



T
6.20.0042
ZH Ud

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

“Diseño Mecánico de un Sistema de Compuerta Hidrodinámica
Aplicada en una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas en
la Ciudad de Guayaquil”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

Manuel David Zhunio González

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2003

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente a el Ing. Manuel Helguero Director de Tesis, por su invaluable ayuda

DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS ABUELOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Manuel Helguero G.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Marcos Tapia Q.
VOCAL



Ing. Ernesto Martínez L.
VOCAL

ESP

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and strokes, positioned above a horizontal line.

Manuel David Zhunio González.

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el diseño de un sistema de compuerta hidrodinámica deslizante utilizada para controlar y regular la descarga de agua dentro de una Planta de Tratamiento de aguas servidas en la ciudad de Guayaquil. Controlar el flujo de agua permite realizar trabajos de mantenimiento preventivo de los equipos instalados en los canales de acceso o realizar trabajos de emergencia sin tener que parar el bombeo en estos casos.

OBJETIVO

Este trabajo tiene como finalidad la selección y diseño de una compuerta metálica de operación manual que reemplace a las deterioradas que se encuentran fuera de servicio. El modelo de la compuerta, además de la seguridad y fiabilidad que debe brindar debe ser analizado de tal forma que sea posible su construcción dentro de nuestro medio. Las antiguas compuertas instaladas hace más de 25 años fueron trajinas del extranjero en aquella época.

EL MECANISMO

Al seleccionar el tipo de material para la construcción más conveniente a utilizar se tiene tres posibles soluciones que cumplen inicialmente con los requerimientos para la planta de tratamiento, estas son;

- 1.- Compuerta mural mecano soldada de acero estructural
- 2.- Compuerta mural de hierro fundido
- 3.- Compuerta mural de fibra.

Mediante una matriz de decisión se escoge trabajar con las compuertas de hierro fundido esto se analiza con criterios de, costo, fiabilidades y calidad, para cumplir con la finalidad de obtener una hermeticidad mínima del 99.9% en retención del fluido y controlar los problemas de corrosión propios de las aguas servidas que influirán en el material de fabricación.

DESARROLLO

Luego de la selección de la compuerta se calculan las cargas que actúan sobre la compuerta son de dos tipos, la estática, producto de la columna de agua que se da en caso crítico cuando existe reboce de la cámara primaria, la carga dinámica es producto del trabajo de cuatro bombas que permanente bombean agua hacia la cámara primaria. Antes del cálculo de la carga dinámica se analiza el sistema de bombeo para determinar la eficiencia a la que trabajan las 4 bombas aquí instaladas y obtener los resultados de carga más reales.

Las cuatro bombas instaladas en paralelo, se ha decidido observando el impacto del agua directo en el momento que la cámara se encuentra vacía que sobre cada una de las compuertas la carga de impacto es aproximadamente 1.5 de la fuerza que produce cada bomba, por

consiguiente a fuerza total soportada por una compuerta esta dada por la suma de la fuerza estática mas 1.5 de la fuerza dinámica, o sea:

Fuerza estática 20768.2 N.

Fuerza dinámica 4664.3 N.

Fuerza total 25432.5 N.

Un tipo de carga para el análisis es la carga de operación que se considera cuando la altura a la que se eleva la compuerta es de 0.8 m desde la parte inferior, el contacto promedio de operación de la compuerta es asumido desde los primeros 40 cm sobre la base hasta los 80 cm a los que se detiene la compuerta.

El valor de la fuerza dinámica cuando la compuerta se encuentra operando o sea sube o baja se considera que el agua golpea los primeros 0.4 m como promedio durante su movimiento, entonces como carga de operación se obtiene:

Fuerza estática 8486 N.

Fuerza dinámica 2039.4 N.

Fuerza total 10525.4 N.

Estos valores de carga se utilizan para la selección, dimensiones y forma del cuerpo de la compuerta, este se compone de una placa plana de sección constante, reforzada con nervios horizontales y verticales. Luego se selecciona el tipo de material con que se construye cada elemento que conforma el mecanismo de compuerta, esto se escoge en base a la norma AWWA para compuertas en Plantas de Tratamiento y que durante muchos años han utilizado otros fabricantes alrededor del mundo.

Para el análisis y selección de las dimensiones de los nervios se aplica la teoría de Coulomb-Morhr para $\sigma_A \geq 0$; $\sigma_B < 0$ ya que se tiene el caso de un material frágil. Los parantes guía se construyen de hierro fundido, tienen la función de guiar el cuerpo durante su operación se instalan empernados sobre el marco de la compuerta.

Cuerpo de la compuerta:	hierro fundido
Estructura principal:	hierro fundido
Pedestal:	tubería de acero
Vástago:	acero inoxidable
Sellos:	acero inoxidable
Volante:	acero bonificado
Porta rodamiento:	acero inoxidable
Contra tuerca:	bronce fundido

Bocín:	bronce fundido
Cuñas:	bronce fundido
Pernos y tuercas:	acero inoxidable

Seleccionados los materiales y definidas las cargas se analiza por separado cada elemento. Los sellos son platinas que forman un marco que empernado a la compuerta entra en contacto con el contrasello impidiendo la filtración del agua, un buen trabajo de contacto de sellos dependerá de la calibración de la compuerta, esta calibración se realiza con las seis cuñas regulándolas a la posición más baja y alineándola con los sellos.

El mecanismo de elevación está conformado por el vástago, pedestal, tuerca, contratuerca y volante, de este mecanismo depende la seguridad de la compuerta ya que una falla provocaría serios problemas en la planta o con el personal en caso de que este se encuentre en labores de reparación o mantenimiento.

La forma y dimensiones seleccionadas para cada elemento se las aprecia en cada uno de los planos correspondientes.

Finalmente con el análisis de los resultados obtenidos se demuestra que es posible con este diseño proceder a construir y aplicar éste sistema de compuerta hidrodinámica para nuestro caso específico obteniendo un alto porcentaje de hermeticidad y fiabilidad.

Luego del diseño se procederá a la construcción de un total de seis compuertas, estas se instalan en dos Plantas de Tratamiento por lo que no fue necesaria la importación por los altos costos que esto implicaba.

INDICE GENRAL

	Pag.
RESUMEN	I
INDICE GENERAL	Vii
INDICE DE TABLAS	Xi
INDICE DE FIGURAS	Xii
INDICE DE PLANOS	Xiii
SIMBOLOGIA	Xiv
INTRODUCCION	1
 CAPITULO 1	
1. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE COMPUERTA.....	3
1.1 Descripción de sistemas controlados por compuertas.....	3
1.2 Planta de Tratamiento de aguas Servidas.....	8

1.2.1	Generalidades del proceso tratamiento de aguas servidas.....	14
1.3	Necesidad del sistema de control de flujo de aguas dentro de una planta de tratamiento.....	20
1.4	Característica del fluido de trabajo.....	21
 CAPITULO 2		
2.	SISTEMAS MECÁNICOS PARA CONTROL DE FLUIDOS.....	30
2.1	Mecanismos de control de flujo de fluido.....	30
2.2	Parámetros tomados en cuenta para la selección de un mecanismo de control de flujo.....	31
2.2.1	Parámetro físico.....	32
2.2.2	Parámetro económico.....	33
2.2.3	Confiabilidad.....	33
2.3	Selección de mecanismo de control.....	35
 CAPITULO 3		
3.	DISEÑO MECANICO.....	37
3.1	Criterios para el diseño de compuertas.....	37
3.2	Análisis de cargas aplicadas.....	38
3.2.1	Carga estática	41
3.2.2	Carga dinámica.....	42

3.2.3	Cálculos.....	46
3.3	Selección de materiales.....	52
3.3.1	Propiedades de los materiales a utilizar.....	52
3.4	Diseño de componentes.....	54
3.4.1	Cuerpo de la compuerta.....	54
3.4.2	Marco guía.....	68
3.4.3	Vástago.....	69
3.4.4	Tuerca del vástago.....	76
3.4.5	Pedestal.....	78
3.4.6	Sistema de elevación.....	80
3.4.7	Elementos de sujeción.....	90
3.4.8	Sellos y cuñas.....	90
CAPITULO 4		
4.	EVALUACIÓN DEL SISTEMA.....	92
4.1	Control de calidad.....	92
4.2	Calibración.....	100
CAPITULO 5		
5.	EVALUACIÓN FINAL.....	102
5.1	Análisis de resultados.....	102
5.2	Análisis económico.....	104

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
--	-----

APENDICES

BIBLIOGRAFÍA.

INDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1	Parámetro de Selección..... 34
Tabla 2	Matriz de Decisión..... 36
Tabla 3	Condiciones de Diseño..... 39
Tabla 4	Coeficientes de Pérdida..... 46
Tabla 5	Longitudes Equivalentes..... 48
Tabla 6	Materiales Seleccionados para los Componentes de la Compuerta..... 53
Tabla 7	Cargas soportadas por las Vigas Horizontales..... 55
Tabla 8	Propiedades Mecánicas del Hierro Fundido..... 58
Tabla 9	Cargas Soportadas por las Columnas..... 62
Tabla 10	Esfuerzos Cortantes por Reacción..... 63
Tabla 11	Momentos por Flexión..... 64
Tabla 12	Cargas aplicadas sobre la Pantalla..... 67
Tabla 13	Propiedades Mecánicas del Vástago..... 74
Tabla 14	Características del Pedestal..... 79
Tabla 15	Propiedades del Material para el Volante..... 83
Tabla 16	Factor de seguridad Estática..... 89
Tabla 17	Costo de Construcción..... 106

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1	Compuerta Tipo Amil..... 4
Figura 1.2	Compuerta Tipo Avio..... 5
Figura 1.3	Compuerta Mixta..... 6
Figura 1.4	Compuerta Mural..... 8
Figura 1.5	Esquema de las Plantas de Tratamiento..... 19
Figura 3.1	Variables para el Cálculo de la Carga Estática..... 41
Figura 3.2	Variables para el Cálculo de la Carga de Bomba..... 43
Figura 3.3	Ubicación de la Carga Hidráulica Sobre las Vigas Horizontales..... 56
Figura 3.4	Representación de la Carga Soportada por la Viga.... 57
Figura 3.5	Ubicación de la Carga Hidráulica sobre las Columnas 60
Figura 3.6	Representación de la Carga soportada por la Columna..... 61
Figura 3.7	Representación para el Calculo de los Esfuerzos Cortantes..... 62
Figura 3.8	Ubicación de la Carga Hidráulica sobre la Pantalla.... 67
Figura 3.9	Características del Tornillo seleccionado..... 81
Figura 3.10	Esquema de las Fuerzas Soportadas por el Tornillo... 82
Figura 4.1	Fundición del Cuerpo de la Compuerta..... 94
Figura 4.2	Parantes Fundidos..... 95
Figura 4.3	Parante derecho Durante su Fresado..... 96
Figura 4.4	Construcción de Sellos..... 97
Figura 4.5	Tuerca, Porta tuerca y Contra tuerca..... 98
Figura 4.6	Pedestal Armado..... 99
Figura 4.7	Armado previo al Montaje..... 100
Figura 4.8	Calibración..... 101

INDICE DE PLANOS

Plano 1	Cuerpo
Plano 2	Cuña
Plano 3	Tuerca
Plano 4	Contra Tuerca
Plano 5	Pedestal
Plano 6	Porta Tuerca
Plano 7	Sellos
Plano 8	Vástago
Plano 9	Volante
Plano 10	Parantes

SIMBOLOGIA

h	Carga
μ	Coeficiente de fricción
K	Coeficiente de pérdida
ρ	Densidad
τ	Esfuerzo cortante
σ	Esfuerzo de flexión
f	Factor de fricción
n	Factor de seguridad
Q	Flujo
I	Inercia
MPa	Mega pascales
M	Momento
N	Newton
W	Peso
S	Resistencia
V_d	Velocidad de descarga
V_s	Velocidad de succión

ABREVIATURAS

AA-SS	Aguas servidas
A	Area
F	Fuerza
GPM	Galones por minuto
g	Gravedad
HF	Hierro fundido
Kg	Kilo gramos
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetros
P	Presión
rpm	Revoluciones por minuto
V	Velocidad

INTRODUCCION

Este proyecto se basa en el diseño de un sistema de compuertas mecánicas, tipo murales en hierro fundido para una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas para la ciudad de Guayaquil. Se desarrolla el análisis y selección de cada uno de los elementos basado en normas y teorías de diseño estudiadas a lo largo de una carrera de ingeniería y puestas en práctica en este trabajo.

El diseño de compuertas metal mecánicas motivo del desarrollo de este proyectos surge de una necesidad en una planta de tratamiento de la ciudad de Guayaquil. INTERAGUA, antiguamente ECAPAG se ve en la necesidad de reemplazar un total de seis compuertas en hierro fundido para dos plantas de tratamiento en esta ciudad debido a que las instaladas presentan deficiencias irreparables en su funcionamiento.

Luego del análisis de diseño se procede a la construcción, pero el presente trabajo solo esta basado en el diseño del sistema de compuerta. Para obtener resultados veraces se parte de un análisis de la carga aplicada sobre el elemento compuerta, se investiga sobre el sistema de bombeo y las dimensiones del canal donde se instalaran las compuertas, con estos datos se realiza los cálculos de carga dinámica y estática bajo las cuales se desarrolla todo el análisis.

Obtenidos los datos de carga se procede al análisis de diseño de cada elemento que conforma el sistema, estos son: cuerpo, sellos, vástago, cuñas, parantes laterales, pedestal, mecanismo de elevación y el volante, para esto se selecciona previamente el tipo de material para la construcción de cada uno de ellos. En base a la experiencia y recomendación por los fabricantes de compuertas a través de los años considerando a las propiedades altamente corrosivas del fluido a controlar.

El procedimiento que se sigue para el cálculo y selección de los elementos se puede aplicar sin inconveniente a mecanismos más grandes, pero hay que tomar en cuenta las recomendaciones que se dan al final de este proyecto y así obtener los mejores resultados en el proceso de construcción.



CAPITULO 1

1. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE COMPUERTA

En nuestro entorno y alrededor del mundo se presentan una serie de aplicaciones para el control de fluidos utilizando una variedad de sistemas mecánicos de acuerdo a la necesidad o a las condiciones exigidas por la naturaleza.

1.1 Descripción de Sistemas Controlados por Compuertas

Entre los sistemas de compuertas más utilizados podemos mencionar los siguientes.

- Las Compuertas AMIL como se las conoce en el campo industrial, permiten mantener una regulación de nivel constante aguas arriba en estanques y canales independientemente del

caudal y la variación de consumo. La compuerta, prácticamente cerrada a pequeño caudal se abre a medida que el caudal aumenta y garantiza el paso de agua máximo con pequeñas pérdidas de carga. La ausencia de cualquier tipo de accionamiento otorga a este equipo excelentes características de precisión, robustez y seguridad operacional. De bajo costo y fácil instalación, este equipo constituye un excelente control hidráulico de flujos en superficies libres.

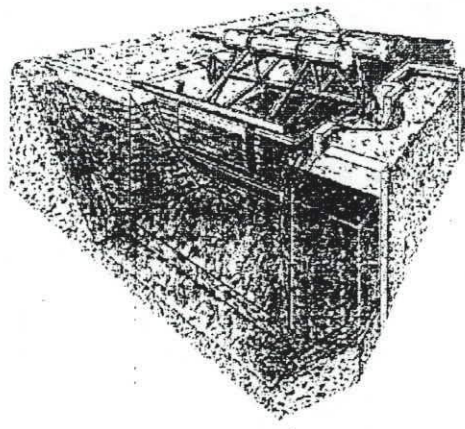


FIGURA 1.1 COMPUERTA TIPO AMIL

- Las Compuertas AVIO y AVIS, estos modelos dan soluciones en la regulación de los niveles en estanques y canales. Estas compuertas controlan el nivel aguas abajo, independientemente de su apertura, del nivel aguas arriba y del caudal solicitado. La ausencia de cualquier tipo de accionamiento otorga a este equipo

excelentes cualidades de precisión, robustez y seguridad operacional.

Una compuerta AVIO es utilizada para instalación en descargas de fondo, mientras que las AVIS para instalación en canales.

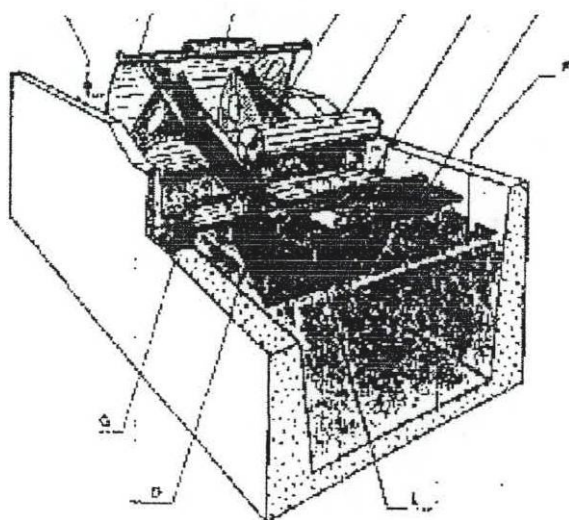


FIGURA 1.2 COMPUERTA TIPO AVIO

- Las Compuertas MIXTAS, cumplen normalmente la función de mantener constante el nivel aguas abajo, crear un volumen de reserva de agua, distribuido en los tramos del canal para uso en casos de falta de agua, en casos de crecida, evitar el desbordamiento del canal.

Cuando la alimentación de agua es superior al consumo, la compuerta mixta, que en este caso controla el nivel aguas arriba

constante, se abre, evitando el desbordamiento. La compuerta ejerce en este caso el papel de sifón de seguridad. Al contrario, cuando la alimentación del canal es inferior al consumo, la compuerta se cierra evitando la evacuación completa del tramo aguas arriba. Entre las ventajas de este sistema se tiene, un automatismo preciso sin ningún mecanismo externo, bajas pérdidas de carga, escurrimiento de los desechos por el fondo entre otras.

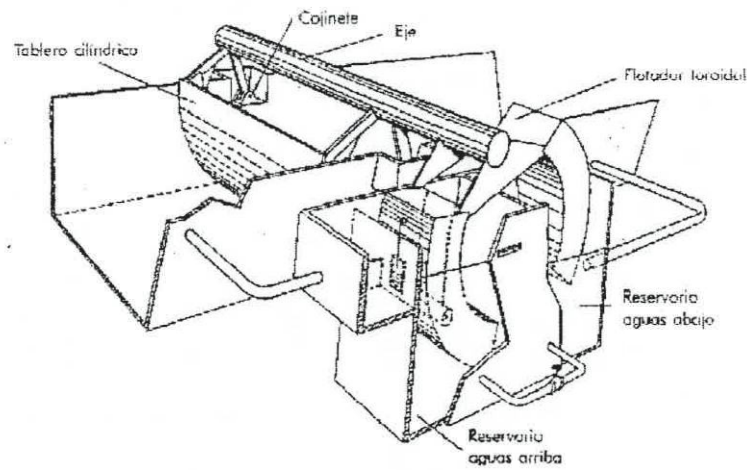


FIGURA 1.3 COMPUERTA MIXTA

- Las Compuertas CILÍNDRICAS, son una de las soluciones para la regulación de nivel aguas abajo. Su utilización consiste en equipar tuberías cortas, alimentadas bajo pequeñas pérdidas de carga y restituir el caudal en un reservorio cuyo nivel debe ser mantenido constante.

La particularidad de este sistema reside en la obturación, constituida por una camisa, que cubre el orificio de la tubería de aducción; el agua sube dentro del tubo hasta llegar al nivel de agua aguas arriba, o un poco más abajo por causa de las pérdidas de carga de la tubería. El cilindro de la compuerta sube o baja, según el caso por intermedio de un flotador de manera que el caudal de alimentación del reservorio inferior se ajusta al caudal consumido. Si no existe empuje vertical sobre la camisa, nivel aguas arriba no ejerce ninguna influencia sobre su equilibrio.

- Las Compuertas MURALES, son utilizadas en descargas en canales, reservorios, e instalaciones bajo presión en obras de colecta, pueden ser fabricadas en construcción mecano-soldada de acero estructural o en hierro fundido dependiendo de las características del fluido a controlar. Pueden construirse con un accionamiento manual o motriz dependiendo de las dimensiones y facilidades de operación, se construyen de tipo cuadradas o circulares, con sentido único de flujo o doble sentido de flujo.

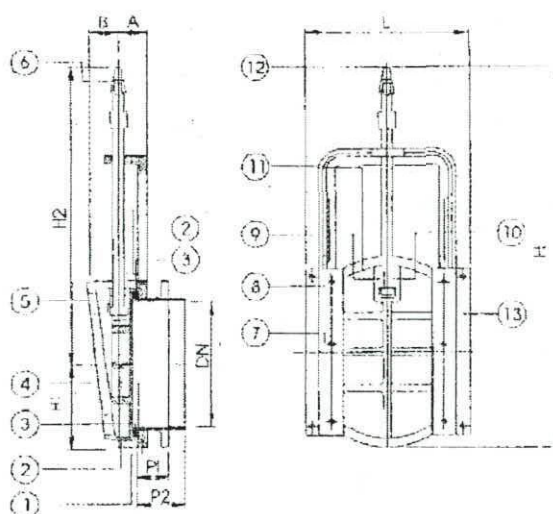


FIGURA 1.4 COMPUERTA MURAL

1.2 Planta de Tratamiento de Aguas Servidas

En la mayoría de los países y comunidades se tienen leyes que obligan a que las aguas residuales de tipo domésticas e industriales deban ser tratadas y depuradas antes de que cualquier afluente pueda incorporarse a las aguas comunales, de aquí la importancia de tener los mecanismos para lograr los procesos adecuados dentro de una planta de tratamiento de aguas residuales.

La disposición satisfactoria de las aguas servidas depende del tratamiento previo a su disposición. Siempre es necesario algún tratamiento para evitar el crear condiciones ofensivas, aun cuando una masa de agua no tenga otra aplicación que la disposición de aguas negras o desechos industriales.

El tratamiento de las aguas negras es el conjunto de recursos por medio de los cuales es posible verificar las diferentes etapas que tiene lugar en la auto depuración de una corriente.

El propósito del tratamiento de las agua negras, consiste en separar de ellas una cantidad suficiente de sólidos que permite que los que queden al ser descargados a las aguas receptoras no interfieren con el más adecuado empleo de éstas. Los sólidos que se eliminan son principalmente de tipo orgánico, pero se incluyen también sólidos inorgánicos. Como el mejor empleo de las agua receptoras puede variar desde ser una agua para beber o de fines culinarios, la cantidad o grado de tratamiento que se de a las aguas o desechos depende de ello. Debe procurarse un tratamiento para los sólidos y líquidos que se eliminan como lodos, puede también necesitarse un tratamiento para controlar los olores, retardar las actividades biológicas o destruir los organismos patógenos.

A continuación se incluye una explicación de los cinco procesos dentro del tratamiento de las aguas negras.

TRATAMIENTO PRELIMINAR, éste en la mayoría de las Plantas de Tratamiento sirve para proteger el equipo de bombeo y hacer más fáciles los procesos subsecuentes del tratamiento. Los



dispositivos para el tratamiento preliminar están destinados para eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes, los sólidos inorgánicos pesados y las cantidades excesivas de aceites o grasas.

Para alcanzar los objetivos de un tratamiento preliminar se emplean comúnmente los siguientes dispositivos:

- Rejas de barras o más finas
- Desmenuzadores, ya sea molinos, cortadoras o trituradoras.
- Desarenadores
- Tanques de pre aeración.

Además de los anteriores, a veces se hace la cloración en el tratamiento preliminar.

TRATAMIENTO PRIMARIO, aquí se separan o eliminan los sólidos suspendidos en las aguas negras, o sea aproximadamente del 40 al 60% , mediante el proceso físico de asentamiento en tanques primarios, se eliminan casi todos los sólidos coloidales, así como los sedimentables, o sea un total del 80 o 90% de los sólidos suspendidos.

El propósito fundamental de los dispositivos para tratamiento primario, consiste en disminuir suficientemente la velocidad de las

aguas negras para que puedan sedimentarse los sólidos. Cuando se usan productos químicos, se emplean otras unidades auxiliares como son:

- Unidades alimentadoras de reactivos.
- Mezcladores.
- Floculadores.

