



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERIA**  
**FRUCTIFICAR LA RAZÓN: TRASCENDER NUESTRA CULTURA**

**“ANÁLISIS PARA LA ADMINISTRACIÓN DE  
ENERGÍA PARA EL REACTOR DE LODOS  
ACTIVADOS DE LA PLANTA EL CENTENARIO DE  
LA CIUDAD DE  
CHETUMAL, QUINTANA ROO”**

TESIS

Para obtener el Grado de:

**INGENIERO EN SISTEMAS DE ENERGIA**

Presenta:

**JULIO CESAR UICAB HERRERA**

Director de Tesis:

**M.C. EMMANUEL TORRES MONTALVO**

Chetumal, Quintana Roo, Abril 2011



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERIA**  
**FRUCTIFICAR LA RAZÓN: TRASCENDER NUESTRA CULTURA**

Trabajo de tesis elaborado bajo la supervisión del comité de Asesoría y aprobada como requisito parcial, para obtener el grado de:

INGENIERO EN SISTEMAS DE ENERGIA

COMITÉ

DIRECTOR: M.C. EMMANUEL TORRES MONTALVO \_\_\_\_\_

ASESOR: M.C. JOSE MARTIN RIVERO RODRIGUEZ \_\_\_\_\_

ASESOR: M.I.A. JUAN CARLOS AVILA REVELES \_\_\_\_\_

Chetumal, Quintana Roo, Abril 2011



## Dedicatoria

Me es claro que mi vida depende de un poder superior que me ha ofrecido consuelo, guía y fortaleza para sobrellevar las experiencias de mi existir. Sé que El considera una falta grave que quienes recibimos de sus bondades seamos desagradecidos y no reconozcamos su mano en todas las cosas. Por esa y muchas más razones agradezco con toda el alma la confianza, paciencia, amor y guía brindada por mi **Padre Celestial**.

Desde hace mucho tiempo he sabido que todo esfuerzo del hombre debe estar encaminado hacia el progreso en busca de su plenitud, también se me ha enseñado que no hay progreso sin contar con un aliciente, en otras palabras, inspiración. Para mí, ese aliciente ha sido la familia empezando por mi esposa **Margarita** que ha llenado con su delicioso aroma, amor y paciencia mi vida. **Jared** y **Mahonry** cuya llegada me llevo a una etapa mejor y más feliz, trayendo consigo nuevos desafíos y energía a mi alma. A mi madre, la valiente **Rosario**... quien siempre me amo y jamás se cansó de aconsejarme. A Papá, a mis hermanos y hermanas que con su vida me enseñaron lo que podía lograr y también lo que podría perder.

Sin duda he conocido y convivido con mucha gente, y cada persona me ha dejado al menos una enseñanza. A mis compañeros, amigos, maestros y líderes agradezco profundamente su aportación a mi progreso. De entre ellos debo agradecer a mi amigo y líder **Juventino Castillo Pinzón** su apoyo y confianza, al **Dr. Inocente Bojórquez Báez** por su tutorado, guía y constante motivación. Al **M.C. Emmanuel Torres Montalvo** por su invaluable dirección y paciencia. A los asesores **M.C. José Martin Rivero Rodríguez** y **M.I.A. Juan Carlos Ávila Reveles** por su valiosa intervención para llevar a puerto seguro esta propuesta de tesis.

Por último, y no por eso menos importante, a **La Universidad de Quintana Roo** por ser una fuente valiosa de instrucción y buena preparación. Por abrir sus puertas y ofrecer a todo ciudadano de este Estado mejorar su entorno.



## Resumen

El estado de Quintana Roo es identificado a nivel mundial como un estado cuya mayor actividad económica es el turismo. Sin embargo, la basta riqueza natural de este bello estado se pone en riesgo a partir de los asentamientos humanos y sus necesidades de servicio. Para lo cual el gobierno, tanto federal como estatal, necesita fortalecer la infraestructura urbana en general y, particularmente, la hidráulica. Esta infraestructura incluye el drenaje sanitario y consecuentemente el tratamiento de las aguas captadas a fin de proteger el manto freático que es la fuente del suministro de agua para consumo humano y no recibe una protección equivalente a su explotación.

