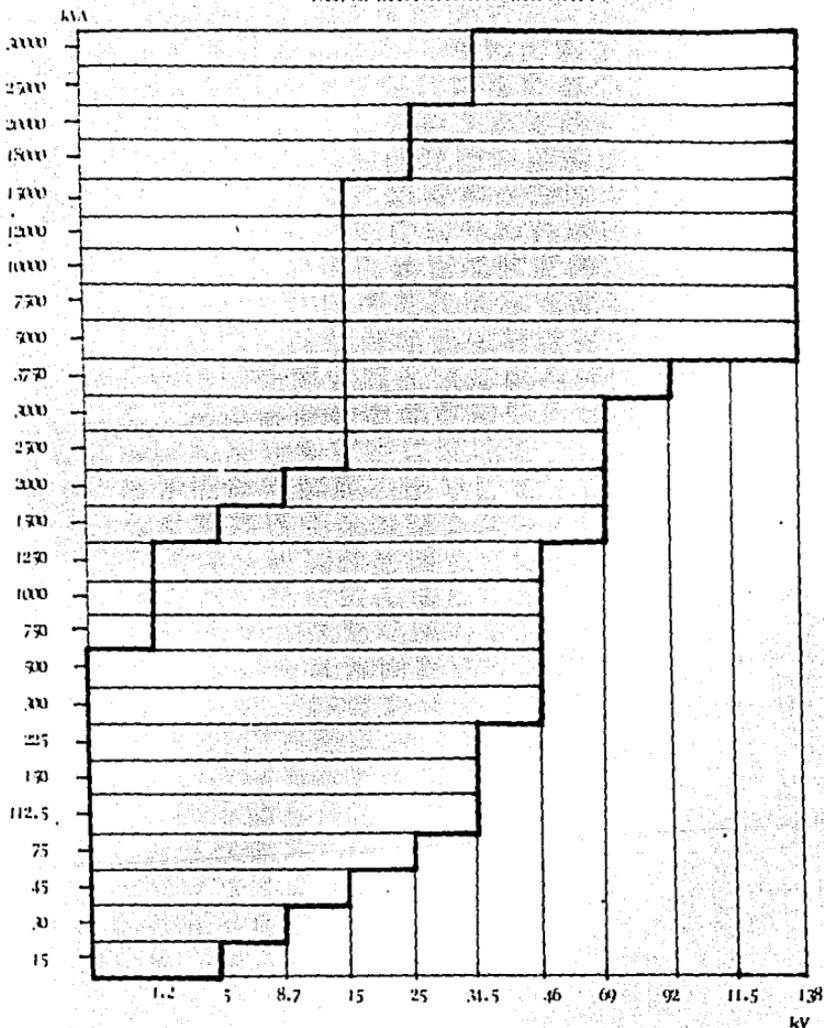
TYPICAL LARGE ELECTRICAL SYSTEM



-  TRANSFORMER
-  GENERATOR
-  SERVICE ENTRANCE
-  DOUBLE-ENDED SERVICE WITH NORMALLY-OPEN SECONDARY TIE

-  OVERCURRENT PROTECTION
-  AUTOMATIC SWITCHING EQUIPMENT
-  DELAYED AUTOMATIC SWITCHING MEANS
-  MANUAL SWITCHING MEANS

RENDE DE VOLTAJE Y KWH/KVH - WITH Y RELACION DE TRANSFORMACION
 PARA UN TRANSFORMER DE 1125 KVA.



H) BIBLIOGRAFÍA

- ELECTRICAL MACHINES SISKIND E. D. Mc. GRAND MILL
- ACEITE AISLANTE NO INHIBIDO NORMA OFICIAL MEXICANA
J - 123 - 1982
- TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN
TIPO POSTE Y TIPO SUBESTACIÓN NORMA OFICIAL MEXICANA.
J - 116 - 1987
- MÉTODOS DE PRUEBA, TRANSFORMA-
DORES DE DISTRIBUCIÓN Y POTENCIA NORMA OFICIAL MEXICANA
J - 161 - 1987
- TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS
(CONOCIMIENTOS Y DATOS ÚTILES) PONENCIA DEL INSTITUTO
MEXICANO DEL PETRÓLEO
1986
- TRANSFORMADORES Y MOTORES DE
INDUCCIÓN ING. RAMÓN MAGAÑA M.
- MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD TRANSFORMADORES GENERAL
ELECTRIC, S.A.

TRANSFORMADORES TIPO
DISTRIBUCIÓN CATÁLOGOS INDUSTRIALES
I.E.M., S.A.

MAQUINAS DE C.A. GARIK

TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN
TIPO POSTE ESPECIFICACIÓN DE
PRODUCTO C.F.E. K 0000-01
1979.