En muchos casos el tratamiento primario es suficientemente adecuado para que se pueda permitir la descarga del afluente a las aguas receptoras, sin que se interfiera con el uso adecuado su de dichas aguas.

TRATAMIENTO SECUNDARIO, después del tratamiento primario, debe hacerse cuando las aguas negras todavía contienen más sólidos orgánicos en suspensión o solución que los que puedan ser asimilados por las aguas receptoras, sin oponerse a su uso normal adecuado. El tratamiento secundario depende principalmente de los organismos aeróbicos, para la descomposición de los sólidos orgánicos hasta transformarlos en sólidos inorgánicos o en sólidos orgánicos estables.

CLORACION, puede emplearse para muy diversos propósitos, en todas las etapas de un tratamiento de aguas negras, y aún antes

del tratamiento preliminar. Generalmente se aplica el cloro a las aguas negras con los siguientes propósitos:

- Desinfección o destrucción de organismos patógenos.
- Prevención de la descomposición de las aguas negras para: a) controlar el olor, b) protección de las estructuras de la planta.
- Como auxiliar en la operación de la planta para: a) la sedimentación, b) en los filtros goteadores, c) el abultamiento de los lodos activados.
- Ajuste o abatimiento de la demanda bioquímica de oxígeno.

TRATAMIENTO DE LOS LODOS, los lodos están constituidos por los sólidos que se eliminan en las unidades de tratamiento primario y secundario, junto con el agua que se separa de ellos. Este tratamiento tiene dos objetivos, siendo el primero de éstos eliminar parcial o totalmente el agua que contiene los lodos, para disminuir su volumen en fuerte proporción y en segundo lugar, para que se descompongan todos los sólidos orgánicos putrescibles transformándose en sólidos minerales o sólidos orgánicos relativamente estables. Esto se logra con la combinación de dos o mas de los métodos siguientes.

- Espesamiento.
- Digestión, con o sin aplicación de calor.

- Secado en lechos de arena, cubiertos o descubiertos.
- Acondicionamiento de productos químicos.
- Elutriación.
- Filtración al vacío.
- Secado aplicando calor.
- Incineración.
- Oxidación húmeda.
- Centrifugación.

La disposición Satisfactoria de las aguas negras, depende del tratamiento previo a su disposición.

La ciudad de Guayaquil en la actualidad existen tres Plantas de Tratamiento, denominadas, El Guasmo, El Progreso y Alborada Sauces.

La Planta de tratamiento "El Guasmo", en la cual realiza este trabajo, queda ubicada en la avenida principal de la Pradera III. Por estar en este sector recibe las aguas servidas de la zona sur de la ciudad cubriendo un área tributaria de aprox. 5850 hectáreas.

En realidad en ninguna de estas tres plantas se realiza un tratamiento biológico, sino el tratamiento de las aguas negras provee la separación por gravedad de los sólidos sedimentados,

presentes en el agua. En la siguiente sección se pone a consideración el proceso que se les da a las aguas en estas plantas.

1.2.1 Generalidades del Proceso de Tratamiento de Aguas Servidas .

La finalidad de una Planta de Tratamiento de aguas residuales es poder separar cualquier tipo de producto potencialmente peligroso. El método o herramienta utilizada para eliminar los residuos depende mucho de naturaleza de los productos y de los desechos contaminantes.

La operación de una Planta de Tratamiento se realiza de la siguiente manera.

1 Las aguas residuales de las casas son recolectadas a través de una red de tuberías y trasladarlas hasta una estación de bombeo.

Normalmente el agua ingresa a esta estación por una tubería de hormigón armado antes de ingresar a la cámara de bombeo se tiene la cámara afluente o BY-PASS aquí se encuentran dos compuertas murales de hierro fundido, cuya función es repartir las aguas hacia la estación de bombeo, pero en caso de emergencia en que la planta se queda sin

energía o se realice mantenimiento de los equipos se debe desviar el flujo hacia el sistema de AA-LL que las conduce directamente al río. Además de la cámara BY-PASS existe una rejilla metálica que retiene los sólidos más grandes (entre 4 y 5 cm), utilizando bombas sumergibles se desaloja hacia la respectiva planta de tratamiento, dependiendo de la ubicación de la planta.

2 Las AA-SS fluyen hacia la estación de bombeo a un caudal promedio de $170 \text{ m}^3/\text{min}$, trayendo consigo gran cantidad de desechos sólidos de todo tipo, desde recipientes plásticos, latas, animales muertos, entre sustancias orgánicas e inorgánicas.

3 Estos sólidos de tamaño considerable arrastrados por el agua llegan a las máquinas cribadoras. Estas máquinas son un tipo de filtro mecánico con barras metálicas que retienen los desperdicios, llevan los sólidos hasta la superficie utilizando un mecanismo de rastrillos móviles, los desechos finalmente en la parte superior de la criba se depositan en una plancha metálica para luego ser desalojados manualmente por el operador de turno.

4 Seguidamente, las aguas llegan hasta la cámara de bombeo, aquí operan 4 bombas centrífugas marca WORTINGTON instaladas en paralelo, el funcionamiento de estas depende de los nivel de las aguas, el agua bombeada se deposita en una cámara primaria.

5 La cámara primaria tiene forma rectangular, aquí se distribuye el agua hacia dos tanque laterales y un canal auxiliar central. Los dos desfuegos laterales de la cámara primaria permiten la entrada de aguas hacia los tanques purgadores de arena o tanques de sedimentación, mientras que el central sirve como by-pass en caso que se lo requiera. El acceso de las aguas a cualquiera de los tres canales es controlada por un sistema de tres compuertas metálicas deslizantes de sección rectangular.

6 Los tanques de sedimentación (los laterales) están contruidos de concreto reforzado y adosado entre sí por una canal recolector de aguas desarenadas. Esto canales en el fondo proveen el espacio necesario para la instalación de sendas transportadoras de tornillo para acarrear muy lentamente los lodos depositados en el fondo del canal hasta una tolva localizada en el extremo del canal aguas

abajo. Mediante un mecanismo de elevadores de baldes (cangilones), se recogen los sedimentos acumulados para luego ser transportados utilizando la fuerza de una corriente de agua al mecanismo lavador de arena, aquí se separan los lodos de la parte líquida.

7 El sistema de aireación instalado en los tanques de sedimentación inyecta aire a razón de 180 CFM aproximadamente, de esta manera se oxigena el agua teniendo una eficiente y rápida sedimentación, así el agua que desfoga en el otro extremo del tanque presenta una menor cantidad de sólidos.

8 El agua tratada, es vaciada hacia el canal central, para luego por medio de una tubería de 60" de diámetro ser desalojada directamente al río.

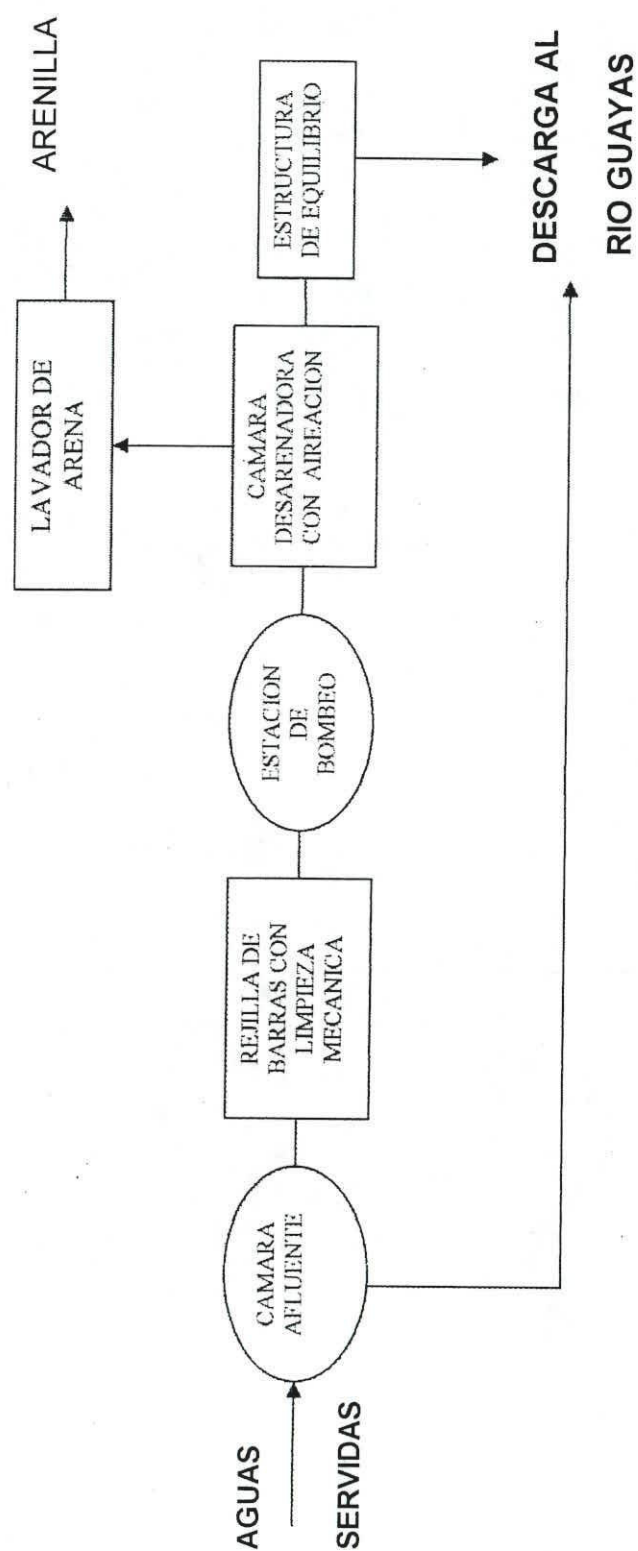
9 Mediante un sistema de medición de caudal, se registra el flujo promedio de agua tratada en la planta. Actualmente registra un promedio de 1400 l/s por canal.

Para tener una idea clara se presenta un esquema de flujo y distribución de una planta de tratamiento con una entrada de precedentes de vertidos domésticos. Este tipo de



unidades funcionales en forma de bloques permiten borrar espacios donde las paredes se convierten en particiones . El esquema muestra el proceso de tratamiento y control de agua residual.

FIGURA 1.5 ESQUEMA DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO



1.3 Necesidad del Sistema de Control de Flujo de Aguas Dentro de una Planta de Tratamiento.

Dentro de la planta y concretamente en los canales de sedimentación a nivel de la descarga de agua se encuentra instalado el sistema regulador de flujo. Estos reguladores de caudal constan de unos sensores que utiliza el fenómeno ultrasónico registran la cantidad de agua tratada.

De esta manera se lleva un registro de la cantidad de agua "tratada" diariamente mediante este sistema electrónico.

Por otro lado, en la cámara principal, una manera de controlar el acceso del fluido entre los tanque laterales o el canal central es utilizando un sistema de tres compuertas metálicas de accionamiento manual, que es nuestro tema de estudio.

Este tipo de control de flujo se viene realizando desde 1974 que es cuando se creó la Planta de Tratamiento "El Guasmo". Por motivos de desgaste normal de los materiales que conforman estas tres compuertas y las características de las aguas, la vida útil de los elementos ha terminado, viéndose obligada la ECAPAG a realizar un cambio de estos mecanismos en forma total.

Mediante la regulación de estas compuertas deslizantes se permiten al personal de mantenimiento mecánico de la planta

realizar sus trabajos de los equipos en cada uno de los tanques de sedimentación sin inconveniente o controlar el ingreso de las aguas en casos de emergencia como ya se ha presentado.

1.4 Características del Fluido de Trabajo.

Existen diferentes tipos de aguas negras de acuerdo a la procedencia de las mismas, a parte de los desechos industriales las Plantas de Tratamiento reciben de las estaciones de bombeo dentro de la ciudad los siguientes tipos de aguas negras:

AGUAS NEGRAS DOMESTICAS, son las que contienen desechos humanos, animales y caseros. También se incluye la infiltración de aguas subterráneas, estas son típicas de las zonas residenciales en las que no se efectúan operaciones industriales, o solo en muy corta escala.

AGUAS NEGRAS SANITARIAS, son las mismas que las domésticas, pero que no solo incluyen las aguas negras domésticas, sino también gran parte de los desechos industriales de la población.

AGUAS PLUVIALES formadas por todo el escurrimiento superficial de las lluvias, que fluyen desde los techos, pavimentos y otras superficies naturales del terreno.



Esta agua tiene un sistema de red individual pero conectada para casos de emergencia como inundaciones a la red de tuberías de AA-SS, la cámara BY-PASS hace que estas formen parte las aguas que llegan a la estación de bombeo.

AGUAS NEGRAS COMBINADAS son una mezcla de aguas negras domésticas o sanitarias y de aguas pluviales cuando se colectan en las mismas alcantarillas.

ASPECTOS DE LAS AGUAS NEGRAS

Las aguas negras son líquidos turbios que contienen material sólido en suspensión. Cuando son frescas, su color es gris y tienen un olor a moho, no desagradable. Flotan en cantidades variables de materia, sustancias fecales, trozos de alimentos, basura, papel, astillas y otros residuos de actividades cotidianas de los habitantes de una comunidad. Con el transcurso del tiempo el color cambia gradualmente del gris al negro, desarrollándose un olor ofensivo y desagradable los sólidos negros aparecen flotando en la superficie o en todo el líquido. En este estado se denominan aguas negras sépticas.

COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS

Las aguas negras están compuestas de agua, sólidos disueltos en ella y de sólidos suspendidos en la misma. La cantidad de los

sólidos es generalmente muy pequeña, casi siempre menos de 0.1 por ciento en peso. Estos sólidos pueden estar disueltos, suspendidos o flotando. Según estudios la pureza aceptable en términos medios de las aguas negras domésticas que contiene más del 99.94% de agua, satisfacen un requisito de pureza más estricto,. No obstante, ese menos de 0.1% de sólidos en las aguas negras, es una impureza mas significativa e importante que el 0.56% de impurezas del jabón.

Los sólidos de aguas negras pueden clasificarse en dos grupos generales según su composición o su condición física, tenemos así, sólidos orgánicos e inorgánicos, los cuales a su vez pueden estar suspendidos o disueltos.

SÓLIDOS ORGANICOS, en general son de origen animal o vegetal, que incluyen los productos de desechos de la vida animal y vegetal, la materia animal muerta, organismos o tejidos vegetales; pero pueden incluirse también compuestos orgánicos sintéticos. Son sustancias que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, pudiendo estar combinadas algunas con nitrógeno, azufre o fósforo. Los grupos principales son las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas junto con sus productos de descomposición, están sujetos a degradación o descomposición por actividad de las

bacterias y otros organismos vivos, además son combustibles, es decir, pueden ser quemados.

SÓLIDOS INORGÁNICOS son sustancias inertes que no están sujetas a la degradación. Ciertos compuesto minerales hacen excepción a ciertas características, como los sulfatos, los cuales bajo ciertas condiciones pueden descomponerse en sustancias mas simple, como sucede en la reducción de los sulfatos a sulfuros. A los sólidos inorgánicos se les conoce frecuentemente como sustancias minerales: arena, grava, cieno y sales minerales, del abastecimiento de agua que producen su dureza y contenido mineral, por lo general no son combustibles.

La cantidad de sólidos tanto orgánicos o inorgánicos en las aguas negras dan lo que frecuentemente se conoce como su fuerza(dureza). A mayor concentración de sólidos orgánicos corresponde mayor fuerza de las aguas negras. Por lo tanto se puede definir que las aguas negras fuertes son las que contienen gran cantidad de sólidos especialmente orgánicos y las aguas negras débiles las que contienen pequeñas cantidades de sólidos orgánicos.

Los sólidos pueden clasificarse o agruparse de acuerdo a su condición física como sólidos suspendidos y sólidos disueltos,

incluyendo en cada uno de estos grupos tanto a sólidos orgánicos como inorgánicos.

Los SÓLIDOS SUSPENDIDOS son aquellos que están en suspensión y que son perceptibles a simple vista en el agua, además pueden separarse del agua negra por medios físicos o mecánicos, como son la sedimentación y la filtración. Incluyen las partículas flotantes mayores que consisten en arena, polvo, arcilla, sólidos fecales, papel, astillas de madera, partículas de alimentos y de basura y otros materiales similares. Están constituidos aproximadamente por un 70% de sólidos orgánicos y un 30% de sólidos inorgánicos, siendo la mayor parte de estos arena y polvos.

SÓLIDOS DISUELTOS, no todos estos sólidos están verdaderamente disueltos, puesto que se incluyen algunos sólidos en estado coloidal. De los sólidos disueltos totales. Aproximadamente el 90% esta verdaderamente disuelto, y el 10% esta en estado coloidal. El total de sólidos disueltos está compuesto aproximadamente por un 40% de orgánicos y 60% de inorgánicos. La porción coloidal contiene mayor porcentaje de materia orgánica que la verdaderamente disuelta debido a que esta incluye a todas las sales minerales del agua de abastecimiento.

Evidentemente que las aguas negras tendrán su fuerza y volumen máximo durante el día y su mínimo durante la noche.

GASES DISUELTOS, las aguas negras contienen pequeñas y variadas concentraciones de gases disueltos. Entre los gases más importantes esta el oxígeno, presente en el agua original de abastecimiento y disuelto también al ponerse en contacto con el aire. Este oxígeno, es un componente sumamente importante de las aguas negras, además esta agua pueden contener otros gases, como el bióxido de carbono, que resulta de la descomposición de la materia orgánica; el nitrógeno disuelto en la atmósfera; el ácido sulfhídrico que se forma por la descomposición de los compuestos orgánicos y ciertos compuestos inorgánicos del azufre. Aunque estos gases están presentes en pequeñas cantidades. su función es importante en la descomposición y tratamiento de los sólidos de las aguas negras e indican muy significativamente el progreso de tales procedimientos de tratamiento.

COMPOSICIÓN BIOLÓGICA DE LAS AGUAS NEGRAS

Las aguas negras contienen también incontables organismos vivos, la mayoría de los cuales son demasiado pequeños para ser visibles, excepto bajo el microscopio. Son la parte viva natural

de la materia orgánica que se encuentra en las aguas negras y su presencia es de suma importancia porque son uno de los motivos para el tratamiento de esta agua, y su éxito, incluyendo la degradación y descomposición, depende de sus actividades.

Estos organismos microscópicos vivos pertenecen a dos tipos generales: las bacterias y otros organismos vivos más complejos.

Las bacterias son organismos vivos, que constan de una sola célula y su proceso vital, así como sus funciones, son similares a los de los vegetales, algunas bacterias son móviles, o sea capaces de moverse libremente por su propia fuerza, y otras son inmóviles.

Las bacterias requieren como todo organismo vivo de alimentos, oxígeno y agua. Solo pueden existir cuando el medio ambiente provee de estas necesidades. Como resultado de esos procesos vitales, las bacterias dan origen, a su vez a producto de desecho.

CAMBIOS QUÍMICOS EN LA COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS NEGRAS

La actividad de la vida biológica en las aguas negras produce muchos cambios en la composición química de sus sólidos. Estos cambios químicos, o más bien dicho, cambios bioquímicos (puesto que se llevan a cabo debido al desarrollo biológico) no solamente indican la actividad de los microorganismos, sino que miden

también el grado de descomposición de los sólidos y por ende la eficacia de cualquier proceso de tratamiento en particular.

CORROSIÓN

La corrosión de los metales es un fenómeno químico o electroquímico sumamente complejo. En los sistemas de aguas residuales la corrosión da por resultado: 1) pérdidas significativas en la capacidad hidráulica de transporte de los tubos, conexiones y otros componentes del sistema; 2) posibles fallas estructurales, y 3) detrimento en la calidad del agua transportada. La pérdida de la capacidad por corrosión, se produce por la formación de incrustaciones, crecimientos biológicos y deposición de limo. Otros efectos indirectos de la corrosión son la adsorción de sustancias orgánicas sobre los productos de la corrosión y el fenómeno de crecimiento microscópico, la creación de demandas de cloro y la producción de olores, sabores y otros cambios objetables en la calidad del agua. En los sistemas donde incluyen tubería de hierro, se produce agua roja. Sin embargo, la aparición de agua roja no es necesariamente una medida del grado de corrosión. De acuerdo con el PH, contenido de electrolitos, concentración de oxígeno y velocidad de flujo, los recubrimientos y tuberías pueden incorporar diferentes proporciones de productos de corrosión.

Queda claro que al seleccionar el material del cual se diseña la compuerta y sus accesorios es importante tomar en consideración el efecto químico del tipo de agua a controlar, esto se observa claramente dentro de la matriz de decisión.

CAPITULO 2

2. SISTEMAS MECÁNICOS PARA CONTROL DE FLUIDOS

En esta parte se decidirá la opción más conveniente para controlar las aguas servidas que pasan por la Planta de Tratamiento. Servirá como referencia las compuertas antiguas construidas de hierro fundido, las dimensiones de estas no son confiables debido a su deterioro.

2.1 Mecanismos de Control de Flujo de Fluidos

Después de explicar detalladamente el funcionamiento de una Planta de Tratamiento y debido a la importancia que tiene un eficiente trabajo de la misma se está obligado a realizar un análisis para el diseño de un mecanismo para control en la descarga de



aguas servidas. Durante ya algunos años el sistema de compuertas (3 compuertas) utilizado en esta planta se encuentra fuera de servicio, últimamente presenta serios problemas en los sellos, mecanismo de elevación, materiales corroídos, etc. El nuevo diseño permite optimizar los materiales y dimensiones utilizados hace mas de 25 años, en que se instalaron las compuertas anteriores, brindando la misma eficiencia y seguridad.

La selección se realiza entre tres tipos de compuertas que inicialmente cumplen con los requerimientos que necesito.

- 1.- Compuerta mural mecano soldada de acero estructural
- 2.- Compuerta mural de hierro fundido
- 3.- Compuerta mural de fibra

2.2 Parámetros tomados en cuenta para la selección de un mecanismo de control de flujo.

A continuación se describe las variables que se considera son relevantes dentro de la matriz de decisión para la selección del mecanismo de control.

ESTADO A : Canales sin sistema para control de flujo de agua (entrada)

ESTADO B: Canales con sistema para control de flujo de agua (salida)

El estado A especifica el problema que se tiene que resolver, mientras el B expresa el resultado al que se debe llegar.

Para resolver el problema es necesario saber más acerca de la entrada y la salida. Por lo tanto durante el proceso de diseño se determinan varias características cualitativas y cuantitativas de los dos estados, dentro de estas características aparecen unas constantes como por ejemplo las dimensiones físicas o unas variables como la carga o demanda de agua.

2.2.1 Parámetro físico

Es importante considerar aspectos físicos que sirven para realizar la selección del mecanismo de control (compuerta eficiente) como por ejemplo el sistema de bombeo que en este caso es de cuatro bombas independientes o sea que en caso crítico trabajan las cuatro al mismo tiempo, otro punto son las propiedades del tipo de fluido cuyas características se las detalló en el capítulo 1, la densidad del fluido, las dimensiones de la cámara y de la boca de entrada, entre otras, son parámetros que no pueden ser cambiados y que se consideran al momento de la selección del tipo de compuerta como se puede apreciar mas adelante en la tabla de matriz de decisión.

2.2.2 Parámetro económico

Como en cualquier tipo de análisis de proyectos la parte económica es importante, considerando que la planta necesita cambiar tres compuertas al mismo tiempo ya que las anteriores se encuentran fuera de servicio por su larga vida de trabajo, la parte económica o sea el costo de construcción y materiales, como se aprecia en la matriz de decisión esta después de la calidad y fiabilidad, esto se debe a la necesidad de seguridad del sistema de compuertas.

2.2.3 Confiabilidad

Es importante la seguridad o confiabilidad en la resistencia de la compuerta y su eficiencia al momento del sellado, ya que cuando la compuerta se encuentra cerrada es posible que sea porque se esta realizando trabajos de mantenimiento en uno de los canales, por lo que una falla o filtración de agua puede ser mortal para el personal de trabajo puesto que la fuerza del agua puede arrastrar a una persona y producirle hasta la muerte.