En el sur del estado, específicamente en la capital, se construyó en 1998 la planta de tratamiento “El Centenario” como una importante obra para procesar las aguas residuales que, en principio, estaban afectando a la bahía de Chetumal, paralelamente se trabajó en la construcción de la red de drenaje sanitario para la zona baja de la ciudad reduciendo considerablemente el daño ecológico a la citada bahía. Hoy día, cuando el tema de la administración de la energía es clave a nivel mundial, es importante volver la mirada a nuestro Estado y encontrar formas viables para ser más eficientes en el aprovechamiento de la energía.

Esta es, pues, la visión del presente trabajo. Encontrar métodos técnicos, eficientes y económicos para ser implementados a fin de reducir los costos de operación de la planta en cuestión, pero esencialmente en la búsqueda de administrar mejor la energía para la operación de la planta.



## Índice de Figuras

No	Descripción	Página
1	Macro localización del Municipio de Othón P. Blanco.	3
2	La ciudad de Chetumal	3
3	Vista aérea de la planta de tratamiento El Centenario	6
4	Reactor Biológico, Vista de planta	9
5	Cortes del reactor Biológico	9
6	Localización y denominación de las estructuras de la planta de tratamiento de El Centenario	11
7	Estructuras que intervienen en el proceso para el manejo de lodos	12
8	Estructuras que intervienen en el proceso para el manejo del agua	13
9	Plano de distribución de fuerza	14
10	Cobertura del servicio de drenaje sanitario en la ciudad de Chetumal	16
11	Mediciones de consumo según facturación de CFE	19
12	Equipo de medición Fluke 435	22
13.1	Gráfico de lecturas de tensión	22
13.2	Gráfico de lecturas de corriente	23
13.3	Gráfico de lecturas de potencia activa.	23
13.4	Gráfico de lecturas de potencia reactiva	24
13.5	Gráfico de lecturas de factor de potencia	24
14	Correlación típica entre $V_c$ y $V_{s2}$ con la relación A/M	29
14.1	Gráfico ALPHA en función de la intensidad de la mezcla	30
14.2	Correlación $\Psi$ en función de A/M obtenida para VSS	35
15	Sistema de automatización del reactor biológico	37
16	Hach SC 1000	37



## Índice de Tablas

No.	Descripción	Página
1	Tipos de tratamiento de aguas residuales	5
2	Parámetros de análisis para la memoria de calculo	7
3	Calidad del agua para el efluente dela planta	7
4	Criterios de diseño para el primer modulo	8
5	Cedula de fuerza. Motores y tableros.	13
6	Cuadro de carga para motores y equipos existentes en la planta	15
7	Histórico de censos efectuados en la Ciudad de Chetumal	15
8	Volúmenes de agua tratada en la planta “El Centenario” en el año 2009	17
9	Datos del contrato de servicio con CFE	18
10	Datos obtenidos de la facturación de la CFE proporcionados por la CAPA	18
11	Parámetros obtenidos en muestreo del influente	20
12	Parámetros obtenidos en muestreo del efluente	21
13	Comparativo costo Vs. Energía no consumida	38
14	Análisis para el periodo de recuperación de la inversión	38

## Índice de Anexos

Anexo 1. Memoria de Calculo Original de la Planta de tratamiento “El Centenario”.



## Nomenclatura

Descripción	Abreviatura	Descripción	Abreviatura
<b>Coefficiente Harmon</b>	H.	Demanda Biológica de Oxígeno	DBO
<b>Gasto Medio Diario</b>	Qmd	Demanda Química de Oxígeno	DQO
<b>Gasto Mínimo</b>	Q min	DBO5 del influente	So
<b>Gasto Máximo</b>	Qmax	Temperatura	T
<b>Carga orgánica</b>	DBO5	Nitrógeno amoniacal	N amon
<b>Solidos suspendidos totales</b>	SST	Aposte de agua residual	A
<b>Solidos suspendidos Volátiles</b>	SSV	Relación de DBO'S	DBOu/DBO5
<b>Velocidad estilización especifica del sustrato</b>	K	Coefficiente de aprovechamiento celular	Y
<b>Constante de decaimiento endógeno</b>	Kd	Fracción biodegradable, licor mezclado	Fb
<b>Tiempo de retención celular</b>	TRHcel	Solidos suspendidos del licor mezclado	LMSS
<b>DBO5 soluble de salida del reactor</b>	Se	DBO5 no soluble	DBO5ns
<b>Carga orgánica removida</b>	Lo	Eficiencia de remoción de DBO5	Erem
<b>Termino de la fórmula de Adams</b>	TI	Total de oxigeno requerido	SOR
<b>Concentración de saturación de O<sub>2</sub> agua residual</b>	Csw	Concentración de saturación de O <sub>2</sub> en el licor mezclado	Cl