TABLA 1

PARÁMETROS DE SELECCIÓN

ENTRADA: estado A	
Variables de entrada	Limitaciones de entrada
Capacidad de entrada (carga)	48000 GPM
Propiedad física (densidad)	1100 Kg/m ³
Propiedad química a controlar	Muy corrosiva AA-SS
Tiempo de funcionamiento	Ninguna
Operación	Ninguna
Grado de sólidos mezclados	ninguna
SALIDA : estado B	
Variables de salida	Limitaciones de salida
Hermeticidad	99.9% del flujo (mínimo)
Variables de solución	
Tipo de funcionamiento	
Material resistente a la corrosión	
Forma de operación (mecanismo)	
Método de sellado	
Restricciones	
Dimensión no mayor a 910mmx910mm	
Costos	
Facilidad de mantenimiento	
Facilidad de operación	
Criterios	
Costos de fabricación	
Calidad	
Fiabilidad	
Facilidad de operación	
Mantenimiento y reparación	

Las restricciones son características de una solución que se fija previamente, por decisión, por la naturaleza, requisitos legales o cualquier otra disposición que tenga que cumplir una solución al problema, cada restricción limita en parte las alternativas que se presentan como solución.

Los criterios se los utiliza para seleccionar el mejor diseño y los aplico durante el análisis del problema, estos criterios tienen diferente valor como se muestra en la tabla (2) en donde la puntuación mayor se le da a la opción que da mayor beneficio, la que tiene al final mayor puntaje sumando los criterios es la más conveniente.

2.3 Selección del Mecanismo de Control

Mediante la matriz de decisión, se escoge la alternativa mas conveniente de diseño, en donde los criterios son los parámetros de decisión.

TABLA 2

MATRIZ DE DECISIÓN

Material	Costos de fabricación	Mantenimiento y reparación	Calidad	Fiabilidad	Facilidad de operación	Σw_i 100 %
	20	15	30	25	10	100
Mecano soldada	18	14	20	24	10	86
Hierro fundido	18	14	28	24	10	94
Fibra	20	10	15	20	10	75

La matriz arroja un resultado a favor de las compuertas de hierro fundido en donde un criterio muy relevante es la calidad, para cumplir con la finalidad (Estado B) de obtener una hermeticidad del 99.9% en retención del fluido y controlar los problemas de corrosión propios de las aguas servidas que influyen en el material de fabricación esta es la mejor opción.

CAPITULO 3

3. DISEÑO MECÁNICO

Para el desarrollo de este capítulo ya se tiene claro cual es la necesidad y escogida una solución, ahora se analizara y seleccionara los elementos y dimensiones más adecuadas para su construcción.

3.1 Criterios para el Diseño de Compuertas.

Para el caso de compuertas murales los criterios o condiciones de diseño son suministrados por las variables de entrada mas las dimensiones de la cámara principal, capacidad de bombeo, etc. Son parámetros que influyen sobre el cálculo de la carga estática y dinámica.

3.2 Análisis de Cargas Aplicadas.

Las cargas que actúan sobre la compuerta son de dos tipos, la estática, producto de la columna de agua que se da en caso crítico cuando existe reboce de la cámara primaria, la carga dinámica es producto del trabajo de cuatro bombas que permanente bombean agua hacia la cámara primaria. Previo al cálculo de la carga dinámica realizo un análisis del sistema de bombeo para determinar la eficiencia a la que trabajan las bombas aquí instaladas.

TABLA 3

CONDICIONES DE DISEÑO

<u>BOMBAS</u>		
Cantidad	.....	cuatro
Flujo	.....	12000 GPM c/u
Descarga	.....	21.56"
<u>DESCARGA</u>		
Cantidad	.....	tres
Dimensiones	.....	910 mm x 910 mm
Material del marco base	.....	HF en concreto
<u>FLUIDO</u>		
Tipo	.....	Aguas servidas
Densidad	.....	1100 Kg/m ³
Característica	.....	altamente corrosiva
Temperatura	.....	15-35 (ambiente)
<u>CARGAS</u>		
Estática	.....	Columna da agua
Dinámica	.....	Bombas
<u>MATERIAL</u>		
<u>FINALIDAD</u>		
Compuerta para control de flujo		
Accionamiento manual		
Vertical deslizante		

Las condiciones o criterios de diseño expuestos en la tabla 3 son las variables utilizadas para el cálculo de la carga que actúa sobre la compuerta.

3.2.1 Carga estática

En esta parte se obtiene la ecuación para determinar la fuerza de la columna de agua que actúa sobre la compuerta, esto se realiza en condiciones críticas, esto es suponiendo que la cámara se encuentra hasta rebosar manteniendo las compuertas cerradas. Ecuación para el cálculo de la carga estática aplicada sobre la hoja:

$$\partial F = -P \partial A$$

$$F_R = \int_A P \partial A$$

$$\frac{\partial P}{\partial h} = \rho g$$

Para cualquier profundidad

$$\int_{P_o}^P \partial P = \rho g \int_o^h \partial h$$

$$P = P_o + \int_o^h \rho h \partial h \quad ; \quad FR = \int_A P \partial A$$

$$P = (\rho g (D + y))$$

$$FR = \int_A P \partial A$$

reemplazando:

$$F_R = \rho g \int_o^L (D + y) b \partial y$$



$$F_R = \rho g b \left[Dy + \frac{y^2}{2} \right]_0^L$$

$$F_R = \rho g b \left(DL + \frac{L^2}{2} \right) \quad (3.1)$$

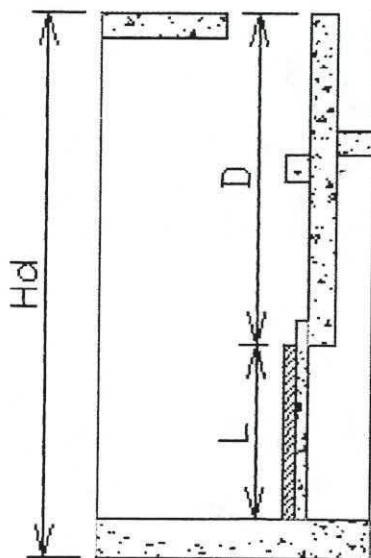


FIGURA 3.1 VARIABLES PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA
ESTÁTICA

Con esta fórmula procedo al cálculo de la carga

Donde:

F_R : fuerza aplicada sobre el cuerpo (N)

ρ : densidad de AASS 1100 kg/ m³

g : gravedad 9.8 m/sg²

b : ancho de la compuerta 960 mm

L : altura de la compuerta 915 mm

H_d : carga de diseño 2650 mm

$$D = H_d - L = 1735 \text{ mm}$$

3.2.2 Carga dinámica

La ecuación de cálculo de carga dinámica de la bomba se obtiene suponiendo que la cámara se encuentra vacía y el agua bombeada pega directamente al cuerpo de la compuerta.

Las aguas negras son mas difíciles de bombear que el agua. La presencia de tierra y arena en las aguas negras tiene un efecto abrasivo sobre las bombas y elementos. Primeramente se menciona las características del equipo de bombeo:

Bomba:

Marca: Worthington

Capacidad: 12000 GPM

Succión: 590 mm

Descarga: 548 mm

Tubería de descarga: hierro fundido 508 mm de diámetro

Motor:

Marca: General Electric

Potencia: 300 HP

RPM: 880

Voltaje: 230 – 460 V ; 3 fases ; 60 Hz

Para determinar la carga final que el sistema de bombas ejerce sobre la compuerta se tiene:

$$H = h_d + h_s + h_{fd} + h_{fs} + \frac{V_d^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g} \quad (3.2)$$

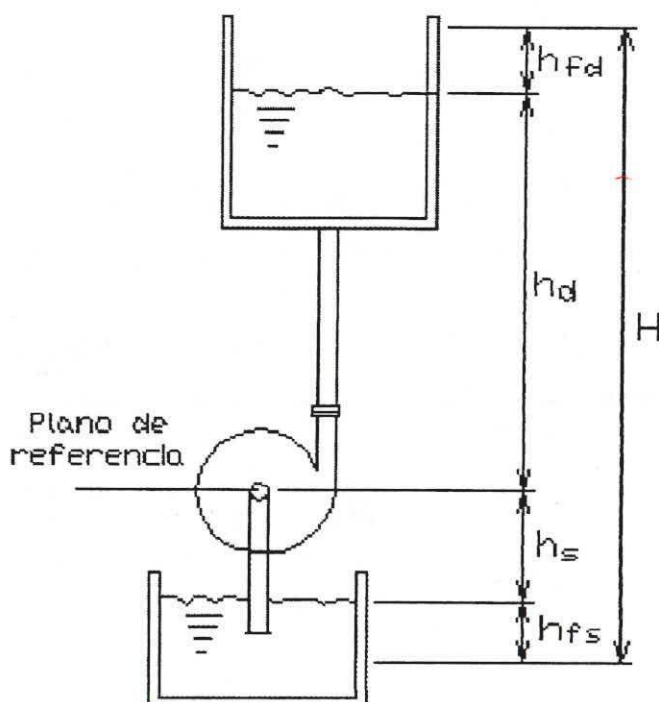


FIGURA 3.2 VARIABLES PARA EL CALCULO DE LA CARGA DE BOMBA

Donde:

H : Carga total

h_d : Carga de descarga estática

h_s : Carga estática de succión

h_{fd} : carga por fricción en la descarga

h_{fs} : Carga por fricción en la succión

$\frac{V_d^2}{2g}; \frac{V_s^2}{2g}$: Cargas de velocidad en la descarga y succión

$$\text{Sí } h_f = f \frac{L}{d} * \frac{V^2}{2g} \quad \text{Carga por fricción} \quad (3.3)$$

Donde:

f : factor de fricción

L : longitud de la tubería

d : diámetro de la tubería

$\frac{V^2}{2g}$: carga de velocidad

Para obtener el factor de fricción se necesita calcular primeramente la relación:

$\frac{\varepsilon}{d}$ donde :

ε : Relativa (tubería HF) = $259.08 \times 10^{-6} m$

d : Diámetro de la tubería

Entonces $\frac{\varepsilon}{d} = \frac{259.08 \times 10^{-6}}{0.508} = 0.00051$

El número Reynolds con estas condiciones es igual a:

Donde

$$R = 1.06 \times 10^8$$

De la tabla (APENDICE A) se obtiene que el factor de fricción para una tubería de HF es:

$$f = 0.018$$

Además de la tubería se tiene los accesorios de esta que también generan pérdida de carga por la que es necesario analizarla.

La longitud equivalente para accesorios se calcula con:

$$Leq = \frac{K}{f} d \quad (3.4)$$

Donde :

K : coeficiente de pérdida

d : diámetro hidráulico (accesorio)

La tabla (4) muestra los coeficiente de pérdida para los accesorios presentes a lo largo de la tubería de descarga.

TABLA 4

COEFICIENTES DE PERDIDA

Válvula de compuerta	$K = 0.03$
Codo de 90°	$K = 0.1$
Reducción brusca	$K = 0.42(1 - (D_2/D_1)^2) ; K = 0.0586$

La fuerza de impacto aplicada sobre el cuerpo de la compuerta se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_w = (\rho V_n A) \mu : \quad (3.5)$$

Donde.

ρ : densidad de AA- SS

$V_n = \mu$: velocidad del fluido

A : área de la sección transversal de la tubería.

3.2.3 Cálculos

CÁLCULO DE LA CARGA ESTÁTICA

Para el cálculo de la carga estática se tiene la ecuación (3. 1)



$$F_R = \rho g b \left(DL + \frac{L^2}{2} \right)$$

Reemplazando:

$$F_R = 1100 * 9.8 * 0.96 \left(1.735 * 0.915 + \frac{0.915^2}{2} \right)$$

$$F_R = 20761.12N$$

CALCULO DE LA CARGA DINÁMICA

Primeramente realizo el cálculo de la longitud equivalente de los accesorios del sistema de bombeo utilizando la ecuación (3.4)

$$Leq = \frac{K}{f} d \quad \text{donde:}$$

$$f = 0.018$$

$$d = 0.508m$$

La tabla 5 nos muestra los resultados de longitud equivalente de codos, válvulas y reducciones que se encuentran dentro del sistema de bombeo, los coeficientes de perdida se muestran en la tabla 4.

TABLA 5

LONGITUDES EQUIVALENTES

ACCESORIO	CANTIDAD	K	Leq.	Leq. final
Codo 90°	2	0.21	5.93	11.86
Válvula de compuerta	1	0.03	0.84	0.84
Reducción	1	0.059	1.665	1.665
Leq. total				14.371

De esta forma obtenemos la longitud equivalente total de los accesorios, esta longitud se suma a la de la tubería instalada.

Como se quiere determinar la carga de fricciones es necesario el valor de la velocidad del agua que pasa por la tubería, de la curva de la bomba (APENDICE B) obtenemos el caudal, con este valor obtenemos la velocidad de descarga y succión.

Cálculo de la velocidad

$$Q = V * A$$

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

$$Q = 2725 m^3 / h$$

$$A_d = 0.20268 m^2$$

$$A_s = 0.27556 m^2$$

$$V_d = 3.7346 m / sg$$

$$V_s = 2.7469 m / sg$$

Cálculo de carga por fricción, ecuación (3.3)

$$h_f = f \frac{L}{d} * \frac{V^2}{2g} \quad \text{si:}$$

La longitud total es igual a la suma de la equivalente de accesorios, descarga estática y estática de succión. El valor de f es considerando que en todos los elementos existe fricción.

$$f = 0.018$$

$$L = 14.371 + 18 + 3 = 35.371 m$$

Reemplazando:

$$h_f = 0.018 * \frac{35.371}{0.508} * \frac{3.7346^2}{2 * 9.8} = 0.892 m$$

Para determinar la carga total en la bomba aplico la ecuación (3.2)

$$H = h_d + h_s + h_{fd} + h_{fs} + \frac{V_d^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g}$$

$$H = 18 + 3 + 0.892 + \frac{3.7346^2}{2 * 9.8} - \frac{2.7469^2}{2 * 9.8} = 23.11m$$

Observando la curva de la bomba (APENDICE B). Para el valor de carga obtenido se tiene que la eficiencia a la que trabaja la bomba es del 83%. Para el caso se realiza el cálculo para una carga nominal en la bomba de 12000 GPM. La fuerza aplicada directamente sobre una superficie por el agua durante el bombeo esta dada por la ecuación (3.5).

$$F_w = (\rho V_n A) \mu$$

Reemplazando:

$$F_w = 1100 * 3.7346 * 0.202683 * 3.7346$$

$$F_w = 3109.55N$$

En la Planta de Tratamiento existen cuatro bombas instaladas en paralelo, se ha decidido observando el impacto del agua directo en el momento que la cámara se encuentra vacía que sobre cada una de las compuertas la carga de impacto es aproximadamente 1.5 de la fuerza que produce cada bomba, por consiguiente a fuerza total soportada por una compuerta esta dada por la suma de la fuerza estática mas 1.5 de la fuerza dinámica, o sea:



Fuerza estática	20768.2 N.
Fuerza dinámica	4664.3 N.
Fuerza total	25432.5 N.

Esta es la fuerza total aplicada sobre cada compuerta utilizada para el análisis

CALCULO DE LA CARGA DE OPERACIÓN

Considerando la carga de operación como la altura a la que se eleva la compuerta esto es 0.8 m desde la parte inferior y aplicando la ecuación (3.1) a estas condiciones se obtiene:

$$F_{op} = \rho g b \left(DL + \frac{L^2}{2} \right)$$

$$F_{op} = 1100 * 9.8 * 0.96 \left(1.85 * 0.4 + \frac{0.4^2}{2} \right) = 8486 N$$

$$F_{op} = 865.92 Kgf$$

El contacto promedio de operación de la compuerta es asumido desde los primeros 40 cm sobre la base hasta los 80 cm a los que se detiene la compuerta.

El valor de la fuerza dinámica cuando la compuerta se encuentra operando o sea sube o baja se considera que el

el agua golpea los primeros 0.4 m como promedio durante su movimiento, es así que la carga dinámica es de 2039.4 N

Fuerza estática	8486 N.
Fuerza dinámica	2039.4 N.
Fuerza total	10525.4 N.

3.3 Selección de Materiales.

El diseño de las compuertas se lo desarrolla con materiales de acuerdo a la norma AWWA con la finalidad de que los materiales acogidos sean los apropiados para esta Planta de Tratamiento.

3.3.1 Propiedades de los Materiales a Utilizar

Considerando las propiedades corrosivas de las aguas servidas y teniendo en cuenta que cada uno de los elementos de la compuerta se encuentran permanentemente sumergidos en la tabla 6 se describe el tipo de materiales para cada una de las partes del sistema compuerta, estos son seleccionados de acuerdo a estándares para la construcción de compuertas en hierro fundido.

Dentro de la sección 3.4 en el diseño de los componentes se da a conocer las propiedades del material con que se

construye cada elemento, estos datos sirven para el cálculo de la resistencia y dentro del diseño.

TABLA 6

**MATERIALES SELECCIONADOS PARA LOS
COMPONENTES DE LA COMPUERTA**

ELEMENTO	MATERIAL	ESTÁNDAR
Cuerpo de la compuerta	Hierro fundido	ASTM A48
Estructura principal	Hierro fundido	ASTM A48
Pedestal	Tubería de acero al C	ASTM A-53
Vástago	Acero inoxidable	AISI 420
Sellos	Acero inoxidable	AISI 420
Volante	Acero bonificado	AISI 4140
Porta rodamiento	Acero inoxidable	AISI 420
Contra tuerca	Bronce fundido	SAE 64
Bocín	Bronce fundido	SAE 64
Cuñas	Bronce fundido	SAE 64
Pernos y tuercas	Acero inoxidable	AISI 420

3.4 Diseño de Componentes.

3.4.1 Cuerpo de la Compuerta.

RESISTENCIA DE LA VIGA PRINCIPAL

Viga principal se denomina a las vigas que atraviesan horizontalmente el cuerpo de la compuerta, éstas se encuentran apoyadas únicamente en los extremos, o sea donde se ubican los sellos, el momento que se ponen en contacto el sello y contrasello se realiza trabajo. Para la selección de estas vigas asumo que estas soportarán toda la fuerza del agua, en la figura (3.3) se esquematiza la distribución de la carga para cada una de las vigas que conforman el cuerpo de la compuerta.

Para el cálculo de la fuerza estática aplicada sobre cada viga se utiliza la ecuación (3.1) para cada sección como muestra la figura (3.3)

$$F_R = \rho g b \left(DL + \frac{L^2}{2} \right) \quad (3.1)$$

$$F_R = \rho g b \left[Dy + \frac{y^2}{2} \right]_0^L$$

$$F_R = \rho g b \left[D(l_1 - l_0) + \left(\frac{l_1^2}{2} - \frac{l_0^2}{2} \right) \right]$$

Para la viga 1 ;

$$l_1 = 0.1525m$$

$$l_0 = 0$$

$$F_R = 1100 * 9.8 * 0.96 \left(1.735 * 0.1525 + \frac{0.1525^2}{2} \right) = 2858.5N$$

Para la viga 2 ;

$$l_1 = 0.4575m$$

$$l_0 = 0.1525m$$

$$F_R = 1100 * 9.8 * 0.96 \left(1.735 * 0.4575 + \frac{0.4575^2}{2} \right) = 9297.5N$$

$$F_R = 9297.5 - 2858.5 = 6439N$$

De la misma forma para las vigas 3 y 4 los resultados se muestran en la tabla 7 , para la carga dinámica sobre cada viga se divide la fuerza total para cada uno de los sectores sobre los que actúa.

TABLA 7

CARGAS SOPORTADAS POR LAS VIGAS HORIZONTALES

	CARGA ESTATICA (N)	CARGA DINAMICA (N)	CARGA TOTAL (N)
VIGA 1	2858.5	777.4	3635.9
VIGA 2	6439.0	1554.8	7993.8
VIGA 3	7401.7	15554.8	22956.5
VIGA 4	4061.8	777.4	4839.2



Los resultados de la tabla 7 muestran que la viga 3 es la que soporta la mayor carga, por lo cual es la viga en la que se calcula el momento y la fuerza máxima para aplicar el criterio de diseño.

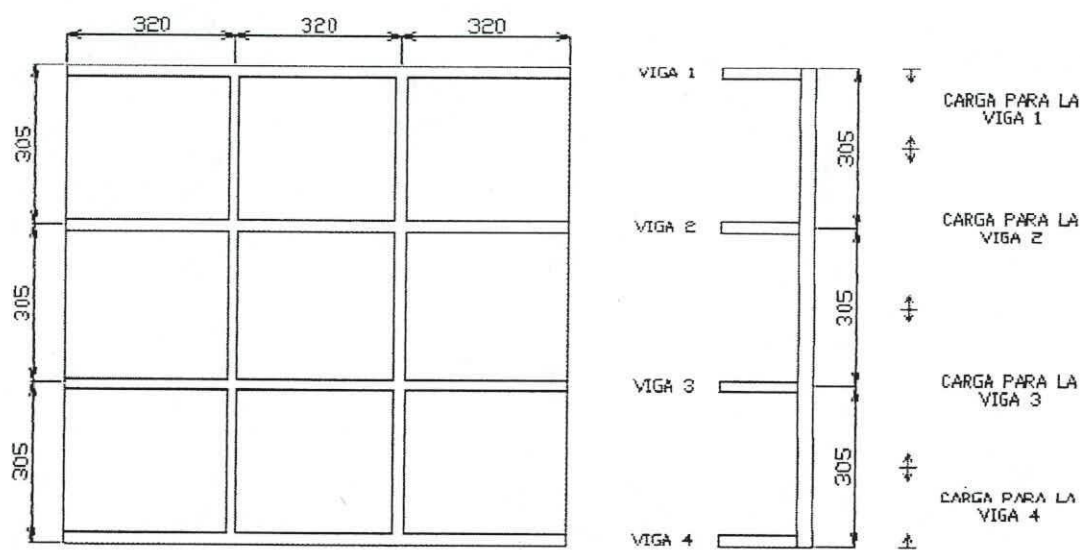


FIGURA 3.3 UBICACIÓN DE LA CARGA HIDRÁULICA SOBRE LAS VIGAS HORIZONTALES

VIGA 3 = 913.93 Kgf.

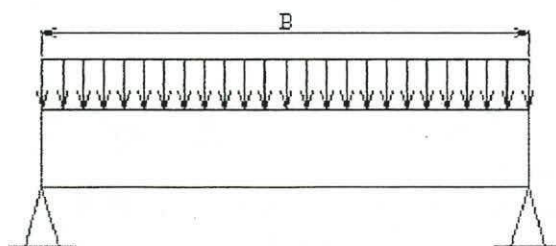


FIGURA 3.4 REPRESENTACION DE LA CARGA
SOPORTADA POR LA VIGA

MOMENTO PRODUCIDO POR LA CARGA DISTRIBUIDA

Se considera que durante el trabajo de la viga se muestra del tipo simplemente apoyada en los extremos, estos apoyos son los sellos laterales, entonces el momento esta dado por:

$$M = \frac{P}{2} \frac{B}{2} * \frac{1}{2} = \frac{P}{8} B$$

Donde:

M: momento máximo

P: carga

B: longitud del elemento

$$M = \frac{913.93}{8} 96 = 1074.782 Nm$$

FUERZA CORTANTE

La máxima fuerza cortante se calcula como:

$$F_c = \frac{P}{2}$$

$$F_c = \frac{913.93}{2} = 4478.26 N$$

Este es el momento y la fuerza que actúa sobre el elemento viga, con esto pasamos a calcular los esfuerzos

TABLA 8

PROPIEDADES MECANICAS DEL HIERRO FUNDIDO

PROPIEDADES DEL HIERRO FUNDIDO

S _{ut} (Mpa)	S _{uc} (MPa)
179.14	668.33

Considerando que la viga se construye de sección rectangular constante donde defino un valor fijo de la altura, teniendo como única variable al espesor.

Para Una viga de sección rectangular la inercia esta dada por

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad \text{Donde } b \text{ es el ancho de la viga}$$

Tomo como valor fijo de la altura $h = 0.1 \text{ m}$

ESFUERZO POR FLEXION

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} = \frac{Mh/2}{2bh^3} = \frac{6M}{bh^2} = \frac{644869.2}{b} (N/m)$$

ESFUERZO CORTANTE

$$\tau_{xy} = \frac{3V}{2A} = \frac{3V}{2bh} = \frac{67173.9}{b} (N/m)$$

Los esfuerzos principales de valores distintos de cero correspondientes se calculan con:

ECUACION DE ESFUERZOS PRINCIPALES

$$\sigma_A, \sigma_B = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

$$\sigma_A, \sigma_B = \frac{644869.2}{2b} \pm \sqrt{\left(\frac{644869.2}{2b}\right)^2 + \left(\frac{67173.9}{b}\right)^2}$$

Entonces se tiene: $\sigma_A = \frac{651792.16}{b}$; $\sigma_B = -\frac{6922.963}{b}$

Aplicando la teoría de Coulomb-Mohr para $\sigma_A \geq 0$; $\sigma_B < 0$

$$\frac{\sigma_A}{S_{ut}} - \frac{\sigma_B}{S_{uc}} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{0.65179216}{b(179.14)} - \frac{-0.006922963}{b(668.33)} = \frac{1}{n} \quad \text{Si } n = 5$$

el espesor de las vigas será: $b = 18.24mm$

Finalmente el valor del espesor b que se selecciona es:

$$b = 20mm$$



RESISTENCIA DE LA COLUMNA

Columna se denomina a las vigas o nervios fundidas verticalmente que se encuentran entre las vigas principales como se aprecia en la figura (3.5)

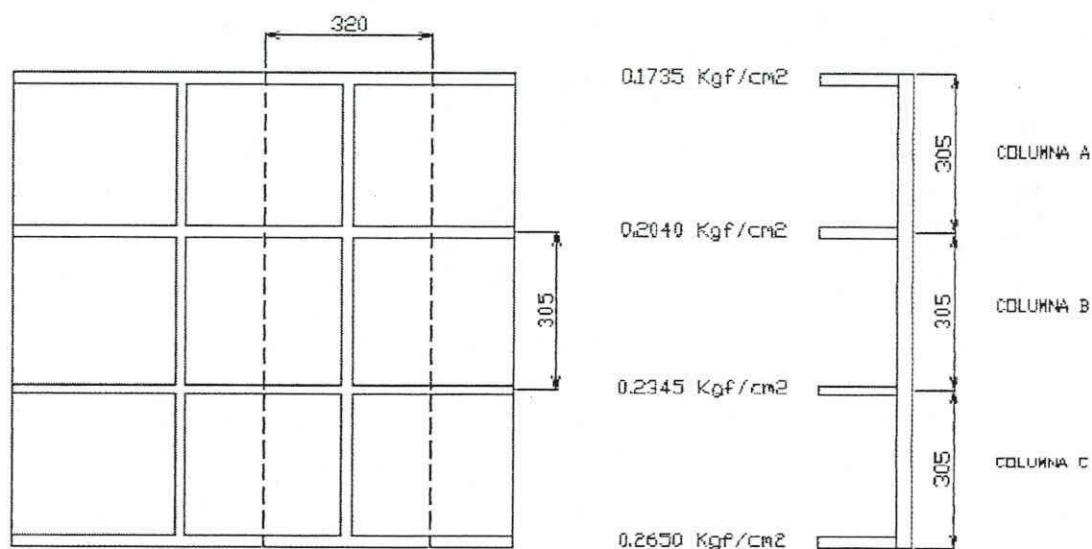


FIGURA 3.5 UBICACIÓN DE LA CARGA HIDRÁULICA SOBRE LAS COLUMNAS

Primeramente se calcula la carga que soporta cada una de las columnas debido a la fuerza estática y dinámica. En la figura (3.6) se puede apreciar la distribución de la carga de agua que actúa sobre las vigas verticales, de aquí se deduce la ecuación (3.6)

$$P = \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) ab \quad (3.6)$$

reemplazando:

$$P_A = \left(\frac{1.7 + 1.999}{2} \right) 32 * 30.5 = 1805.3 N$$

$$P_B = \left(\frac{1.999 + 2.2981}{2} \right) 32 * 30.5 = 2097 N$$

$$P_C = \left(\frac{2.2981 + 2.597}{2} \right) 32 * 30.5 = 2388.7 N$$

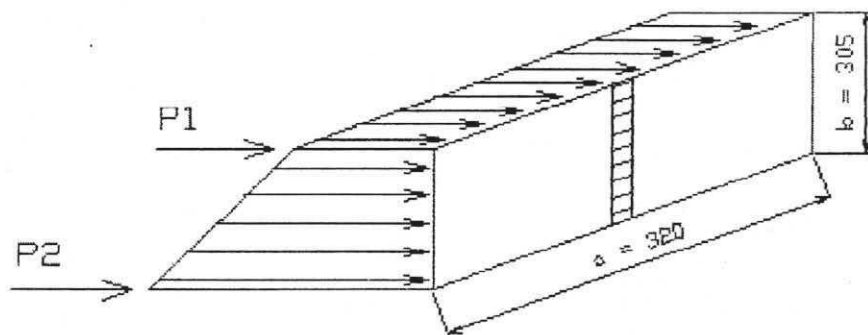


FIGURA 3.6 REPRESENTACION DE LA CARGA SOPORTADA POR LA COLUMNA

Los resultados de las cargas soportadas por las columnas se muestran en el tabla 9. El tramo de columna C soporta la mayor carga y será el elemento de análisis.

TABLA 9

CARGAS SOPORTADAS POR LAS COLUMNAS

P_A	1805.3 N
P_B	2097 N
P_C	2388.7 N

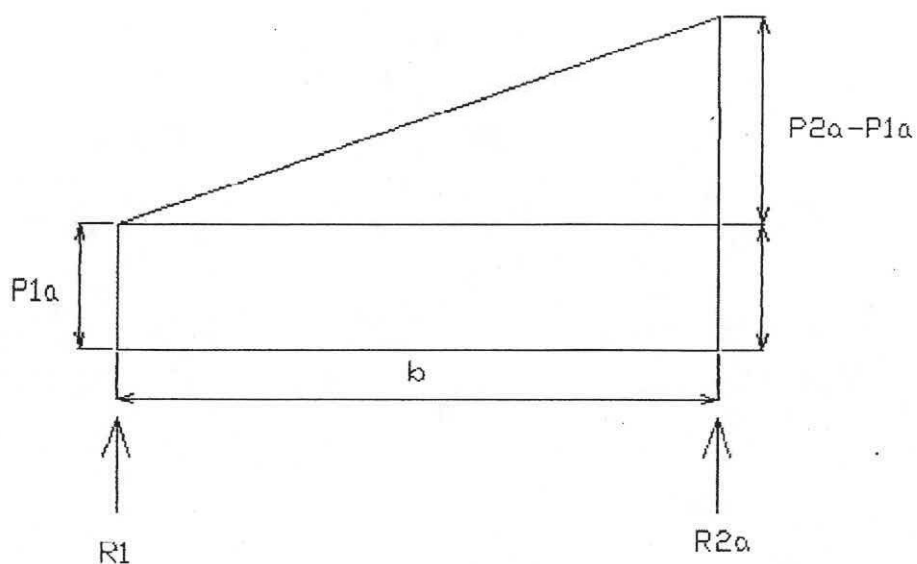


FIGURA 3.7 REPRESENTACION PARA EL CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS CORTANTES

ESFUERZOS CORTANTES POR REACCIÓN

Para calcular los esfuerzos cortantes en el tramo C se calcula las reacciones en los extremos para lo cual se utiliza las siguientes ecuaciones, el valor mas alto se lo utiliza para el análisis.

$$R_1 = \frac{P_1ab + 2P_2ab}{6}$$

$$R_2 = \frac{2P_1ab + P_2ab}{6}$$

Reemplazando:

$$R_1 = \frac{(2.2981 + 2 * 2.597)}{6} 32 * 30.5 = 1218.7N$$

$$R_2 = \frac{(2 * 2.2981 + 2.597)}{6} 32 * 30.5 = 1170.1N$$

TABLA 10

ESFUERZOS CORTANTES POR REACCION

TRAMO C	R _{1C} =	1218.7 N
	R _{2C} =	1170 N

R_{max.} = 1218.7 N

CÁLCULO DEL MOMENTO POR FLEXIÓN

Los momentos máximos se producen en los extremos, o sea en los puntos de empotramiento para su cálculo se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$M_1 = \frac{(3P_1 + 2P_2)ab^2}{60}$$

$$M_2 = \frac{(2P_1 + 3P_2)ab^2}{60}$$

Reemplazando:

$$M_1 = \frac{(3 * 2.2981 + 2 * 2.597) * 0.32 * 30.5^2}{60} = 60.07 Nm$$

$$M_2 = \frac{(2 * 2.2981 + 3 * 2.597) * 0.32 * 30.5^2}{60} = 61.45 Nm$$

TABLA 11

MOMENTOS POR FLEXION

TRAMO C	M _{1C} =	60.07 Nm
	M _{2C} =	61.45 Nm

$$M_{\max.} = 61.45 Nm$$

Para una viga de sección rectangular la inercia esta dada por

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad \text{donde } b \text{ es el ancho de la viga}$$

Tomo como valor fijo de la altura $h = 0.1 \text{ m}$

ESFUERZO POR FLEXION:

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} = \frac{6M}{bh^2} = \frac{36872.4}{b} (N/m)$$

ESFUERZO CORTANTE:

$$\tau_{xy} = \frac{3V}{2A} = \frac{3V}{2bh} = \frac{18279}{b} (N/m)$$

Los esfuerzos principales de valores distintos de cero correspondientes se calculan con:

ECUACION DE ESFUERZOS PRINCIPALES

$$\sigma_A, \sigma_B = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

$$\sigma_A, \sigma_B = \frac{36872.4}{2b} \pm \sqrt{\left(\frac{36872.4}{2b}\right)^2 + \left(\frac{18279}{b}\right)^2}$$

$$\text{Entonces se tiene: } \sigma_A = \frac{44398}{b} ; \sigma_B = -\frac{7525.6}{b}$$

Aplicando la teoría de Coulomb-Morh para $\sigma_A \geq 0; \sigma_B < 0$



$$\frac{\sigma_A}{S_{ut}} - \frac{\sigma_B}{S_{uc}} = \frac{1}{n}$$

reemplazando:

$$\frac{0.044398}{b(179.14)} - \frac{-0.0075256}{b(668.33)} = \frac{1}{n} \quad \text{Si } n = 5$$

el espesor de las vigas será: $b = 1.3mm$

Para efectos de construcción y mantener una regularidad las columnas tendrán el mismo espesor que las vigas horizontales esto es :

$$b = 20mm$$

RESISTENCIA DE LA PANTALLA

La pantalla es la cara propia de la compuerta. Para placas rectangulares o cuadradas de espesor constante en las cuales predomina el esfuerzo de flexión los esfuerzos máximos se calculan mediante la ecuación (3.7) :

$$\sigma = K \frac{Wr^2}{t^2} \quad (3.7)$$

Donde:

W : carga distribuida

r : lado menor para placas rectangulares

K : factor (tablas)

t : espesor constante de la placa

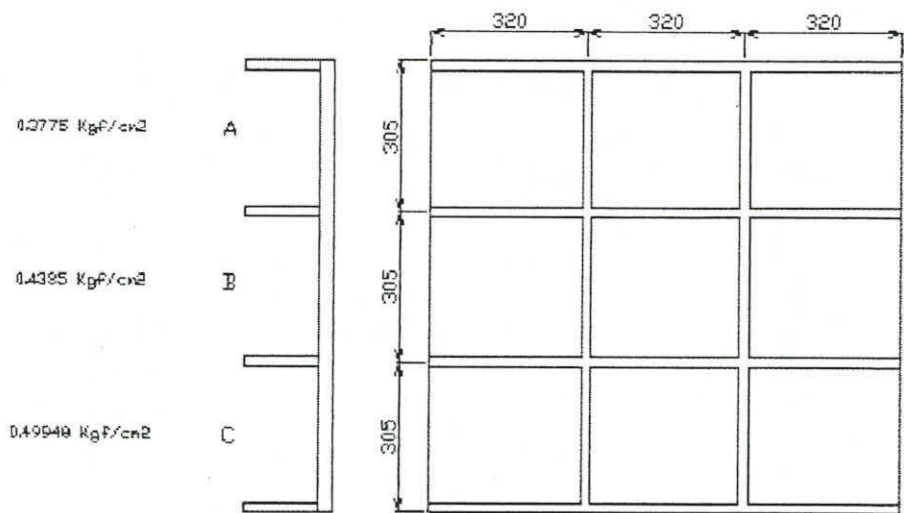


FIGURA 3.8 UBICACIÓN DE LA CARGA HIDRÁULICA SOBRE LA PANTALLA

En la tabla (APENDICE C) se encuentra el valor de K para accesorios en hierro fundido. Para las secciones A, B y C utilizo la ecuación (3.7) obteniendo los resultados mostrados en la tabla 12.

TABLA 12

CARGAS APLICADAS SOBRE LA PANTALLA

	r (cm)	K (tabla...)	t (cm)	W (N/cm ²)	σ MPa
A	30.5	0.308	0.8	3.69	16.56
B	30.5	0.308	0.8	4.29	19.24
C	30.5	0.308	0.8	4.89	21.91

Aplicando la teoría del esfuerzo máximo (Rankine) supone que la falla ocurre cuando el máximo esfuerzo principal alcanza el esfuerzo de fluencia en una probeta a tracción o compresión .

Por consiguiente:

Sí σ calculado $<$ 179.14 MPa o

21.91 MPa $<$ 179.14 MPa entonces no falla

Si cumple con esta relación la compuerta no falla, considero una pantalla con espesor de 25mm por motivos de seguridad y para contrarrestar efectos de corrosión.

3.4.2 Marco guía

El marco guía es un complemento del cuerpo de la compuerta, se construye de hierro fundido que tiene colocadas unas contra cuñas y su función principal es ajustar las cuñas permitiendo un contacto fuerte de los sellos y contrasellos y así trabaje el mecanismo eficientemente.

El marco guía esta formado por dos parantes, uno derecho y otro izquierdo que son empernados a la pared a nivel del marco, con pernos de anclaje, el alineamiento de los parantes debe ser preciso al momento del montaje ya que la compuerta se desliza libremente sobre los canales guía, para ajustarse al

llegar la compuerta al punto más bajo permitiendo que el cuerpo selle, esto se logra calibrando las cuñas de apriete colocadas en el cuerpo. La forma de los parantes se la puede apreciar en su plano correspondiente.

3.4.3 Vástago

El vástago es uno de los principales componentes por ser el elemento en tensión que soporta todo el peso de la compuerta y fuerzas externas, como la fricción. Por esta razón antes de seleccionar el tipo de tornillo se calcula la carga de operación para bajar y subir la compuerta.

CARGA DE OPERACIÓN

El peso de la compuerta de hierro fundido incluido el vástago y varios accesorios como cuñas, sellos, pernos, etc, es aproximadamente el siguiente:

Peso total de la compuerta y accesorios $W_c = 2248N$

CALCULO DE LA FUERZA DE FRICCIÓN PRODUCIDA POR EL SELLO

El sello de la compuerta lo realiza el marco metálico que impide la filtración de un lado al otro, durante el proceso de cierre de la compuerta se produce una fricción entre el sello y

el marco fijo, esta fuerza debe ser tal que cuando la compuerta se detenga y llegue al punto mas bajo los sellos se topen y trabajen, esto se logra calibrando las cuñas de apriete. Para el cálculo de la fuerza de fricción la calculo con la siguiente ecuación:

$$F_{f_s} = \mu(P_s + P_{H_2O})e * \sum L$$

Donde:

F_{f_s} : fuerza de fricción

μ : coeficiente de fricción = 0.78

P_s : presión de la viga contra el sello = 98 KN/m²

P_{H_2O} : presión del agua = 28.95 KN/m²

e : ancho del sello (contacto) = 25 mm

$\sum L$: longitud de contacto del sello = 2790 mm

Remplazando:

$$F_{f_s} = 0.78(98 + 28.98)0.025 * 2.79 = 6.908KN$$

El valor del coeficiente de fricción se obtiene de la tabla del (APENDICE D) producto del contacto acero-acero en condiciones húmedas, el valor de la presión viga contra sello es experimental y utilizada para el diseño de compuertas.

FUERZA DE FRICCIÓN PRODUCTO DE LA OPERACIÓN AL ACCIONAR LA COMPUERTA

Durante la operación (accionamiento)de la compuerta se produce una fricción producto de la fuerza de operación y del coeficiente de fricción. Para esta fuerza utilizo la siguiente ecuación.

$$F_{fop} = \mu_K * F_{op}$$

F_{fop} : fuerza de fricción de operación

μ_K : coeficiente de fricción = 0.42

F_{op} : carga de operación = 10.525 KN

Remplazando:

$$F_{fop} = 0.42 * 10525 = 4.42KN$$

EMPUJE DEL AGUA:

Otra de las fuerzas producto de la acción de bajar la compuerta es el empuje que ejerce el agua en contra del movimiento de esta, para lo cual tenemos que:

$$\varepsilon = \frac{W_c}{\delta_i}$$

ε : empuje

W_c : peso de la compuerta = 2.248 KN

δ_i : peso especifico relativo = 7.079

Remplazando:

$$\varepsilon = \frac{2248}{7.079} = 317.56N$$

FUERZA TOTAL APLICADA AL SUBIR LA COMPUERTA

Durante la acción de subir la compuerta las fuerzas que actúan son:

$$F_p = F_{fs} + F_{fop} + W_c$$

$$F_p = 6908 + 4420 + 2248 = 13576N$$

FUERZA TOTAL APLICADA AL BAJAR LA COMPUERTA

Durante la acción de bajar la compuerta, las fuerzas que actúan sobre esta son:

$$F_n = F_{fs} + F_{fop} + \varepsilon - W_c$$

$$F_n = 6908 + 4420 + 317 - 2248 = 9397N$$

Con estos valores procedo al calculo y selección del tornillo sin fin o vástago adecuado para este trabajo.

RESISTENCIA DEL VÁSTAGO

La resistencia del perno de fuerza o vástago en este caso es el factor clave para el diseño y análisis, esto se expresa como resistencia mínima a la tensión o carga.

La carga límite es la fuerza que un perno puede resistir sin experimentar una deformación permanente, la resistencia límite es el cociente entre la carga límite y el área transversal del esfuerzo en tensión. Por lo tanto la resistencia límite corresponde aproximadamente a la fluencia y vale en forma aproximada 90% de la fluencia (estimada con desplazamiento de 0.2%).

CARACTERÍSTICAS DEL VÁSTAGO

Las siguientes características corresponden a las de un tornillo M 32 X 4

l : longitud total = 3m

l_r : longitud roscada = 1.7 m

l_d : longitud no roscada : 1.3 m

p : paso = 4mm

A_t : área de esfuerzo en tensión = 625.2 mm^2

A_r : área al diámetro menor = 574.2 mm^2

A_d : área de diámetro mayor = 791.7 mm^2

TABLA 13

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL VASTAGO

PROPIEDADES MECANICAS			
AISI	Material	Resistencia de fluencia S_y	Resistencia última S_u
420	Acero inoxidable	MPa 345	MPa 655

Por las condiciones ambientales o el medio en el que trabaja su construcción es de acero inoxidable. Este mecanismo de compuertas debido a los trabajos que se realizan mayor parte del tiempo permanecen abiertas y con muy poca frecuencia se cierran por lo que se considera como un equipo sometido a carga estática.

RIGIDEZ EFECTIVA

La rigidez efectiva estimada del tronillo de maquinaria en la zona de sujeción K_b es:

$$K_b = \frac{A_d A_t E}{A_d l_t + A_t l_d}$$

$$K_b = \frac{791.7 * 10^{-6} * 625.2 * 10^{-6} * 345 * 10^6}{791.7 * 10^{-6} * 0.17 + 625.2 * 10^{-6} * 0.13} = 789 \text{ KN/m}$$

No existe elemento de junta por consiguiente en valor de la rigidez de los elementos de unión $K_m = 0$

CALCULO DE LA PRECARGA F_i

La precarga es producto de la tensión a la que se somete el perno por mantenimiento antes de que la compuerta este en funcionamiento, tanto para cargas estáticas como para cargas de fatiga la precarga se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_i = 0.75 F_p$$

para conexiones reutilizables la carga límite es igual a:

$$F_p = A_t S_p = A_t 0.85 S_y \quad \text{finalmente}$$

$$F_i = 0.75 A_t 0.85 S_y = 0.75 * 625.2 * 10^{-6} * 0.85 * 345 * 10^6 = 137.5 \text{ KN}$$

CARGA FINAL A LA QUE SE ENCUENTRA SOMETIDO EL TORNILLO

Finalmente la carga a la que se somete el tornillo durante el trabajo esta dado por la ecuación:

$$F_b = CP + F_i$$

$$C = \frac{K_b}{K_b + K_m} \quad \text{Si : } K_m = 0$$

entonces $C = 1$

P : carga externa máxima = 13.57KN

$$F_b = 1 * 13575 + 110000 = 123.6KN$$

Si el valor crítico del esfuerzo es la resistencia límite S_b esto es igual:

$$S_p = \frac{CnF_p}{A_t} + \frac{F_i}{A_t} \quad \text{donde :}$$

$$S_p = 0.85S_y = 0.85 * 345 * 10^6 = 293.25MPa$$

De la ecuación anterior se despeja n por lo cual el valor del factor de carga para el vástago seleccionado es igual a:

$$n = \frac{S_p A_t - F_i}{CP}$$

$$n = \frac{293.25 * 10^6 * 625.2 * 10^{-6} - 110000}{1 * 13.57 * 10^3} = 5.4$$

Si $n > 1$ como factor de seguridad por consiguiente el tornillo seleccionado resistirá la carga.

3.4.4 Tuerca del Vástago

La tuerca y contratuerca son dos importantes elementos dentro del mecanismo de elevación. La tuerca se encuentra ubicada a nivel del cuerpo de la compuerta, cuando ésta se cierra la tuerca se encuentra sumergida totalmente, su función es la de entrar en contacto con la compuerta permitiendo que ésta suba o baje según la necesidad.

Para el tornillo seleccionado, M32 x 4 -2A el término 2A indica que se tiene una tolerancia con holgura media. Las tolerancias se basan en el ajuste de la longitud igual al diámetro nominal. Teniendo en consideración que los grados de tolerancia se indican como los mismos para el diámetro de cresta de la tuerca y el tornillo y para los diámetros de paso de los mismos, la tuerca seleccionada es del tipo:

M32x4-2B, o sea tiene la mismas características geométricas del filete de rosca que el tornillo, el término 2B indica que tiene una tolerancia con holgura media que permite un funcionamiento aceptable si se le aplica un lubricante multiuso. Las dimensiones mínimas para su construcción son:

diámetro mínimo : 55mm

altura o longitud mínima : 30mm

En el plano referente de la tuerca se aprecian en detalle las dimensiones reales para esta aplicación tomando en consideración restricciones físicas, facilidad de operación e instalación. El material de construcción es fundición de bronce SAE 64 (bronce al plomo-estaño) este material tiene buenas propiedades antifricción, excelente para trabajos de carga y altas presiones, es necesario que se tenga un buen

sistema de lubricación. Otra característica del material es su alta resistencia a la corrosión, dureza de suministro mínima de 75HB en el mercado se encuentra en barras de hasta 160mm de diámetro.

La contra-tuerca es el elemento mecánico de contacto entre el pedestal de la compuerta y el vástago (sin fin), tiene las mismas características geométricas del filete de rosca y propiedades del material que la tuerca. El plano correspondiente a la contratuerca esquematiza la forma adecuada para su construcción.

3.4.5 Pedestal

El pedestal se denomina al elemento mecánico que soporta todo el peso de la compuerta y la fija contra el piso o superficie de apoyo, esta conformado por un tubo y dos placas soldadas en ambos extremos, la placa inferior fija todo el sistema contra una superficie metálica o directamente al concreto de acuerdo al diseño, es importante lograr una perfecta alineación del pedestal al momento de su instalación, de esta forma se evita que la compuerta funcione inclinada y a la larga genere problemas al resto de elementos mecánicos disminuyendo la vida útil del sistema.

La placa superior se acopla al mecanismo de elevación tuerca, volante, rodamientos, por lo cual es igual de importante lograr una buena alineación y rigidez para obtener resultados eficientes en el mecanismo de la compuerta.