## ÍNDICE

Dedicatoria	I
Resumen	II
Índice de Figuras	III
Índice de Tablas	IV
Índice de Anexos	V
Nomenclatura	VI
<b><u>1 CAPITULO I</u></b>	<b><u>2</u></b>
1.1 INTRODUCCIÓN.	2
1.2 DATOS GENERALES DE LA LOCALIDAD.	2
1.3 MANEJO DE AGUAS NEGRAS PREVIAS A LA PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA.	4
1.4 MÉTODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS.	5
1.5 PLANTA DE TRATAMIENTO “EL CENTENARIO”.	6
1.6 CRITERIOS DE DISEÑO DE LA PLANTA.	6
1.7 CALCULO DE LA ENERGÍA REQUERIDA PARA LA TRANSFERENCIA DE OXÍGENO AL REACTOR BIOLÓGICO.	10
<b><u>2 CAPITULO II</u></b>	<b><u>11</u></b>
2.1 PROCESO DE TRATAMIENTO.	11
2.2 CÉDULA DE FUERZA.	13
2.3 COBERTURA ACTUAL DEL SISTEMA DE DRENAJE SANITARIO EN LA CD. DE CHETUMAL.	15
2.4 ANÁLISIS DE LA FACTURACIÓN, CONSUMO, DEMANDA Y FACTOR DE POTENCIA.	18
2.5 MEDICIÓN Y ANÁLISIS DEL AGUA INFLUENTE Y EFLUENTE DE LA PLANTA	19
2.6 MEDICIONES DE ENERGÍA	22
<b><u>3 PROPUESTA PARA EL AHORRO DE ENERGIA.</u></b>	<b><u>25</u></b>
3.1 CÁLCULO DEL EQUIPO DE AIREACIÓN PARA EL REACTOR BIOLÓGICO	25
3.2 PROPUESTA DE ADECUACIÓN	36
3.3 COSTOS DE INVERSIÓN Y PERIODO DE RECUPERACIÓN	38
3.4 CONCLUSIÓN	39
3.5 REFERENCIAS.	41





# **1 Capítulo I**

## **1.1 Introducción.**

La historia demuestra que toda civilización solo puede desarrollarse si existe una fuente de agua para satisfacer sus necesidades de consumo e higiene básica. En México se ha establecido una dotación mínima de 185 litros por habitante al día para consumo en un sistema de distribución de agua. Esta agua limpia, una vez usada se le considera agua residual y equivale a una tercera parte de la dotación servida.

A los distintos procesos implicados en la extracción, manejo y control sanitario de los productos de desecho arrastrados por el agua y procedentes de viviendas e industrias se le ha denominado depuración o tratamiento de aguas residuales. Esta actividad cobró importancia progresivamente desde principios de la década de 1970 como resultado de la preocupación general expresada en todo el mundo sobre el problema, cada vez mayor, de la contaminación consecuencia de la actividad humana en el medio ambiente, desde el aire a los ríos, lagos, océanos y aguas subterráneas, por los desperdicios domésticos, industriales, municipales y agrícolas.

El problema de la contaminación del agua no es técnicamente un problema difícil, el campo es muy amplio y de suficiente complejidad como para justificar la conjunción de diversas disciplinas a fin de lograr óptimos resultados y con un costo mínimo.

## **1.2 Datos generales de la localidad.**

El Estado de Quintana Roo se ubica en la Península de Yucatán, al sureste de la República Mexicana. Colinda al norte con el Estado de Yucatán, al sur con Belice y Guatemala, al este con el Mar Caribe, y al oeste con el Estado de Campeche. El área a que corresponde el presente estudio se ubica al sur de Quintana Roo, y pertenece al municipio de Othón Pompeyo Blanco del cual es cabecera municipal la ciudad de Chetumal (figura 1).