TABLA 14

CARACTERÍSTICAS DEL PEDESTAL

PROPIEDADES MECANICAS				
STANDAR L a	RESISTENCIA MECANICA	LIMITE DE ELASTICIDAD	DIÁMETRO NOMINAL	ESPESOR DE PARED
ASTM A-53 grado B t	415 MPa	240 MPa	4"	6.02 mm

La tubería seleccionada como pedestal es de acero al carbono sin costura cédula 40 y con las propiedades mecánicas mostradas en la tabla 15, considerando que la fuerza total aplicada al subir la compuerta es la que soporta el tramo de tubería, calculo el esfuerzo aplicado sobre ésta.

$$Fp = 1575.4N$$

$$Si : \sigma = \frac{F_r}{A}$$

donde

$$A = 1921.5 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{13575.4}{1921.5} = 7.0648 \text{ MPa}$$

Aplicando la teoría del esfuerzo normal máximo se establece que la falla suele ocurrir siempre que uno de los tres esfuerzos normales sea igual o mayor a la resistencia mecánica del material.

$$\text{Tenemos que : } 7.0648 \text{ MPa} \leq 415 \text{ MPa}$$

Se concluye que el tuvo seleccionado para el pedestal resiste la carga aplicada de manera constante sin provocar fallas mecánicas sobre el sistema.

3.4.6 Sistema de Elevación

MOMENTO NECESARIO PARA MOVER LA COMPUERTA

La compuerta tiene trabajo con poca frecuencia ya que la planta de tratamiento solo debe parar en casos de emergencia o en mantenimiento, es por esto el mecanismo de

acción se realiza manualmente con un volante que opera una persona.

La fuerza de fricción del tornillo al subir o bajar la compuerta es una de las fuerzas principales a vencer, las características del tornillo seleccionado M32 X 4 son:

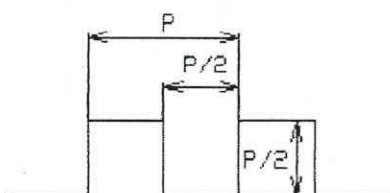


FIGURA 3.9 CARACTERISTICAS DEL TORNILLO SELECCIONADO

donde :

P : paso = 4mm

d : diámetro mayor = 32 mm

d_r : diámetro menor = 27 mm

l : avance (rosca simple) =27.9mm

F_p : fuerza para subir la compuerta = 13.5754 KN

F_n : fuerza para bajar la compuerta = 9.39702 KN

μ : coeficiente de fricción = 0.11

λ : ángulo de hélice de la rosca

Los diagramas de fuerza Figura 3.10 indican las fuerzas y sus direcciones a las que se somete el tornillo al subir y bajar la compuerta.

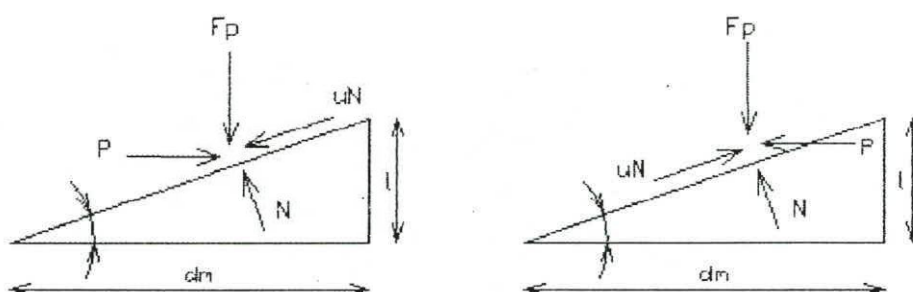


FIGURA 3.10 ESQUEMA DE LAS FUERZAS SOPORTADAS POR EL TORNILLO AL SUBIR(a) Y BAJAR(b) LA COMPUERTA

El cálculo de T es el valor del momento requerido para vencer el rozamiento en la rosca y vencer la fuerza de fricción para mover la compuerta, estos momentos se aplican a la altura del diámetro medio del tornillo.

PARA ELEVAR LA COMPUERTA

El valor del momento para levantar la compuerta es:

$$T_p = \frac{F_p d_m}{2} \left(\frac{l + \pi \mu d_m}{\pi d_m - \mu l} \right)$$

$$T_p = \frac{13575 \cdot 27.96 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \left(\frac{27.9 \cdot 10^{-3} + \pi \cdot 0.4 \cdot 27.96 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 27.96 \cdot 10^{-3} - 0.4 \cdot 27.9 \cdot 10^{-3}} \right) = 155.5 Nm$$

PARA BAJAR LA COMPUERTA

El valor del momento para bajar la compuerta es:

$$T_n = \frac{F_n d_m}{2} \left(\frac{\pi \mu d_m - l}{\pi d_m + \mu l} \right)$$
$$T_n = \frac{9397.02 * 27.96 * 10^{-3}}{2} \left(\frac{\pi * 0.4 * 27.96 * 10^{-3} - 27.9 * 10^{-3}}{\pi * 27.96 * 10^{-3} + 0.4 * 27.9 * 10^{-3}} \right) = 9.6 Nm$$

VOLANTE

El volante es el elemento mecánico con el cual el operador le da movimiento a la compuerta, la fuerza manual requerida para hacer rotar el volante que puede aplicar un hombre de acuerdo a la experiencia en construcción de estos elementos no debe ser mayor a 25 Kgf. La tabla 15 muestra las principales características de los materiales del volante.

TABLA 15

PROPIEDADES DEL MATERIAL PARA EL VOLANTE

MATERIAL	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	ESFUERZO DE CEDENCIA	DUREZA
AISI 4140	882-1029 MPa	686 MPa	275-320 HB

Considerando las propiedades mecánicas del material en que se construye el volante es imposible que este sufra

alguna falla, por lo cual es importante lograr que el operador utilizando la fuerza natural de un hombre no tenga ningún problema en el momento de la operación.

FUERZA APLICADA AL VOLANTE

Para el cálculo de la fuerza aplicada sobre el volante por un operador, se utiliza la siguiente fórmula.

$$F_v = \frac{T_p}{r_v}$$

donde :

T_p : momento máximo = 155.5 Nm

r_v : radio del volante = 0.8 m

$$F_v = \frac{155.5}{0.8} = 194.3 N$$

Sí $194.3 N \leq 196 N$ entonces las dimensiones del volante son las adecuadas.

RODAMIENTOS

Los cojinetes de contacto rodante se proyectan para soportar y ubicar los ejes o partes que rotan en las máquinas. Transfieren las cargas entre los miembros rotatorios y estacionarios y permiten una rotación relativamente libre, con un mínimo de fricción. Consta de elementos rodantes (bolas o

rodillos) entre un anillo exterior y un anillo interior. Se usan las jaulas para interponer espacio entre los elementos rodantes, los anillos exterior e interior están hechos normalmente de acero SAE 52100, endurecido a 60 o 67 ROCKWELL C. Los elementos rodantes se construyen normalmente del mismo material y tienen el mismo acabado que los anillos. Otros materiales para elementos rodantes como acero inoxidable, cerámica y plástico, se usan junto con los distintos materiales para anillos en que la corrosión es un serio problema.

SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS

Es importante recordar que para la selección del tipo de cojinete de elementos rodantes se depende de algunos factores, como, la carga, velocidad, sensibilidad, limitaciones de espacio y necesidad de la ubicación precisa del eje.

Para seleccionar el rodamiento adecuado para un funcionamiento eficiente del mecanismo, se comienza escogiendo el tipo de rodamiento, esto depende de la dirección de la carga con respecto al eje de rotación.

La carga de trabajo o funcionamiento es aplicada en dirección axial a la rotación del eje que sube o baja en

mecanismo, por consiguiente uno de los rodamientos debe trabajar bajo carga axial permanente, el otro rodamiento permitirá una facilidad de operación del sistema por lo que debe ser uno que trabaje bajo carga radial. Los tipos de rodamientos seleccionados son:

Carga Axial → Rodamiento Axial de Rodillos Cilíndricos

Carga Radial → Rodamiento Rígido de bolas de una hilera

La magnitud de la carga es normalmente el factor más importante para determinar el tamaño del rodamiento a utilizar, se selecciona inicialmente en base a su capacidad de carga, comparada con las cargas que tendrá que soportar y a las exigencias de duración y fiabilidad requeridas para la aplicación en cuestión.

La capacidad de carga puede ser dinámica o estática. En las condiciones de trabajo de la compuerta se considera que trabaja bajo una capacidad de carga estática, esta consideración se utiliza cuando los rodamientos giran a velocidades muy bajas, están sometidos a movimientos lentos o cuando están estacionarios bajo carga durante ciertos períodos de tiempo.

La capacidad de carga estática se define como la carga estática a la que corresponde una tensión calculada en el centro de la superficie de contacto más cargada entre elementos rodantes y caminos de rodadura de:

4600 MPa para rodamientos de bolas o rótula.

4200 MPa para todos los demás rodamientos de bolas.

4000 Mpa para todos los demás rodamientos de rodillos.

Otro parámetro a considerar es la vida de un rodamiento, esta se define como el número de revoluciones o de horas a una velocidad constante determinada que el rodamiento puede dar antes de que presente el primer síntoma de fatiga en uno de sus aros o elementos rodantes.

En ensayos de laboratorio y la experiencia obtenida en la práctica se ha demostrado que rodamientos aparentemente idénticos o sea que funcionan en idénticas condiciones tienen vidas diferentes. Es por tanto esencial para el cálculo del tamaño del rodamiento una definición clara del termino vida, según SKF sobre capacidades de carga dinámica se basa en la vida alcanzada o sobrepasada por el 90% de los rodamientos aparentemente idénticos de un grupo lo suficientemente grande, a esta vida se le denomina vida



nominal y esta de acuerdo con la definición ISO. La vida media de los rodamientos es aproximadamente cinco veces la vida nominal.

Para determinar el tamaño del rodamiento requerido en base a la capacidad de carga estática, se emplea un factor de seguridad S_o que representa la relación entre la capacidad de carga estática nominal C_o y la carga estática equivalente P_o , de acuerdo al tipo de cargo se tiene que:

$$P_{or} = F_r \text{ (} F_r \text{ actúa en dirección radial)} = 194.3\text{N}$$

$$P_{oa} = F_a \text{ (} F_a \text{ actúa en dirección axial)} = 13575\text{N}$$

La capacidad de carga estática necesaria C_o se determina mediante la ecuación:

$$C_o = S_o P_o$$

En la tabla 16 se dan los valores del factor de seguridad estático S_o basados en las experiencias sobre rodamientos de bolas y de rodillos para varias clases de funcionamiento y exigencias de rotación suaves.

TABLA 16
FACTORES DE SEGURIDAD ESTATICO

FACTORES			
TIPO	S_o	P_o	C_o
Rodamiento de rodillos	1	13575.4	1575.4
Rodamiento de bolas	0.5	194.3	97.2

El catalogo para selección de rodamiento que se utiliza es el para elementos rodantes SKF. Para el caso de rodamientos de bolas (APENDICE E) se ingresa por la columna de diámetro interior mínimo de la tuerca, o sea 55 mm y la capacidad de carga estática, el que cumple con estas condiciones es el con designación 61813 , las dimensiones de diámetro exterior, interior y ancho no son inconvenientes ya que son variables que al momento de construir pueden ser modificadas.

Para la selección del rodamiento axial de rodillos cilíndricos (APENDICE F) el elemento seleccionado es el con la designación 81112.

3.4.7 Elementos de sujeción

Los pernos y tornillos utilizados para sujetar los sellos, parantes y cuñas son de acero inoxidable 420, este tipo de acero es una aleación al cromo, dotado de buena resistencia a la corrosión, buena pulibilidad, resistencia al desgaste (sellos) y buena maquinabilidad entre otras propiedades. Todos estos elementos de sujeción se encuentran permanentemente sumergidos en las aguas servidas, las dimensiones de pernos y tornillos son las siguientes.

Parantes: pernos de expansión de Ø25 mm X 200 mm

Sellos: tornillos cabeza plana Ø4mm X 10mm

Cuñas: pernos de Ø19mm X 50 mm

3.4.8 Sellos y Cuñas

Son los elementos (los sellos) que al entrar en contacto entre sí impiden el paso de agua, son contruidos de acero inoxidable 420 al cromo-níquel, en especial es un material que por su alta ductilidad tiene excelentes características de formado, cualidades de soldabilidad y buena resistencia a la corrosión principalmente.

Los sellos son platinas ubicadas alrededor del cuerpo de la compuerta en forma de marco sujetadas con pernos también en acero inoxidable, para un buen funcionamiento el sello debe ser instalado sobre una superficie totalmente plana de preferencia mecanizada (referentaza) lo que asegura que no existan claros entre el sello y contrasello que permita la filtración de agua, estos elementos se los puede apreciar en detalle en el plano general de la compuerta.

Las cuñas son los elementos que permiten que la compuerta realice la función de sellar al momento de bajarla y que llegue a la posición mas baja. Las cuñas tienen una forma que permite poderlas calibrar para obtener los mejores resultados al momento de sellar.

De igual manera que la tuerca y contratuerca las seis cuñas se construirán de bronce fundido SAE 64, en general el bronce al plomo-estaño posee muy buenas cualidades antifricción, utilizado para trabajos con cargas y presiones altas es importante mantener un buen sistema de lubricación además de las buenas propiedades anticorrosivas. El plano referente a las cuñas ilustra de forma clara la pieza de trabajo.

CAPITULO 4

4. EVALUACION DEL SISTEMA

La evaluación del mecanismo se realiza en base al proceso de construcción, la fabricación es supervisada en cada paso, esto evitará tener contra tiempos al momento de armar y calibrar el sistema.

4.1 Control de Calidad

Luego de diseñar cada una de los elementos que conforman el mecanismo de la compuerta, se realizo la construcción de los mismos. El control de calidad que se sigue dentro del proceso de construcción va ha permitir disminuir la cantidad de problemas que se presenten al momento de la instalación, calibración y puesta en marcha del equipo. A continuación detallo lo sucedido durante esta construcción.



CUERPO DE LA COMPUERTA

El cuerpo junto con los parantes son las únicas piezas construidas de fundición gris, para su elaboración se siguieron los siguientes pasos:

- Primeramente se construye un modelo hecho de madera, cuyas dimensiones son mayores a las requeridas en los planos en el lugar de la guía y los sellos, de esta manera se puede realizar el maquinado en estas partes para llegar a las dimensiones adecuadas.
- Este modelo sirve para hacer el molde , el cual se forma al comprimiendo arena de molde alrededor del modelo, en este caso el molde se hace en dos partes, de modo que pueda sacarse el modelo, uno es el cuerpo superior de la caja y la otra es el marco inferior. Cuando se saca el modelo, el marco superior se vuelve a colocar sobre el inferior y queda sobre la caja una cavidad, este se llena finalmente con metal para formar la pieza fundida.
- La fundición gris es una aleación de hierro, carbono y silicio que contiene un porcentaje mas elevado de estos dos últimos elementos que el hierro maleable. Debido a que las propiedades son regidas por las proporciones de carbono y

silicio y por la velocidad de enfriamiento de las piezas fundidas, el contenido de carbono varía entre 3 y 4% y de silicio entre 1 y 3%, esto evidencia que el hierro gris no debería considerarse como un material con un solo grupo de propiedades, es así que la ASTM reconoce siete clases que van con una resistencia a la tracción desde 138 a 414MPa, o mas.

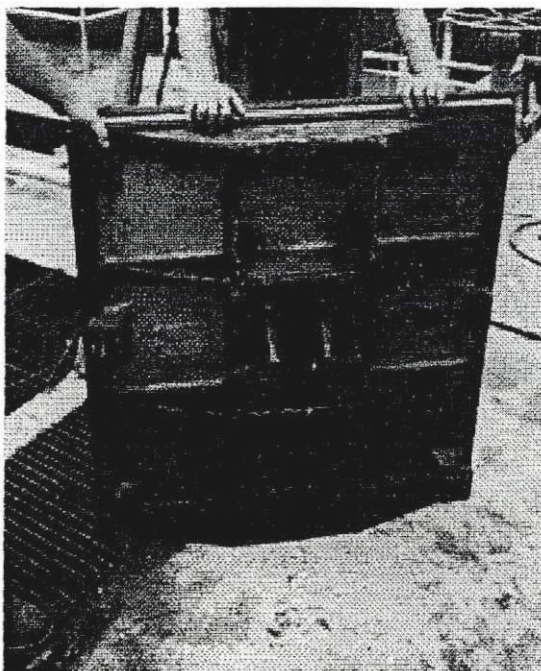


FIGURA 4.1 FUNDICION DEL CUERPO DE LA COMPUERTA

En la figura 4.1 se puede apreciar el cuerpo de la compuerta. Luego de ser fundida es pulida y limpiada para sacar la arena que

se adhiere después de la fundición, la cara plana el donde se colocan los sellos es refrentada para que al momento de sellar no exista fuga con el contrasello, los extremos laterales sobre los que se desliza la compuerta son rectificados para que no exista problema al descender o ascender sobre las guías de los parantes.

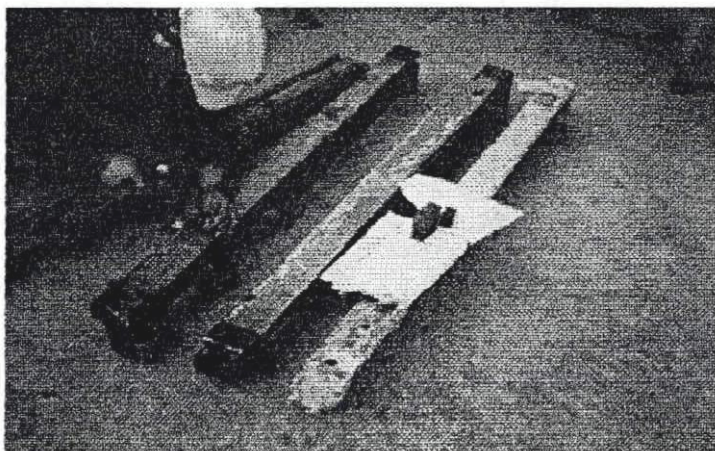


FIGURA 4.2 PARANTES FUNDIDOS

De igual manera que el cuerpo, los parantes son fundidos y quedan como se lo aprecia en la figura 4.2, estos son limpiados y pulidos para retirar la arena que queda después de su fundición, los canales guías son rectificados para evitar problemas durante el deslizamiento de la compuerta.

En la figura 4.3 se aprecia como se rectifica con una máquina fresadora el canal guía hasta llegar a las dimensiones requeridas para su funcionamiento.

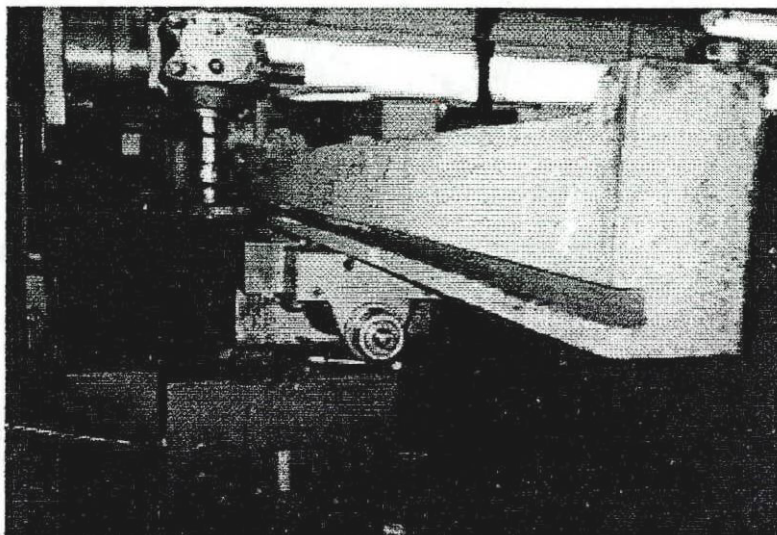


FIGURA 4.3 PARANTE DERECHO DURANTE SU FRESADO

SELLO Y CONTRASELLO

Los sellos y contrasellos son marcos contruidos de platinas en acero inoxidable, estos marcos son solamente punteados y no soldados completamente al momento de armarlos, en su instalación son colocados platina por platina con una base de silicón para luego empernarlos a la cara plana de la compuerta y al marco sobre el concreto respectivamente. Son armados y perforados en pareja para evitar fallas al momento de sellar, la figura 4.4 muestra parte del proceso de su construcción.

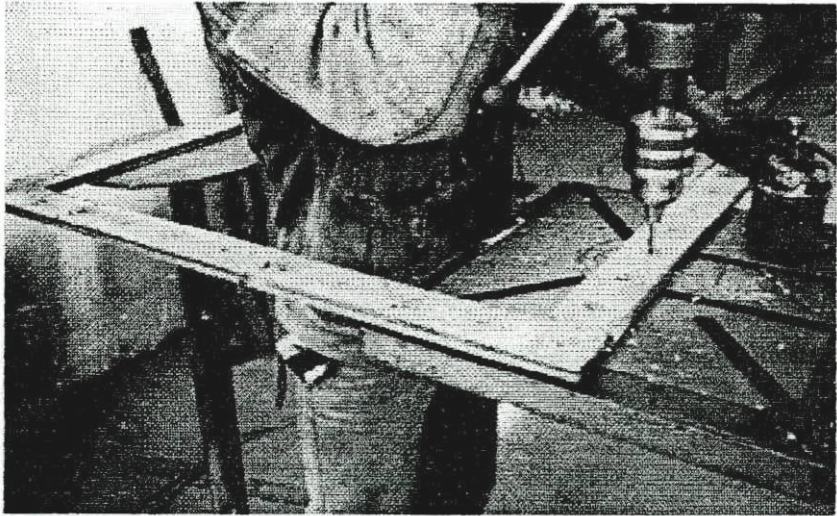


FIGURA 4.4 CONSTRUCCION DE SELLOS

SISTEMA DE ELEVACIÓN

Dentro del mecanismo de elevación tenemos cuatro piezas, todas son trabajadas en el torno y cuya precisión es importante para evitar problemas al momento de armarlas, estas son:

Tuerca

Portatuerca

Contratuerca

El portatuerca como su nombre lo indica contiene a la tuerca y a los rodamientos, se construye con las tolerancias adecuados para que al momento del armado exista el ajuste necesario, esta pieza es refrentada y fabricada totalmente en el torno. La tuerca es la pieza que permite que la compuerta suba o baje y es manipulada

directamente por el volante, está en contacto directo con el vástago y los rodamientos, los cuales permanentemente deben ser lubricados, la tuerca al igual que la contratuerca se construyen con el mismo tipo de rosca que el vástago, las contratuerca siempre se encontrara bajo carga y sumergida, la figura 4.5 ilustra parte del proceso de construcción.



FIGURA 4.5 TUERCA, PORTA TUERCA Y CONTRA TUERCA

PEDESTAL

Siguiendo el proceso de construcción del pedestal, se comienza armando el tubo principal con una placa base, las cartelas y una placa superior. La placa base ira empernada a la base de concreto sobre la cual colgará la compuerta, las cartelas son cortadas con

un equipo de plasma (con pantógrafo) y se encargan de rigidizar al pedestal, la placa superior es mecanizada en el torno y se junta con el porta tuerca mediante unos pernos pasantes(figura 4.6) .

Una adecuada alineación y cuadro entre las placas y el tubo evitará problemas al armar el sistema completo, para la soldadura se utiliza el proceso MIG-MAG con alambre continuo ER 70S-6 y gas de protección.

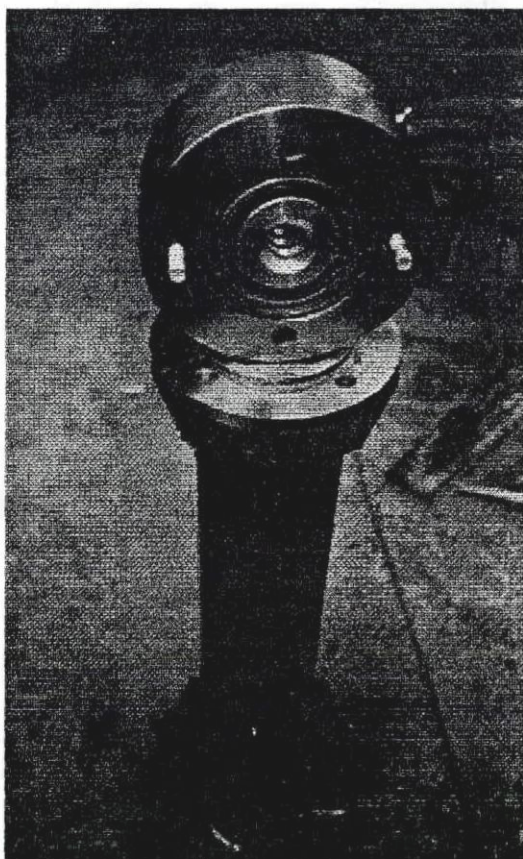


FIGURA 4.6 PEDESTAL ARMADO

4.2 Calibración

Antes del montaje y la calibración se realiza una presentación del mecanismo dentro del taller, armándolo completamente (figura 4.7), aquí se corrigen detalles que puedan causar problemas al momento de la instalación. Luego la compuerta es armada por partes en el lugar de trabajo, se instala en el siguiente orden: contra sellos, parantes, cuerpo (con sellos y cuñas), pedestal, vástago, contratuerca, porta tuerca (con tuerca) y finalmente el volante.

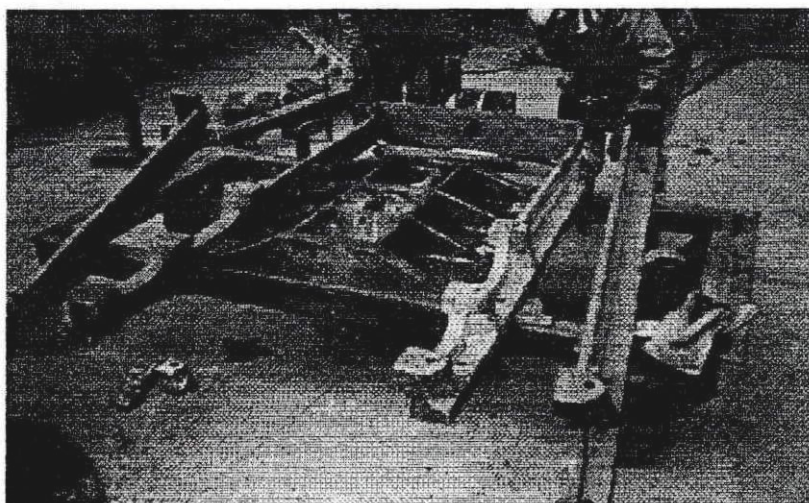


FIGURA 4.7 ARMADO PREVIO AL MONTAJE

Armado todo el sistema se procede a su calibración, para esto se regulan las cuñas ubicadas en el cuerpo de la compuerta utilizando los pernos que la sujetan, los pernos permiten que las cuñas

tengan un juego de hasta 30mm verticalmente, esto se realiza en parejas hasta regular las seis cuñas y en el momento que la compuerta se encuentre en su punto más bajo y los sellos entren en contacto.

Una buena calibración se evidencia al momento de bombear agua y que no exista filtración entre los sellos.



FIGURA 4.8 CALIBRACION

CAPITULO 5

5. EVALUACION FINAL

5.1 Análisis de Resultados

Este proyecto de tesis es una necesidad que se presento dentro de una Planta de Tratamiento de aguas servidas en la ciudad de Guayaquil, motivo por el cual el estudio de diseño se pone en práctica con su construcción.

- Con respecto a los resultados obtenidos en el cuerpo de la compuerta los espesores de los nervios horizontales y verticales varían considerablemente, esto se puede explicar al observar los valores de los esfuerzos principales, que para nervios horizontales es mucho mayor.



- Como se aprecia en la tabla 7 existe una gran diferencia entre la carga aplicada sobre la viga 3 con respecto a las otras, lo que asegura obtener resultados muy conservadores.
- Un elemento importante de revisar es el vástago en el cual los resultados del tipo de perno se obtienen bajo un factor de seguridad de 5.4, esto es aceptable dado que una falla en este elemento impediría un flujo normal de agua sobre los canales trayendo serios problemas durante una emergencia.
- El marco guía conformado por los dos parantes laterales tiene dos únicas funciones, la primera es de guiar a la compuerta libremente para que la fuerza del agua no la desnivele, y la otra es ejercer la presión con las cuñas para realizar el sellado. Los parantes son elementos robustos que se instalan empernados sobre la pared y asentados en el piso, generalmente el diseño se realiza únicamente por la forma que debe tener mas no por la carga aplicada sobre estos.
- Por parte de los sellos, se ha seleccionado un ancho de platina de 300 mm, el contacto total de los sellos no necesariamente garantiza un perfecto sellado o sea puede existir una falta de contacto hasta de un 30% menos, el éxito esta en la calibración pero se trabaja con este ancho para compensar algún

descuadre que se pueda presentar en el momento de la instalación.

- Con respecto al vástago, escojo trabajar con un factor de seguridad de 5 dentro del diseño debido a que se trata del elemento principal en el accionamiento, una falla aquí es complicado y costoso por las condiciones de trabajo donde el bombeo sería suspendido.

Los resultados obtenidos en este análisis, fueron utilizados en la construcción de seis compuertas para dos plantas de tratamiento, se siguió el proceso de construcción sugerido en el capítulo 4 evitando que se presenten mayores dificultades, en cuanto a su instalación los problemas mayores se presentaron por la incomodidad de trabajar en un espacio reducido. Como referencia se comparó las dimensiones de las compuertas anteriores con las nuevas, existiendo cierta relación entre ellas.

5.2 Análisis Económico

En la parte económica se analiza el costo que tiene la construcción de una compuerta en hierro fundido. La parte más pesada del sistema es el cuerpo y los parantes, como se aprecia en la tabla 17 su costo se evalúa de acuerdo al peso, este costo

para el caso incluirá la construcción del molde y mecanizado, en otras piezas como el vástago, sellos, cuñas, parte del pedestal, tuerca, contratuela y porta tuerza además del material se necesita un proceso de mecanizado ya sea en torno o fresadora, entonces los valores de este proceso se sumaran como también se aprecia en la tabla 17, el valor obtenido no se incluye ni transporte ni instalación, o sea solo la construcción puesta en planta.

TABLA 17

COSTO DE CONSTRUCCION

ITEM	PIEZA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL Y PROCESO	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
1	cuerpo	Hierro fundido; pulido y mecanizado(fresadora)	175	Kg	\$6	\$1,050
2	parante	Hierro fundido; pulido y mecanizado(fresadora)	160	Kg	\$6	\$960
3	sello	Acero inoxidable; corte, pulido y perforado	1	u	\$25	\$25
4	cuña	Bronce fundido; pulido y mecanizado (torno)	6	u	\$15	\$90
5	vástago	Acero inoxidable; corte y mecanizado	3	m	\$45	\$135
6	pedestal	Acero al carbono; corte, pulido y soldado	1	u	\$115	\$115
7	tuerca	Bronce fundido; mecanizado (torno)	1	u	\$130	\$130
8	contratuerca	Bronce fundido; mecanizado (torno)	1	u	\$125	\$125
9	Porta terca	Acero inoxidable; mecanizado(torno), perforado	1	u	\$150	\$150
10	volante	Acero al carbono; corte, doblado, soldado.	1	u	\$35	\$35
11	varios	accesorios; indirectos	1	u	\$280	\$280
		VALOR TOTAL				\$3,095



CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Con los resultados obtenidos en el análisis de este proyecto y la selección de los materiales utilizados en la construcción de cada elemento fue posible, por que así se lo hizo, la construcción total de cada una de las partes y elementos que conforman una compuerta dentro del país. Esto demuestra que no es necesaria la importación de una compuerta como se lo realizaba en años anteriores, queda demostrado que el país cuenta con personal humano para crear, proveer y dar solución a un mecanismo como el analizado en este proyecto.

2. Una de las ventajas de realizar la construcción dentro del país fue la diferencia de costos ya que una de las opciones que tenían los encargados para reemplazar las compuertas que se encontraban fuera de servicio (ECAPAG) era la importación de estas. Además de los costos en su construcción se da la garantía en la instalación mientras que una empresa extranjera no les brindaba esta posibilidad.

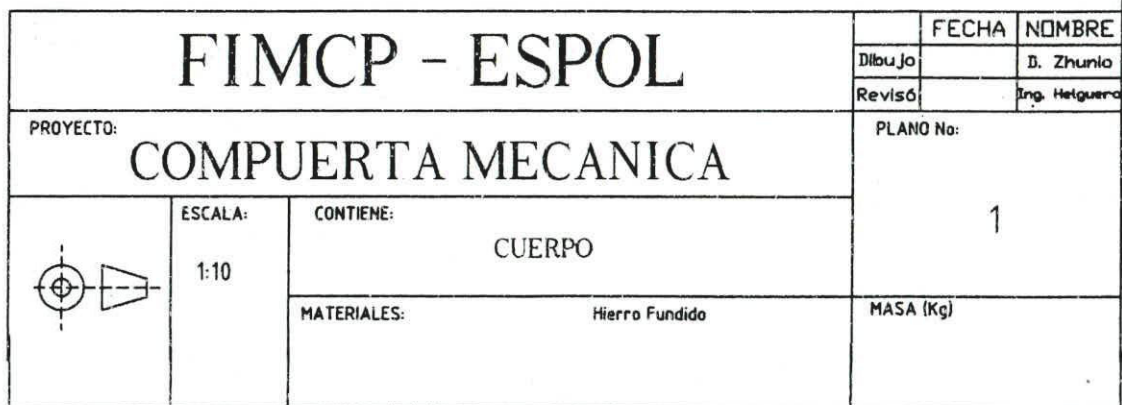


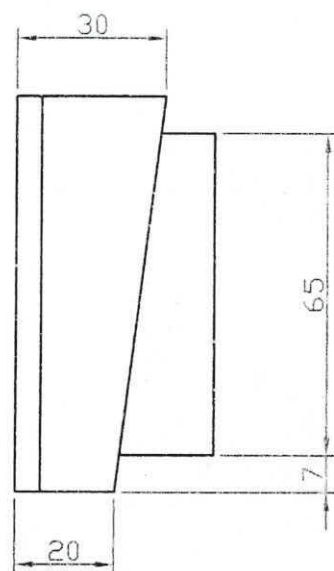
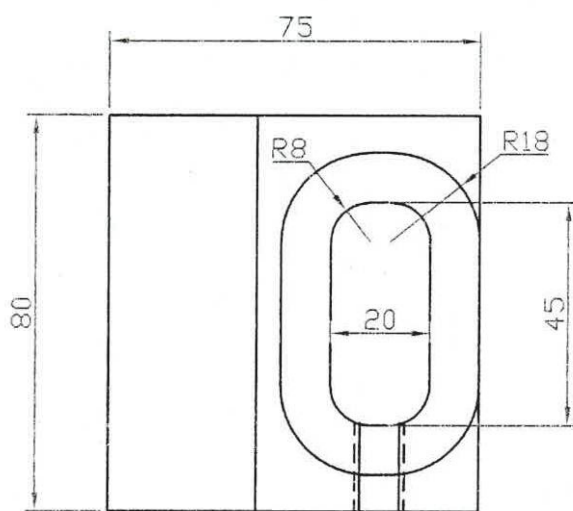
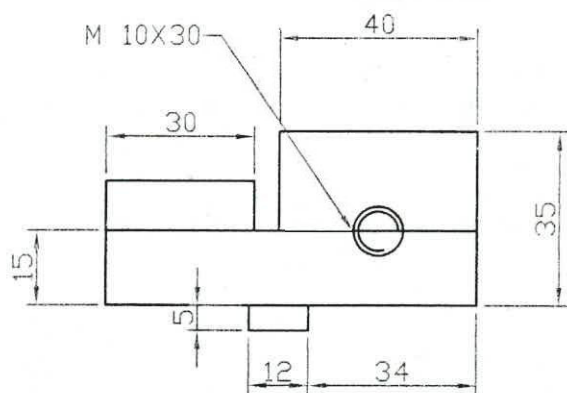
RECOMENDACIONES

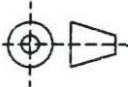
1. Para compuertas que se instalen en lugares donde el canal es profundo, o sea que tengan la posición del mecanismo de operación mayor a unos 5m se aconseja colocar guías sobre el vástago ya que demasiada longitud de este puede provocar que este se pandee al momento de su trabajo.
2. Para una mayor protección contra la corrosión debido a las propiedades de las aguas servidas, se puede pintar las partes de hierro fundido con algún tipo de pintura epóxica, de esta forma se alarga su vida útil, esto se puede realizar cada año mínimo, durante los mantenimientos.
3. En la parte inferior del cuerpo de la compuerta se puede colocar un caucho empernado a la base, de esta forma se mejoran los resultados de sellado en el sellos horizontal inferior, pues este es el que mayor problema da durante las pruebas y calibración. Debe regularse la posición de los sellos para que estos queden alineados.
4. El porta-tuerca contiene a la tuerca y los rodamientos, se aconseja colocarle un graseo y así realizar una periódica lubricación en esta parte del mecanismo de operación.

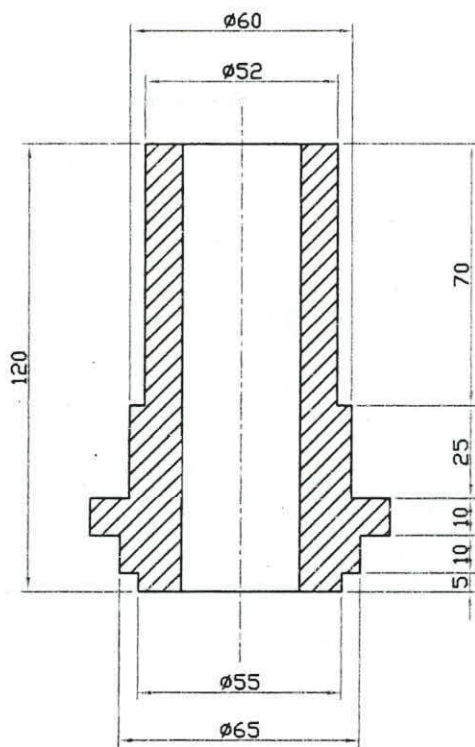
5. Es conveniente realizar trabajos de mantenimiento dentro de la cámara mínimo cada seis meses, revisar el estado de los sellos, ajuste de la contra tuerca, estado de las cuñas y los pernos de los parantes, de esta manera se puede prevenir y solucionar problemas inesperados.
6. El proceso de fundición debe ser realizado adecuadamente, controlando el tipo de material, velocidad de enfriamiento y un correcto suministro de la colada de manera que se evite crear vacíos en el interior de la fundición y la composición sea lo más homogénea posible.



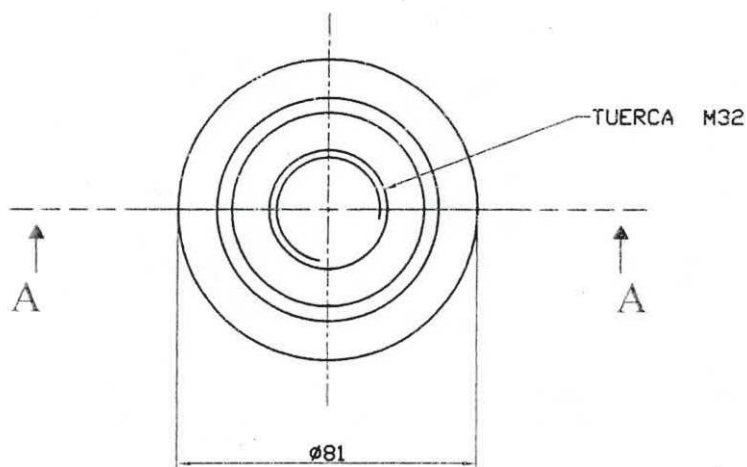


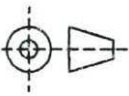


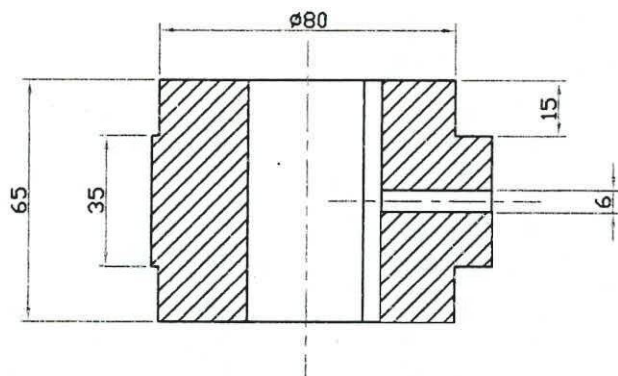
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
			Dibujo	D. Zhunio
			Revisó	Ing. Helguera
PROYECTO: COMPUERTA MECANICA			PLANO No: 2	
	ESCALA: 1:1.5	CONTIENE: CUNA	MASA (Kg)	
		MATERIALES: Bronce Fundido		



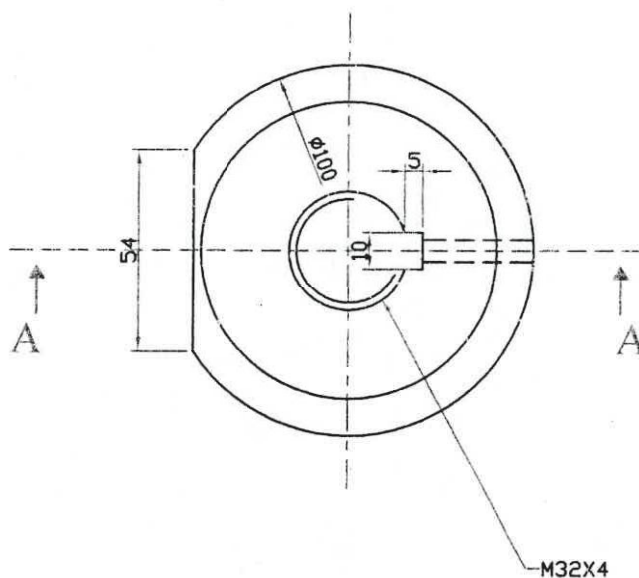
CORTE A-A

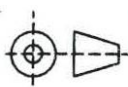


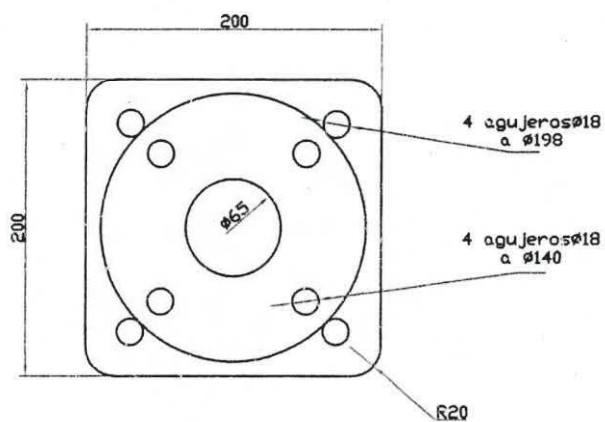
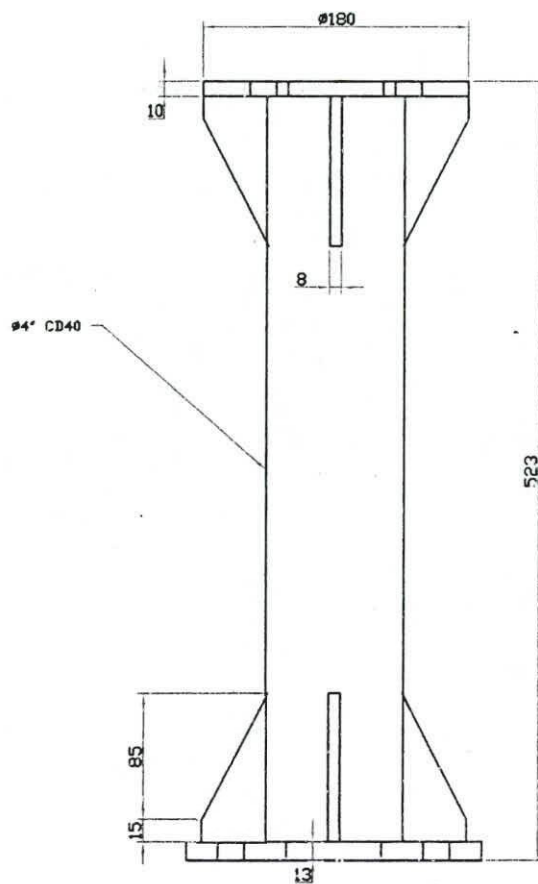
FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujo	D. Zhunio
Revisó			Ing. Helguera
PROYECTO:		PLANO No:	
COMPUERTA MECANICA		3	
	ESCALA:	CONTIENE:	
	1:1.5	TUERCA	
MATERIALES:		Bronce Fundido:	MASA (Kg)

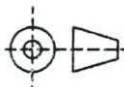


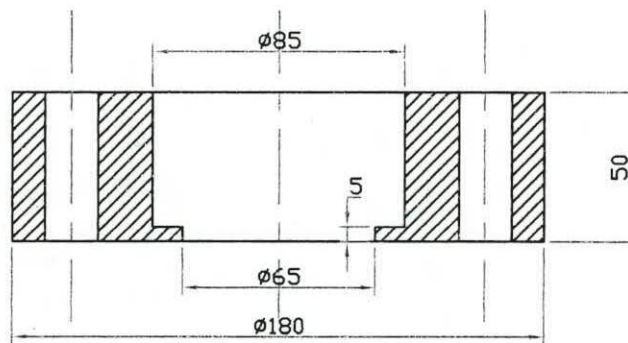
CORTE A-A



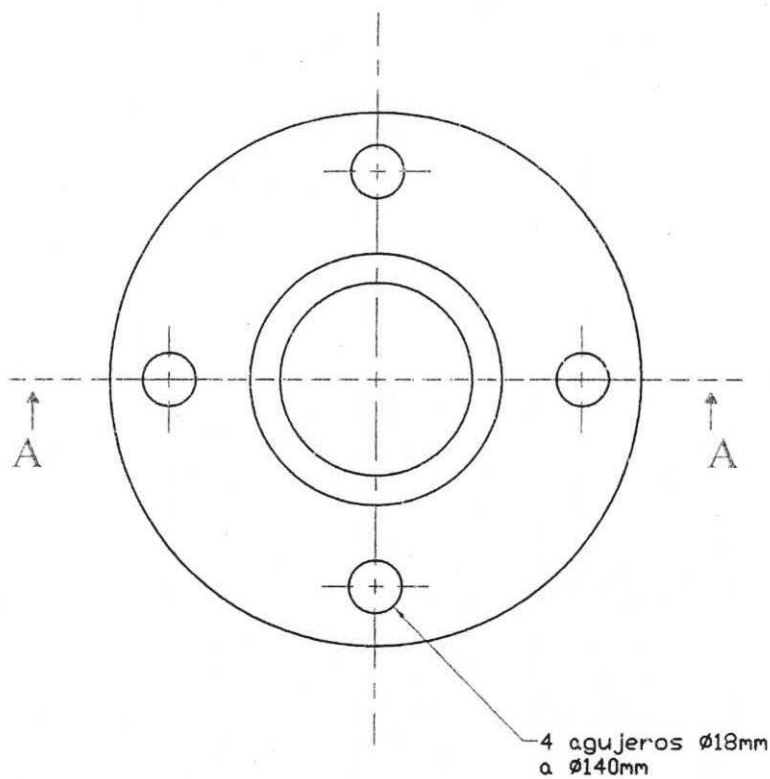
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
Dibujo				D. Zunio
Revisó				Ing. Helguera
PROYECTO:			PLANO No:	
COMPUERTA MECANICA			4	
	ESCALA:	CONTIENE:		MASA (Kg)
	1:1.5	CONTRA-TUERCA		
MATERIALES:		Bronce Fundido:		