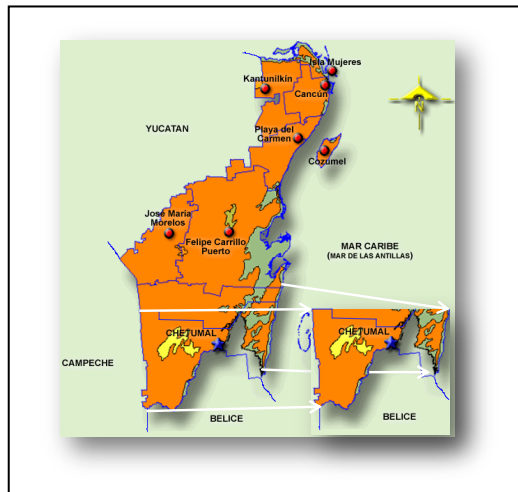


Figura 1 Macrolocalización

El municipio de Othón P. Blanco colinda al Sur con el vecino País de Belice, al Norte con el municipio de Bacalar, Quintana Roo; al Este con el Mar Caribe y al Oeste con el Estado de Campeche. La extensión del municipio es de 11,260 Km<sup>2</sup> (el 22.21% del Estado).

**La ciudad de Chetumal** se ubica en el extremo final de la costa del mar Caribe, en el punto donde El Rio hondo desemboca en la bahía de Chetumal, sus coordenadas geográficas son 18°30'13" al norte y 88°18'19" al oeste y se halla a 10 m sobre el nivel medio del mar. Se localiza a 388 km al sur del centro turístico denominado Cancún, a 388 km al sureste de de la ciudad de Mérida, Yucatán y a una distancia aproximada de 1,550 km de la Ciudad de México (Figura 2).



Figura 2 La Ciudad de Chetumal



La ciudad de Chetumal, ha tenido un desarrollo poblacional lento comparado con el norte del estado que, por su actividad turística, ha demandado mucha mano de obra y su necesario progreso urbanístico. Sin embargo, esta ciudad cuenta con cuerpos de agua en su interior y en su perímetro lo que le da un toque de belleza natural significativo pero que a la par despierta la preocupación por la protección de dichos cuerpos.

Los valores climáticos obtenidos del banco de datos histórico pertenecientes a la unidad meteorológica ubicados en la ciudad de Chetumal y que es dependiente de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), ofrecen los siguientes resultados:

En general, y de acuerdo a la metodología del sistema modificado Köppen-García para su determinación, el clima es cálido subhúmedo con régimen de lluvias de verano. Los valores medios anuales de la temperatura del aire es de 26.5°C, la humedad relativa es de 78% y la precipitación pluvial es de 1,244 mm. En lo referente al viento, la velocidad media es de 3.1 m/s, con máximas de 7.6 m/s, la dirección predominante es este-sureste, con episodios de vientos del norte durante los meses de noviembre y diciembre.

### **1.3 Manejo de Aguas Negras Previas a la puesta en marcha de la Planta.**

Los asentamientos humanos siempre han encontrado maneras para desechar sus aguas negras, el más común de estos fue la construcción de fosas sépticas que es un proceso de tratamiento que suele usarse para los residuos domésticos, es una fosa de cemento, bloques de ladrillo o metal en la que sedimentan los sólidos y asciende la materia flotante. El líquido aclarado en parte fluye por una salida sumergida hasta zanjas subterráneas llenas de rocas a través de las cuales puede fluir y filtrarse en la tierra, donde se oxida aeróbicamente. La materia flotante y los sólidos depositados pueden conservarse entre seis meses y varios años, durante los cuales se descomponen anaeróbicamente. Sin embargo, debido a que la ciudad se fue desarrollando desde la parte más cercana a la denominada "Bahía de Chetumal", dichas fosas estaban prácticamente sumergidas en el manto freático provocando una contaminación directa de las aguas subterráneas esto aunado a que no había una autoridad que regulara y vigilara la correcta construcción de dichas fosas. Bajo estas condiciones, era evidente la necesidad de hallar un método y procedimiento más seguro para tratar las aguas negras producidas por la ciudad.