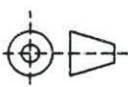


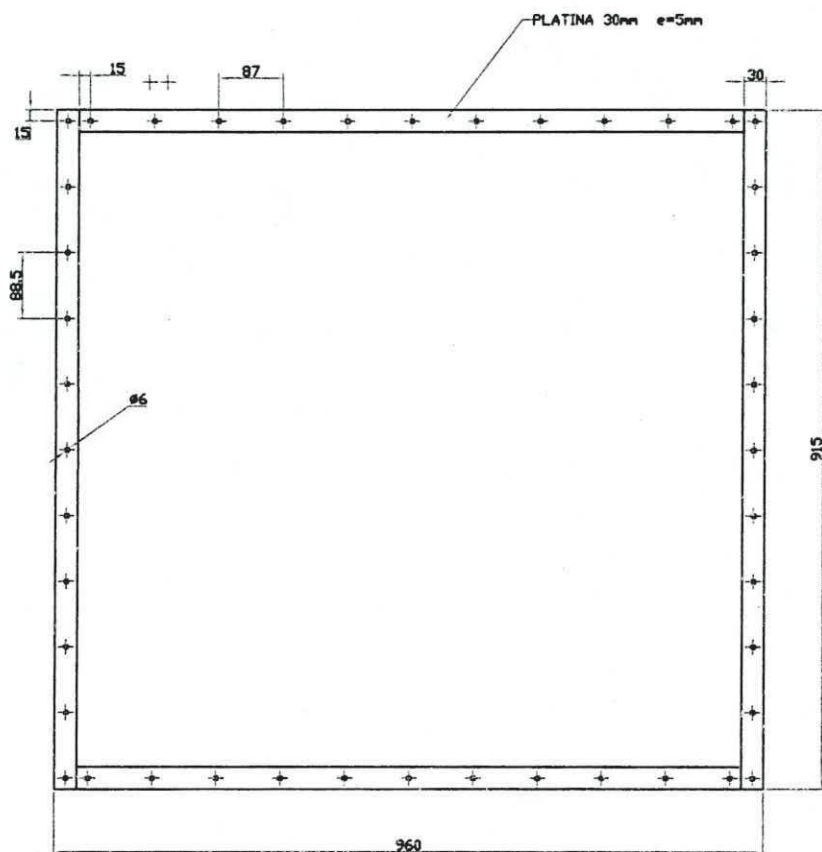
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: COMPUERTA MECANICA			Dibujo	D. Zhunio
			Revisó	Ing. Helguera
			PLANO No:	
			5	
ESCALA:	CONTIENE:	MASA (Kg)		
1:5	PEDESTAL			
MATERIALES:		Acero al carbono:		

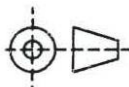


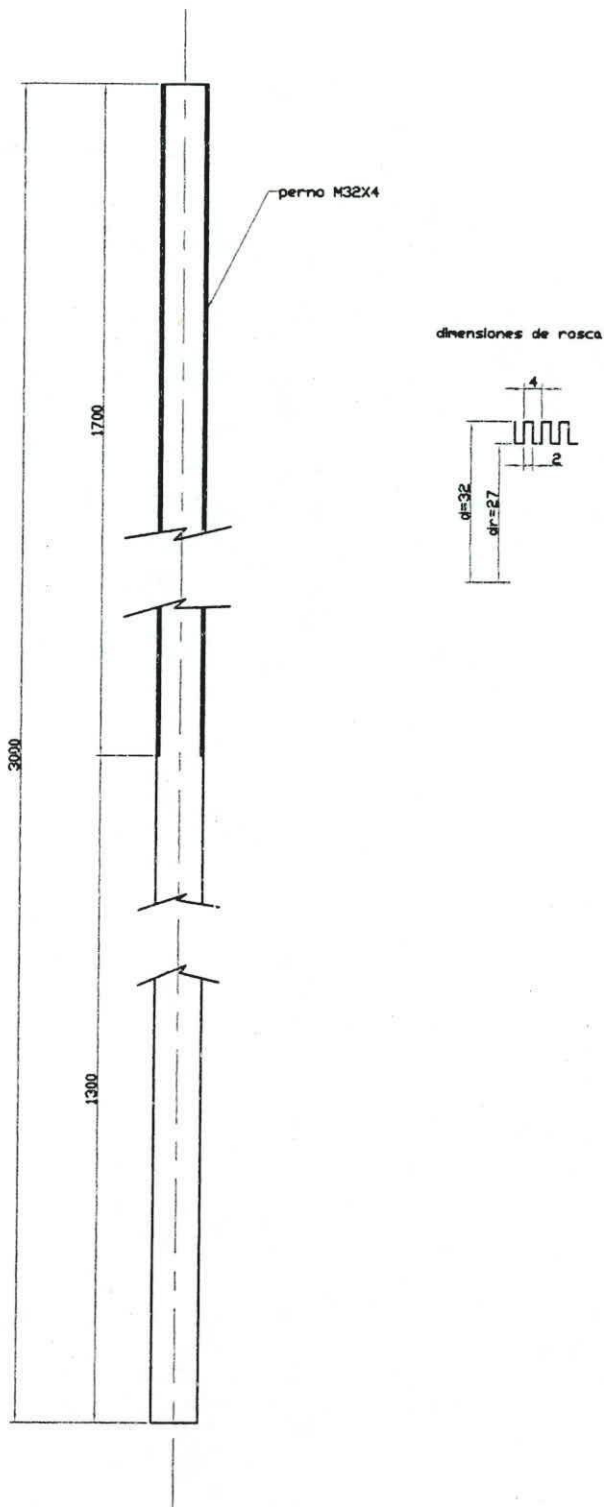
CORTE A-A

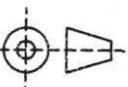


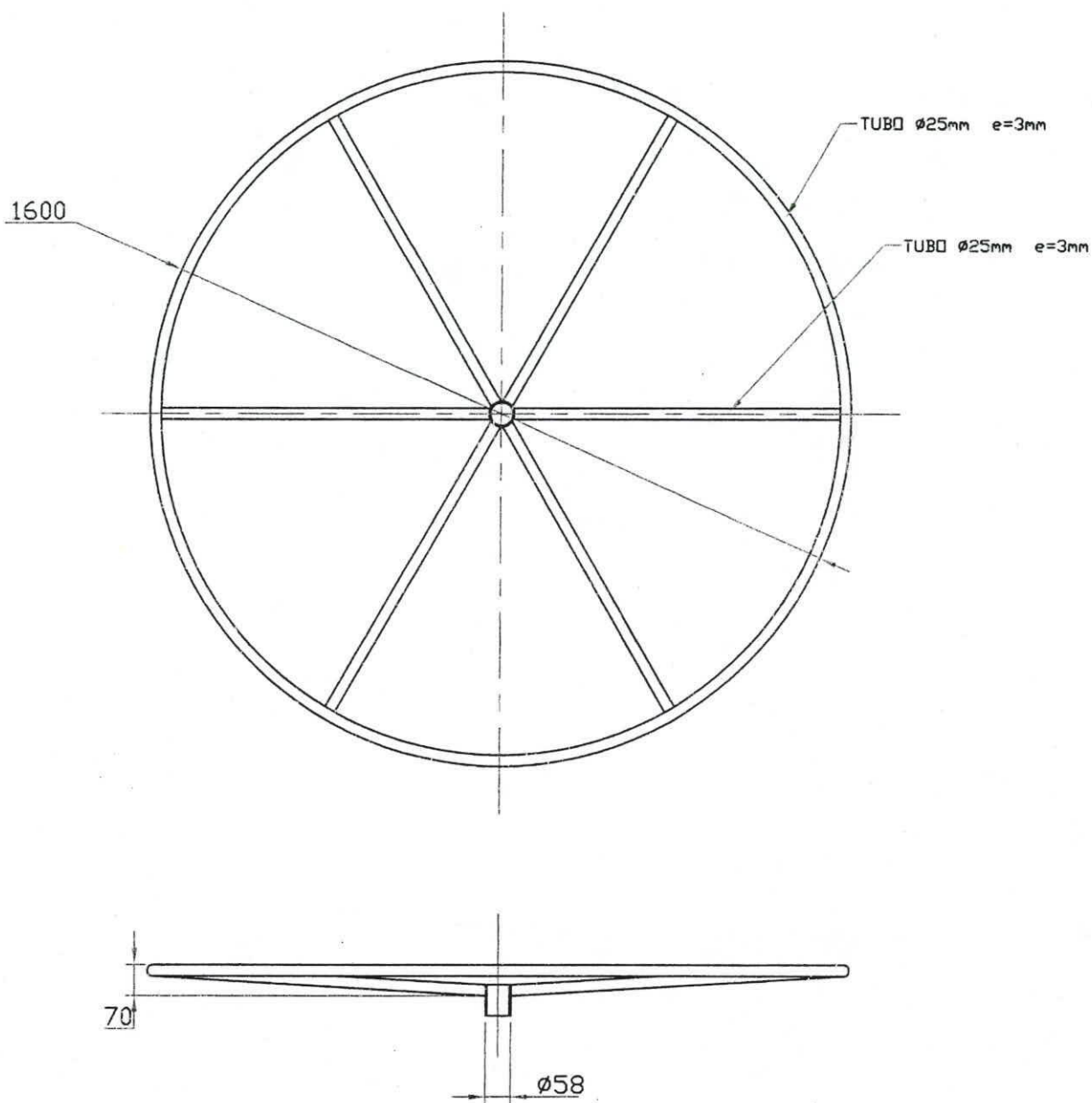
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
			Dibujo	D. Zhunio
			Revisó	Ing. Helguera
PROYECTO:			PLANO No:	
COMPUERTA MECANICA			6	
	ESCALA:	CONTIENE:	MASA (Kg)	
	1:2.5	PORTA-TUERCA		
		MATERIALES:	Acero Inoxidable	

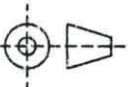


FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
		Dibujo	D. Zhunio
		Revisó	Ing. Helguera
PROYECTO:		PLANO No:	
COMPUERTA MECANICA		7	
	ESCALA:	CONTIENE:	MASA (Kg)
	1:10	SELLOS	
MATERIALES:		Acero Inoxidable:	



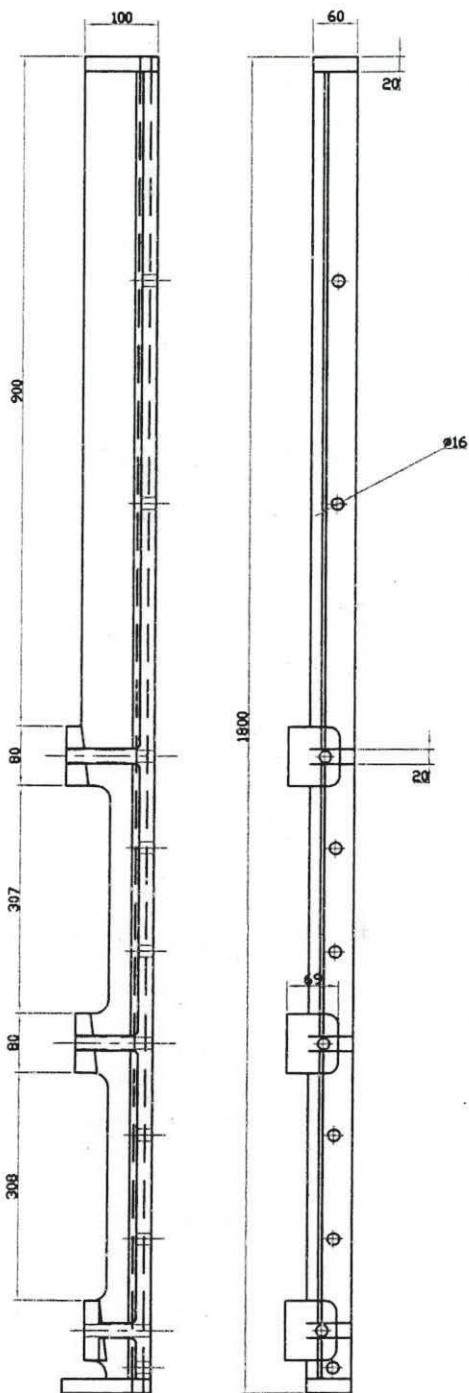
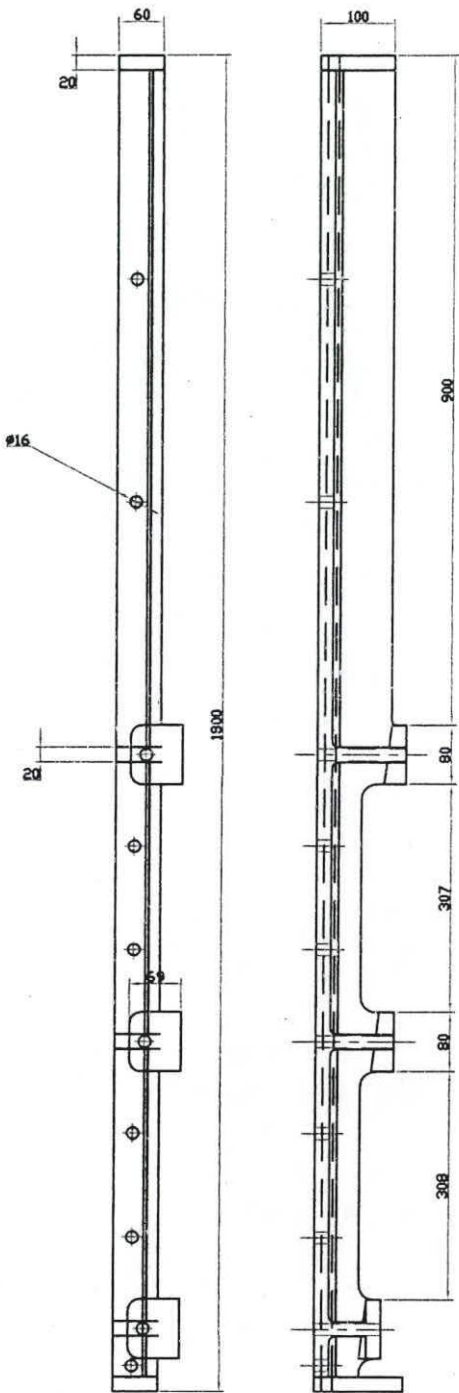
FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO: COMPUERTA MECANICA			Dibujo	D. Zhunio
			Revisó	Ing. Helguero
	ESCALA:	CONTIENE:	PLANO No: 8	
	1:5	VASTAGO		
MATERIALES: Acero Inoxidable			MASA (Kg)	

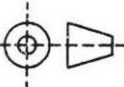


FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
			Dibujo	D. Zhunio
			Revisó	Ing. Helguero
PROYECTO:			PLANO No:	
COMPUERTA MECANICA			9	
	ESCALA:	CONTIENE:	MASA (Kg)	
	1:15	VOLANTE		
MATERIALES:		Acero Bonificado:		

PARANTE IZQUIERDO

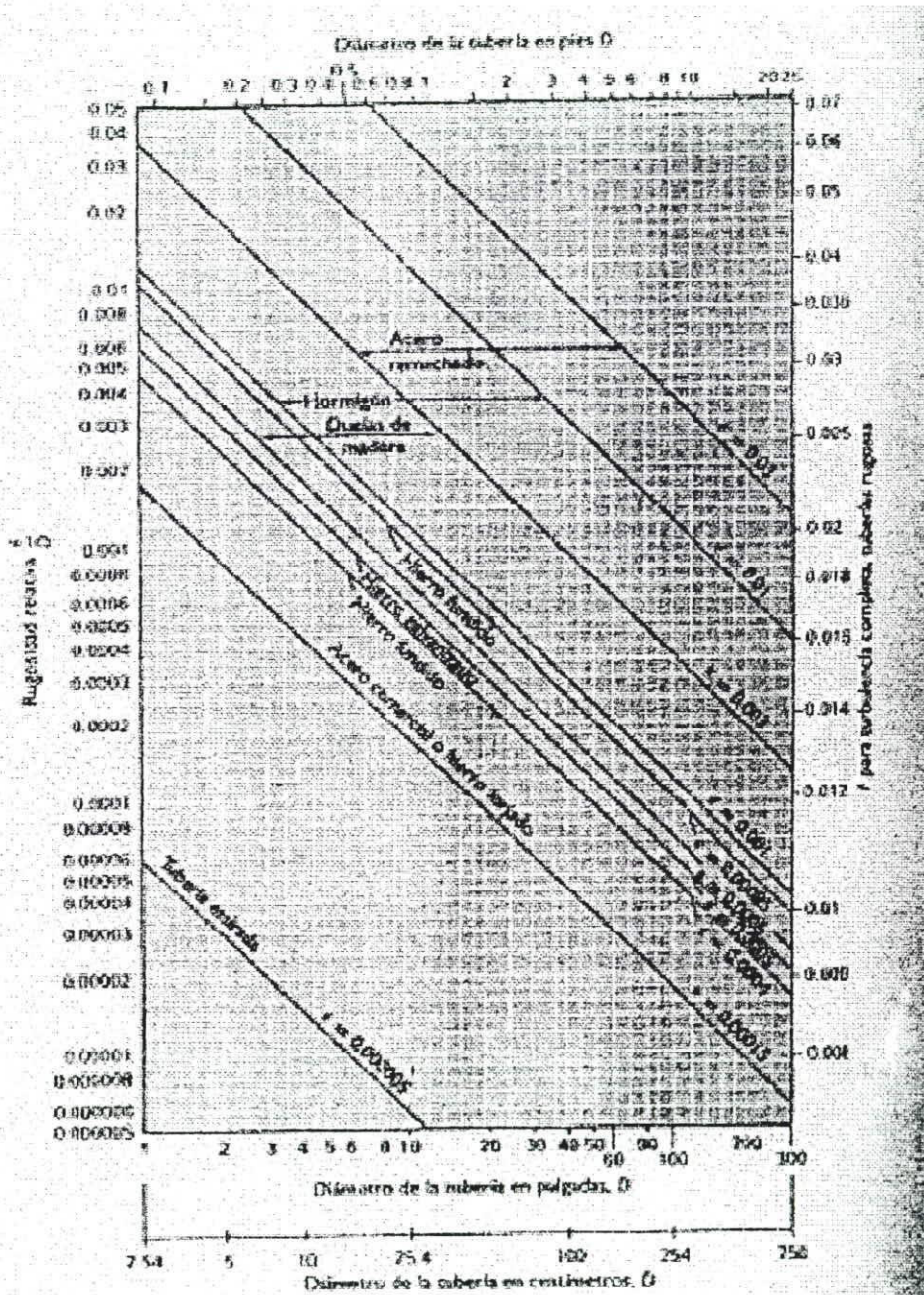
PARANTE DERECHO



FIMCP - ESPOL			FECHA	NOMBRE
PROYECTO:			Dibujo	D. Zhunio
COMPUERTA MECANICA			Revisó	Ing. Helguera
	ESCALA:	CONTIENE:	PLANO No:	
	1:10	PARANTES	10	
MATERIALES:			MASA (Kg)	
Hierro Fundido				

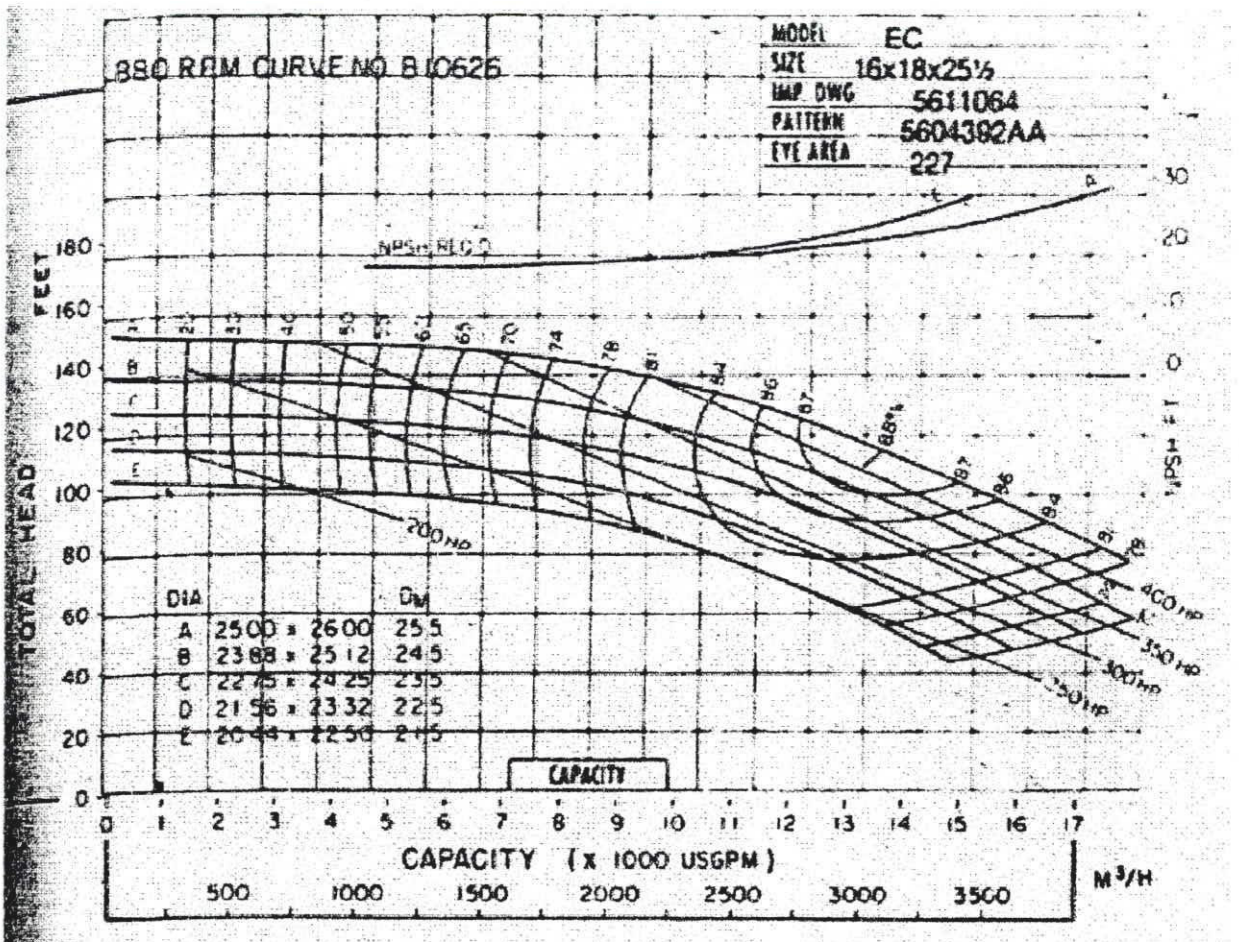
APENDICE A

FACTOR DE FRICCION PARA TUBERIAS EN HIERRO FUNDIDO



APENDICE B

CURVA DE LA BOMBA



APENDICE C

COEFICIENTES DE PERDIDA TIPICOS PARA ACCESORIOS

Tabla 7.8 Coeficientes de pérdida típicos para accesorios de tuberías comerciales. Datos de la referencia [19].