Por Decreto Presidencial, a partir del 1 de abril de 1981, todos los Sistemas Federales de agua Potable a nivel nacional, fueron entregados a los gobiernos estatales para su administración directa. En nuestro estado, el 29 de septiembre de 1981, se promulgó la Ley de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de



Quintana Roo, por la cual se crea la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado. A partir de entonces esta dependencia es responsable de la infraestructura hidráulica existente así como de proyectar a corto, mediano y largo plazo la cobertura requerida para la geografía estatal.

## 1.4 Métodos de Tratamiento de Aguas Negras.

Las características de una planta y el grado de tratamiento de las aguas negras dependen de los límites de vertido para el efluente. El tratamiento primario se emplea para eliminar los sólidos en suspensión y los materiales flotantes, impuesta por los límites que establecen tanto la descarga al medio receptor como para poder llevar los influentes a un tratamiento secundario, ya sea de forma directa o pasando por una neutralización u homogenización. El tratamiento secundario comprende tratamientos biológicos convencionales. En lo que se refiere al tratamiento terciario, su objetivo fundamental es la eliminación de contaminantes que no se eliminan con los tratamientos biológicos convencionales. En el cuadro 1, se presenta una clasificación convencional de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

**Tabla 1. Tipos de tratamiento de aguas residuales (5).**

TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO	TRATAMIENTO TERCIARIO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cribado o desbrozo</li> <li>- Sedimentación</li> <li>- Flotación</li> <li>- Separación de aceites</li> <li>- Homogeneización</li> <li>- Neutralización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lodos activados</li> <li>- Aireación prolongada (procesos de oxidación total)</li> <li>- Estabilización por contacto</li> <li>- Otras modificaciones del sistema convencional de lodos activados: aireación por fases, mezcla completa, aireación descendente, alta carga, aireación con oxígeno puro.</li> <li>- Lagunas de aireación</li> <li>- Lagunas de Estabilización</li> <li>- Filtros biológicos (percoladores)</li> <li>- Discos biológicos</li> <li>- Tratamientos anaerobios: procesos de contacto, filtros (sumergidos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Microtamizado</li> <li>- Filtración (lecho de arena, antracita, tierra de diatomeas...)</li> <li>- Precipitación y coagulación</li> <li>- Adsorción (carbón activado)</li> <li>- Intercambio iónico</li> <li>- Osmosis inversa</li> <li>- Electrodiálisis</li> <li>- Cloración y ozonización</li> <li>- Procesos de reducción de nutrientes</li> <li>- otros</li> </ul>



## 1.5 Planta de tratamiento "El Centenario".

Mediante el contrato SGC-AP-96-230-I signado en 1996 por la Comisión de Agua potable se acuerda con la empresa TLALOC INGENIERIA S.A. DE C.V. el diseño de la planta de tratamiento de aguas negras que se denominaría "El Centenario". El proyecto contemplaba 4 alternativas, la primera era mediante el método de lodos activados, la segunda aeración a contracorriente, la tercera era dual, esto es, biofiltro-lodos activados y, por último, aeración extendida. La comisión optó por lodos activados y el método de aireación extendida. La memoria de cálculo para esta opción seleccionada se puede apreciar en el anexo 1 de este documento. Con estos elementos se puso en marcha la construcción con lo que la Planta de Tratamiento de Aguas Negras de "El Centenario" entró en operación en 1998.



**Figura No. 3 Vista área de la planta de "El Centenario".**

La Figura 3 ofrece la imagen aérea de la planta que se ubica en la calle tenacidad S/N, al final de la Colonia Nvo. Progreso y sus coordenadas geográficas: 18°32'15" al norte y 88°18'55" al oeste y se halla a 6 m sobre el nivel medio del mar.