Diámetro Nominal (pulg)	Roscado o soldado				Con brida				
	$\frac{1}{2}$	1	2	4	1	2	4	8	20
Válvulas (totalmente abiertas)									
Globo	14	3.2	6.9	5.7	13	8.5	6.0	5.8	5.5
Compuerta	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.01
Retención de disco oscilante	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	2.0
Ángulo	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0
Codos									
45° estándar	0.19	0.32	0.30	0.29					
45° radio largo					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14
90° estándar	2.0	1.5	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21
90° radio largo	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10
180° estándar	2.0	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20
180° radio largo					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10
Tes									
Flujo directo	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07
Flujo lateral	2.4	1.8	1.4	1.1	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41

APENDICE D

COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICA

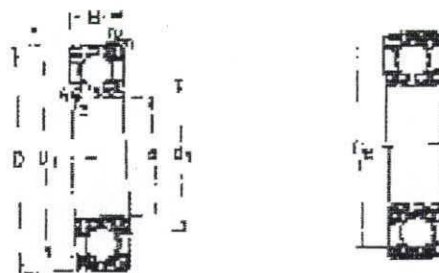
Tabla 1. Coeficientes de fricción estática y de deslizamiento

(Las letras de referencia indican los lubricantes usados, los números entre paréntesis dan las fuentes. Véase las notas al pie de la tabla)

Materiales	Estático		De deslizamiento	
	Seco	Grasoso	Seco	Grasoso
Acero duro sobre acero duro	0.78 (1)	0.11 (1, a) 0.23 (1, a) 0.13 (1, a) 0.19 (1, a) 0.0075 (18, p) 0.0054 (18, a)	0.42 (2)	0.029 (5, A) 0.081 (5, a) 0.080 (5, c) 0.058 (5, p) 0.084 (5, d) 0.105 (5, d) 0.096 (5, d) 0.108 (5, a)
Acero dulce sobre acero dulce	0.74 (19)		0.57 (3)	0.12 (5, a) 0.09 (3, a) 0.19 (3, a)
Acero duro sobre acero	0.71 (1)	0.09 (3, a)		
Acero duro sobre metal Babbitt (ASTM No. 1)	0.70 (11)	0.25 (1, b) 0.15 (1, c) 0.08 (1, d) 0.085 (1, e)	0.33 (9)	0.16 (1, b) 0.06 (1, c) 0.11 (1, d)
Acero duro sobre metal Babbitt (ASTM No. 2)	0.42 (11)	0.17 (1, b)	0.35 (11)	0.14 (1, b) 0.065 (1, c) 0.07 (1, d) 0.08 (1, e) 0.13 (1, b) 0.06 (1, c) 0.055 (1, a)
Acero duro sobre metal Babbitt (ASTM No. 10)		0.12 (1, b) 0.10 (1, d) 0.11 (1, e)		0.097 (2, f) 0.173 (2, f) 0.145 (2, f) 0.131 (2, f) 0.3 (1, f) 0.178 (3, z)
Acero dulce sobre cadmio puro			0.34 (3)	
Acero dulce sobre suero oxidado				
Acero dulce sobre cobre plano		0.183 (15, e)	0.23 (6)	
Acero dulce sobre hierro fundido	0.95 (11)	0.5 (1, f)	0.95 (11)	0.3 (1, f)
Niquel sobre acero dulce			0.64 (3)	
Aluminio sobre acero dulce	0.61 (8)		0.47 (3)	
Magnesio sobre acero dulce			0.42 (3)	
Magnesio sobre magnesio	0.6 (22)	0.08 (22, g)		
Teñón sobre teñón	0.64 (22)			0.04 (22, f)
Teñón sobre acero	0.04 (22)			0.04 (22, f)
Carburo de tungsteno sobre carburo de magnesio	0.2 (22)	0.12 (22, a)		
Carburo de tungsteno sobre acero	0.3 (22)	0.98 (22, a)		
Carburo de tungsteno sobre cobre	0.35 (23)			
Carburo de tungsteno sobre hierro	0.4 (23)			
Carburo ligado sobre cobre	0.45 (23)			
Carburo ligado sobre hierro	0.8 (23)			
Cadmio sobre acero dulce			0.46 (3)	
Cobre sobre acero dulce	0.51 (8)		0.36 (3)	
Niquel sobre niquel	1.10 (16)		0.53 (3)	
Bronce sobre acero dulce	0.51 (8)		0.44 (6)	
Bronce sobre hierro fundido			0.50 (6)	
Zinc sobre hierro fundido	0.85 (16)		0.21 (7)	
Magnesio sobre hierro fundido			0.29 (7)	
Cobre sobre hierro fundido	1.05 (16)		0.32 (7)	
Latón sobre hierro fundido			0.43 (7)	
Picosa sobre hierro fundido			1.4 (3)	
Aluminio sobre aluminio	0.94 (8)	0.01 (10, p)	0.40 (5)	0.09 (3, a)
Vidrio sobre vidrio		0.005 (10, q)		0.116 (3, a)

APENDICE E

RODAMIENTOS RIGIDOS DE UNA HILERA DE BOLAS



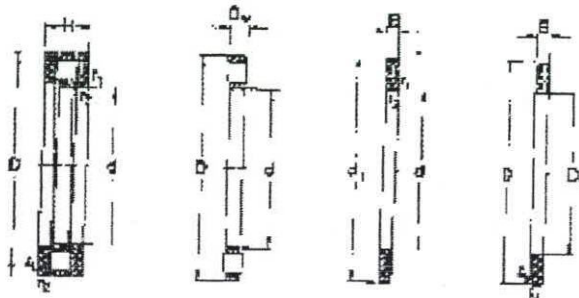
Sección transversal
de una bola

Una hilera de
bolas

Dimensiones principales			Capacidad de carga estática		Capacidad de carga dinámica	Velocidad nominal		Masa	Precisión
a	b	n	O	K ₀	P ₀	mm/min	rpm		
mm			N		N		mm/min		
40	10	11	8 711	4 700	860	7 800	8 000	0,11	0,012
	12	11	10 811	5 000	900	7 800	8 000	0,12	0,012
	14	11	13 011	5 300	950	7 800	8 000	0,13	0,012
	16	12	15 211	5 600	1 000	7 800	8 000	0,14	0,012
	18	12	17 411	5 900	1 050	7 800	8 000	0,15	0,012
45	12	12	10 811	5 000	900	8 000	8 500	0,12	0,012
	14	12	13 011	5 300	950	8 000	8 500	0,13	0,012
	16	13	15 211	5 600	1 000	8 000	8 500	0,14	0,012
	18	13	17 411	5 900	1 050	8 000	8 500	0,15	0,012
	20	14	19 611	6 200	1 100	8 000	8 500	0,16	0,012
50	14	13	13 011	5 300	950	8 500	9 000	0,13	0,012
	16	13	15 211	5 600	1 000	8 500	9 000	0,14	0,012
	18	14	17 411	5 900	1 050	8 500	9 000	0,15	0,012
	20	14	19 611	6 200	1 100	8 500	9 000	0,16	0,012
	22	15	21 811	6 500	1 150	8 500	9 000	0,17	0,012
55	16	14	15 211	5 600	1 000	9 000	9 500	0,14	0,012
	18	14	17 411	5 900	1 050	9 000	9 500	0,15	0,012
	20	15	19 611	6 200	1 100	9 000	9 500	0,16	0,012
	22	15	21 811	6 500	1 150	9 000	9 500	0,17	0,012
	24	16	24 011	6 800	1 200	9 000	9 500	0,18	0,012
60	18	15	17 411	5 900	1 050	9 500	10 000	0,15	0,012
	20	15	19 611	6 200	1 100	9 500	10 000	0,16	0,012
	22	16	21 811	6 500	1 150	9 500	10 000	0,17	0,012
	24	16	24 011	6 800	1 200	9 500	10 000	0,18	0,012
	26	17	26 211	7 100	1 250	9 500	10 000	0,19	0,012
65	20	16	19 611	6 200	1 100	10 000	10 500	0,16	0,012
	22	16	21 811	6 500	1 150	10 000	10 500	0,17	0,012
	24	17	24 011	6 800	1 200	10 000	10 500	0,18	0,012
	26	17	26 211	7 100	1 250	10 000	10 500	0,19	0,012
	28	18	28 411	7 400	1 300	10 000	10 500	0,20	0,012
70	22	17	21 811	6 500	1 150	10 500	11 000	0,17	0,012
	24	17	24 011	6 800	1 200	10 500	11 000	0,18	0,012
	26	18	26 211	7 100	1 250	10 500	11 000	0,19	0,012
	28	18	28 411	7 400	1 300	10 500	11 000	0,20	0,012
	30	19	30 611	7 700	1 350	10 500	11 000	0,21	0,012
75	24	18	24 011	6 800	1 200	11 000	11 500	0,18	0,012
	26	18	26 211	7 100	1 250	11 000	11 500	0,19	0,012
	28	19	28 411	7 400	1 300	11 000	11 500	0,20	0,012
	30	19	30 611	7 700	1 350	11 000	11 500	0,21	0,012
	32	20	32 811	8 000	1 400	11 000	11 500	0,22	0,012
80	26	19	26 211	7 100	1 250	11 500	12 000	0,19	0,012
	28	19	28 411	7 400	1 300	11 500	12 000	0,20	0,012
	30	20	30 611	7 700	1 350	11 500	12 000	0,21	0,012
	32	20	32 811	8 000	1 400	11 500	12 000	0,22	0,012
	34	21	35 011	8 300	1 450	11 500	12 000	0,23	0,012
85	28	20	28 411	7 400	1 300	12 000	12 500	0,20	0,012
	30	20	30 611	7 700	1 350	12 000	12 500	0,21	0,012
	32	21	32 811	8 000	1 400	12 000	12 500	0,22	0,012
	34	21	35 011	8 300	1 450	12 000	12 500	0,23	0,012
	36	22	37 211	8 600	1 500	12 000	12 500	0,24	0,012
90	30	21	30 611	7 700	1 350	12 500	13 000	0,21	0,012
	32	21	32 811	8 000	1 400	12 500	13 000	0,22	0,012
	34	22	35 011	8 300	1 450	12 500	13 000	0,23	0,012
	36	22	37 211	8 600	1 500	12 500	13 000	0,24	0,012
	38	23	39 411	8 900	1 550	12 500	13 000	0,25	0,012
95	32	22	32 811	8 000	1 400	13 000	13 500	0,22	0,012
	34	22	35 011	8 300	1 450	13 000	13 500	0,23	0,012
	36	23	37 211	8 600	1 500	13 000	13 500	0,24	0,012
	38	23	39 411	8 900	1 550	13 000	13 500	0,25	0,012
	40	24	41 611	9 200	1 600	13 000	13 500	0,26	0,012
100	34	23	35 011	8 300	1 450	13 500	14 000	0,23	0,012
	36	23	37 211	8 600	1 500	13 500	14 000	0,24	0,012
	38	24	39 411	8 900	1 550	13 500	14 000	0,25	0,012
	40	24	41 611	9 200	1 600	13 500	14 000	0,26	0,012
	42	25	43 811	9 500	1 650	13 500	14 000	0,27	0,012
105	36	24	37 211	8 600	1 500	14 000	14 500	0,24	0,012
	38	24	39 411	8 900	1 550	14 000	14 500	0,25	0,012
	40	25	41 611	9 200	1 600	14 000	14 500	0,26	0,012
	42	25	43 811	9 500	1 650	14 000	14 500	0,27	0,012
	44	26	46 011	9 800	1 700	14 000	14 500	0,28	0,012
110	38	25	39 411	8 900	1 550	14 500	15 000	0,25	0,012
	40	25	41 611	9 200	1 600	14 500	15 000	0,26	0,012
	42	26	43 811	9 500	1 650	14 500	15 000	0,27	0,012
	44	26	46 011	9 800	1 700	14 500	15 000	0,28	0,012
	46	27	48 211	10 100	1 750	14 500	15 000	0,29	0,012
115	40	26	41 611	9 200	1 600	15 000	15 500	0,26	0,012
	42	26	43 811	9 500	1 650	15 000	15 500	0,27	0,012
	44	27	46 011	9 800	1 700	15 000	15 500	0,28	0,012
	46	27	48 211	10 100	1 750	15 000	15 500	0,29	0,012
	48	28	50 411	10 400	1 800	15 000	15 500	0,30	0,012
120	42	27	43 811	9 500	1 650	15 500	16 000	0,27	0,012
	44	27	46 011	9 800	1 700	15 500	16 000	0,28	0,012
	46	28	48 211	10 100	1 750	15 500	16 000	0,29	0,012
	48	28	50 411	10 400	1 800	15 500	16 000	0,30	0,012
	50	29	52 611	10 700	1 850	15 500	16 000	0,31	0,012
125	44	28	46 011	9 800	1 700	16 000	16 500	0,28	0,012
	46	28	48 211	10 100	1 750	16 000	16 500	0,29	0,012
	48	29	50 411	10 400	1 800	16 000	16 500	0,30	0,012
	50	29	52 611	10 700	1 850	16 000	16 500	0,31	0,012
	52	30	54 811	11 000	1 900	16 000	16 500	0,32	0,012
130	46	29	48 211	10 100	1 750	16 500	17 000	0,29	0,012
	48	29	50 411	10 400	1 800	16 500	17 000	0,30	0,012
	50	30	52 611	10 700	1 850	16 500	17 000	0,31	0,012
	52	30	54 811	11 000	1 900	16 500	17 000	0,32	0,012
	54	31	57 011	11 300	1 950	16 500	17 000	0,33	0,012
135	48	30	50 411	10 400	1 800	17 000	17 500	0,30	0,012
	50	30	52 611	10 700	1 850	17 000	17 500	0,31	0,012
	52	31	54 811	11 000	1 900	17 000	17 500	0,32	0,012
	54	31	57 011	11 300	1 950	17 000	17 500	0,33	0,012
	56	32	59 211	11 600	2 000	17 000	17 500	0,34	0,012
140	50	31	52 611	10 700	1 850	17 500	18 000	0,31	0,012
	52	31	54 811	11 000	1 900	17 500	18 000	0,32	0,012
	54	32	57 011	11 300	1 950	17 500	18 000	0,33	0,012
	56	32	59 211	11 600	2 000	17 500	18 000	0,34	0,012
	58	33	61 411	11 900	2 050	17 500	18 000	0,35	0,012
145	52	32	54 811	11 000	1 900	18 000	18 500	0,32	0,012
	54	32	57 011	11 300	1 950	18 000	18 500	0,33	0,012
	56	33	59 211	11 600	2 000	18 000	18 500	0,34	0,012
	58	33	61 411	11 900	2 050	18 000	18 500	0,35	0,012
	60	34	63 611	12 200	2 100	18 000	18 500	0,36	0,012
150	54	33	57 011	11 300	1 950	18 500	19 000	0,33	0,012
	56	33	59 211	11 600	2 000	18 500	19 000	0,34	0,012
	58	34	61 411	11 900	2 050	18 500	19 000	0,35	0,012
	60	34	63 611	12 200	2 100	18 500	19 000	0,36	0,012
	62	35	65 811	12 500	2 150	18 500	19 000	0,37	0,012

APENDICE F

RODAMIENTOS AXIALES DE RODILLOS CILINDRICOS



Rodamientos
completos

Carriles de rodillos
cilíndricos

Anillos de
rode

944 rodillos de
cilindros

Dimensiones principales			Carga dinámica de carga		Carga estática de rodillos F_0	Factor de carga f_1	Velocidad nominal (mm por seg)		Designación Resumen de características
d	D	B	C	C_0			n/min	kg	
mm	mm	mm	N	N	N				
15	38	8	11 200	27 000	3 400	0.069	3 300	4 300	81102
17	42	9	12 200	30 000	3 800	0.072	3 300	4 300	81103
20	47	10	13 800	34 000	4 200	0.08	3 300	4 300	81104
25	52	12	16 000	39 000	4 800	0.09	3 300	4 300	81105
30	58	14	18 000	44 000	5 400	0.10	3 300	4 300	81106
35	63	15	20 000	49 000	6 000	0.11	3 300	4 300	81107
40	68	16	22 000	54 000	6 600	0.12	3 300	4 300	81108
45	73	17	24 000	59 000	7 200	0.13	3 300	4 300	81109
50	78	18	26 000	64 000	7 800	0.14	3 300	4 300	81110
55	83	19	28 000	69 000	8 400	0.15	3 300	4 300	81111
60	88	20	30 000	74 000	9 000	0.16	3 300	4 300	81112
65	93	21	32 000	79 000	9 600	0.17	3 300	4 300	81113
70	98	22	34 000	84 000	10 200	0.18	3 300	4 300	81114
75	103	23	36 000	89 000	10 800	0.19	3 300	4 300	81115
80	108	24	38 000	94 000	11 400	0.20	3 300	4 300	81116
85	113	25	40 000	99 000	12 000	0.21	3 300	4 300	81117
90	118	26	42 000	104 000	12 600	0.22	3 300	4 300	81118
95	123	27	44 000	109 000	13 200	0.23	3 300	4 300	81119
100	128	28	46 000	114 000	13 800	0.24	3 300	4 300	81120
105	133	29	48 000	119 000	14 400	0.25	3 300	4 300	81121
110	138	30	50 000	124 000	15 000	0.26	3 300	4 300	81122
115	143	31	52 000	129 000	15 600	0.27	3 300	4 300	81123
120	148	32	54 000	134 000	16 200	0.28	3 300	4 300	81124
125	153	33	56 000	139 000	16 800	0.29	3 300	4 300	81125
130	158	34	58 000	144 000	17 400	0.30	3 300	4 300	81126
135	163	35	60 000	149 000	18 000	0.31	3 300	4 300	81127
140	168	36	62 000	154 000	18 600	0.32	3 300	4 300	81128
145	173	37	64 000	159 000	19 200	0.33	3 300	4 300	81129
150	178	38	66 000	164 000	19 800	0.34	3 300	4 300	81130
155	183	39	68 000	169 000	20 400	0.35	3 300	4 300	81131
160	188	40	70 000	174 000	21 000	0.36	3 300	4 300	81132
165	193	41	72 000	179 000	21 600	0.37	3 300	4 300	81133
170	198	42	74 000	184 000	22 200	0.38	3 300	4 300	81134
175	203	43	76 000	189 000	22 800	0.39	3 300	4 300	81135
180	208	44	78 000	194 000	23 400	0.40	3 300	4 300	81136
185	213	45	80 000	199 000	24 000	0.41	3 300	4 300	81137
190	218	46	82 000	204 000	24 600	0.42	3 300	4 300	81138
195	223	47	84 000	209 000	25 200	0.43	3 300	4 300	81139
200	228	48	86 000	214 000	25 800	0.44	3 300	4 300	81140
205	233	49	88 000	219 000	26 400	0.45	3 300	4 300	81141
210	238	50	90 000	224 000	27 000	0.46	3 300	4 300	81142
215	243	51	92 000	229 000	27 600	0.47	3 300	4 300	81143
220	248	52	94 000	234 000	28 200	0.48	3 300	4 300	81144
225	253	53	96 000	239 000	28 800	0.49	3 300	4 300	81145
230	258	54	98 000	244 000	29 400	0.50	3 300	4 300	81146
235	263	55	100 000	249 000	30 000	0.51	3 300	4 300	81147
240	268	56	102 000	254 000	30 600	0.52	3 300	4 300	81148
245	273	57	104 000	259 000	31 200	0.53	3 300	4 300	81149
250	278	58	106 000	264 000	31 800	0.54	3 300	4 300	81150
255	283	59	108 000	269 000	32 400	0.55	3 300	4 300	81151
260	288	60	110 000	274 000	33 000	0.56	3 300	4 300	81152
265	293	61	112 000	279 000	33 600	0.57	3 300	4 300	81153
270	298	62	114 000	284 000	34 200	0.58	3 300	4 300	81154
275	303	63	116 000	289 000	34 800	0.59	3 300	4 300	81155
280	308	64	118 000	294 000	35 400	0.60	3 300	4 300	81156
285	313	65	120 000	299 000	36 000	0.61	3 300	4 300	81157
290	318	66	122 000	304 000	36 600	0.62	3 300	4 300	81158
295	323	67	124 000	309 000	37 200	0.63	3 300	4 300	81159
300	328	68	126 000	314 000	37 800	0.64	3 300	4 300	81160
305	333	69	128 000	319 000	38 400	0.65	3 300	4 300	81161
310	338	70	130 000	324 000	39 000	0.66	3 300	4 300	81162
315	343	71	132 000	329 000	39 600	0.67	3 300	4 300	81163
320	348	72	134 000	334 000	40 200	0.68	3 300	4 300	81164
325	353	73	136 000	339 000	40 800	0.69	3 300	4 300	81165
330	358	74	138 000	344 000	41 400	0.70	3 300	4 300	81166
335	363	75	140 000	349 000	42 000	0.71	3 300	4 300	81167
340	368	76	142 000	354 000	42 600	0.72	3 300	4 300	81168
345	373	77	144 000	359 000	43 200	0.73	3 300	4 300	81169
350	378	78	146 000	364 000	43 800	0.74	3 300	4 300	81170
355	383	79	148 000	369 000	44 400	0.75	3 300	4 300	81171
360	388	80	150 000	374 000	45 000	0.76	3 300	4 300	81172
365	393	81	152 000	379 000	45 600	0.77	3 300	4 300	81173
370	398	82	154 000	384 000	46 200	0.78	3 300	4 300	81174
375	403	83	156 000	389 000	46 800	0.79	3 300	4 300	81175
380	408	84	158 000	394 000	47 400	0.80	3 300	4 300	81176
385	413	85	160 000	399 000	48 000	0.81	3 300	4 300	81177
390	418	86	162 000	404 000	48 600	0.82	3 300	4 300	81178
395	423	87	164 000	409 000	49 200	0.83	3 300	4 300	81179
400	428	88	166 000	414 000	49 800	0.84	3 300	4 300	81180
405	433	89	168 000	419 000	50 400	0.85	3 300	4 300	81181
410	438	90	170 000	424 000	51 000	0.86	3 300	4 300	81182
415	443	91	172 000	429 000	51 600	0.87	3 300	4 300	81183
420	448	92	174 000	434 000	52 200	0.88	3 300	4 300	81184
425	453	93	176 000	439 000	52 800	0.89	3 300	4 300	81185
430	458	94	178 000	444 000	53 400	0.90	3 300	4 300	81186
435	463	95	180 000	449 000	54 000	0.91	3 300	4 300	81187
440	468	96	182 000	454 000	54 600	0.92	3 300	4 300	81188
445	473	97	184 000	459 000	55 200	0.93	3 300	4 300	81189
450	478	98	186 000	464 000	55 800	0.94	3 300	4 300	81190
455	483	99	188 000	469 000	56 400	0.95	3 300	4 300	81191
460	488	100	190 000	474 000	57 000	0.96	3 300	4 300	81192
465	493	101	192 000	479 000	57 600	0.97	3 300	4 300	81193
470	498	102	194 000	484 000	58 200	0.98	3 300	4 300	81194
475	503	103	196 000	489 000	58 800	0.99	3 300	4 300	81195
480	508	104	198 000	494 000	59 400	1.00	3 300	4 300	81196
485	513	105	200 000	499 000	60 000	1.01	3 300	4 300	81197
490	518	106	202 000	504 000	60 600	1.02	3 300	4 300	81198
495	523	107	204 000	509 000	61 200	1.03	3 300	4 300	81199
500	528	108	206 000	514 000	61 800	1.04	3 300	4 300	81200
505	533	109	208 000	519 000	62 400	1.05	3 300	4 300	81201
510	538	110	210 000	524 000	63 000	1.06	3 300	4 300	81202
515	543	111	212 000	529 000	63 600	1.07	3 300	4 300	81203
520	548	112	214 000	534 000	64 200	1.08	3 300	4 300	81204
525	553	113	216 000	539 000	64 800	1.09	3 300	4 300	81205
530	558	114	218 000	544 000	65 400	1.10	3 300	4 300	81206
535	563	115	220 000	549 000	66 000	1.11	3 300	4 300	81207
540	568	116	222 000	554 000	66 600	1.12	3 300	4 300	81208
545	573	117	224 000	559 000	67 200	1.13	3 300	4 300	81209
550	578	118	226 000	564 000	67 800	1.14	3 300	4 300	81210
555	583	119	228 000	569 000	68 400	1.15	3 300	4 300	81211
560	588	120	230 000	574 000	69 000	1.16	3 300	4 300	81212
565	593	121	232 000	579 000	69 600	1.17	3 300	4 300	81213
570	598	122	234 000	584 000	70 200	1.18	3 300	4 300	81214
575	603	123	236 000	589 000	70 800	1.19	3 300	4 300	81215
580	608	124	238 000	594 000	71 400	1.20	3 300	4 300	81216
585	613	125	240 000	599 000	72 000	1.21	3 300	4 300	81217
590	618	126	242 000	604 000	72 600	1.22	3 300	4 300	81218
595	623	127	244 000	609 000	73 200	1.23	3 300		

BIBLIOGRAFIA

1. ALSTON, "Equipos para Riego y Saneamiento", Fabricantes de Compuertas, 2001.
2. Manual de MARKS, "Manual del Ingeniero Mecánico", Manual, McGRAW-HILL, INTERAMERICANA DE MEXICO, 1992
3. ENDRESS+HAUSER, "Aguas Residuales, Medición y Automatización" Planta de Tratamiento de Agua Residual, 1993
4. SHIGLEY + MISCHKE, "Diseño en Ingeniería Mecánica", Quinta Edición, Editorial McGRAW-HILL