## 1.6 Criterios de diseño de la planta.

De acuerdo a la memoria de cálculo original, la planta de "El Centenario" fue concebida para llevar a cabo el proceso de lodos activados - aireación extendida considerando el destino del efluente para infiltración al acuífero, y se analizó bajo los parámetros que figuran en la tabla 2:



**Tabla 2. Parámetros de análisis para la memoria de cálculo**

<b>Concepto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Población de proyecto	193,702	Habitantes
Demanda	200	Litros/Habitante/Día
Aportación (80% de la demanda)	160	Litros/Habitante/Día
Coeficiente de Harmon	1.80	Adimensional
Gasto medio diario (Qmd)	360	Litros/segundo
Gasto mínimo (Qmin)	180	Litros/segundo
Gasto máximo (Qmax)	648	Litros/segundo
Carga Orgánica (DBO5)	250	mg/litro
Sólidos suspendido totales (SST)	300	mg/litro
Sólidos suspendidos Volátiles (SSV)	150	mg/litro
Temperatura promedio	24	°C
Numero de módulos	3	Modulo
Capacidad por modulo	120	Litros/segundo

Se estableció también la calidad del agua requerida a las condiciones particulares de la descarga con los parámetros de la tabla 3.

**Tabla 3. Calidad del agua para efluente de la planta.**

<b>Carga orgánica</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
DBO5	30	mg/litro
DBO soluble	20	mg/litro
DQO	110	mg/litro
Nitrógeno amoniacal	20	mg/litro
Nitrógeno total	30	mg/litro
Sólidos suspendidos totales (SST)	30	mg/litro

Estos criterios generales sirven para poder establecer el dimensionamiento de la primera etapa del proceso, el PRETRATAMIENTO o TRATAMIENTO PRIMARIO. El planteamiento del proyecto establece que el influente se recibirá en un tanque denominado de pretratamiento cuyas dimensiones contemplan los 360 lps que será capaz de tratar la planta en su etapa final, cuando los 3 módulos estén completos.

Sin embargo, para el diseño del primer módulo se establecieron los criterios que figuran en la tabla 4:



**Tabla 4. Criterios de diseño para el primer módulo de la planta.**

literal	valor	unidad	Nombre de la variable
So	250	mg/lit	DBO del influente
Q	120	Lt/s	Gasto medio del influente
T	24.5	°C	Temperatura del reactor
SSV	150	mg/lit	Sólidos suspendidos volátiles
SST	300	mg/lit	Sólidos suspendidos totales
N amon	14	mg/lit	Nitrógeno amoniacal
N org	30	mg/lit	Nitrógeno Orgánico
A	160	lt/Hab/día	Aporte de agua residual
DBOu/DBO5	1.5	Adim.	Relación de DBO's

Este primer módulo tiene capacidad para tratar un influente de 120 lps y se contemplan la segunda y tercera etapa del proceso de tratamiento.

Se consideró la construcción del reactor biológico compuesto por dos módulos gemelos, el tanque sedimentador secundario, el tanque de recirculación de lodos, el cárcamo de natas y sobrenadante, el tanque digestor de lodos y el tanque espesador de lodos.

Para el caso del tanque de contacto de cloro, este al igual que la estructura de pretratamiento, se construyó para manejar los 360 lps de la planta.

Evidentemente, cada estructura es importante para el proceso total, sin embargo, el corazón de dicho proceso es el reactor biológico.

En esta estructura se lleva a cabo la transferencia de oxígeno a las aguas residuales sometidas a tratamiento biológico aerobio. La explicación más simple del mecanismo de transferencia de gases es la dada por la teoría de la doble partícula. De acuerdo con la cual es la presencia de dos capas, una líquida y la otra gaseosa, en la interface de gas-líquido, la que proporciona la mayor parte de la resistencia al paso de las moléculas de gas de la masa en fase gaseosa a la líquida. Para este proceso se requiere la intervención de un compresor de aire o "soplador" que se ocupará de inyectar el oxígeno a los módulos. El volumen del oxígeno depende de las características del influente y el perfil planteado para el efluente, lo que nos llevará a calcular la potencia de dicho soplador.

Los datos presentados en la tabla 1.4 llevaron a definir las dimensiones del reactor (ver anexo 1), quedando en 15.20 m de ancho, 45.60 m de largo y 4.30 m de altura con un total de dos módulos y una capacidad de 5,964.89 m<sup>3</sup> y un tiempo de retención de 13.81 horas. Las figuras 4 y 5 muestran los croquis derivados de los planos originales de diseño de la planta.

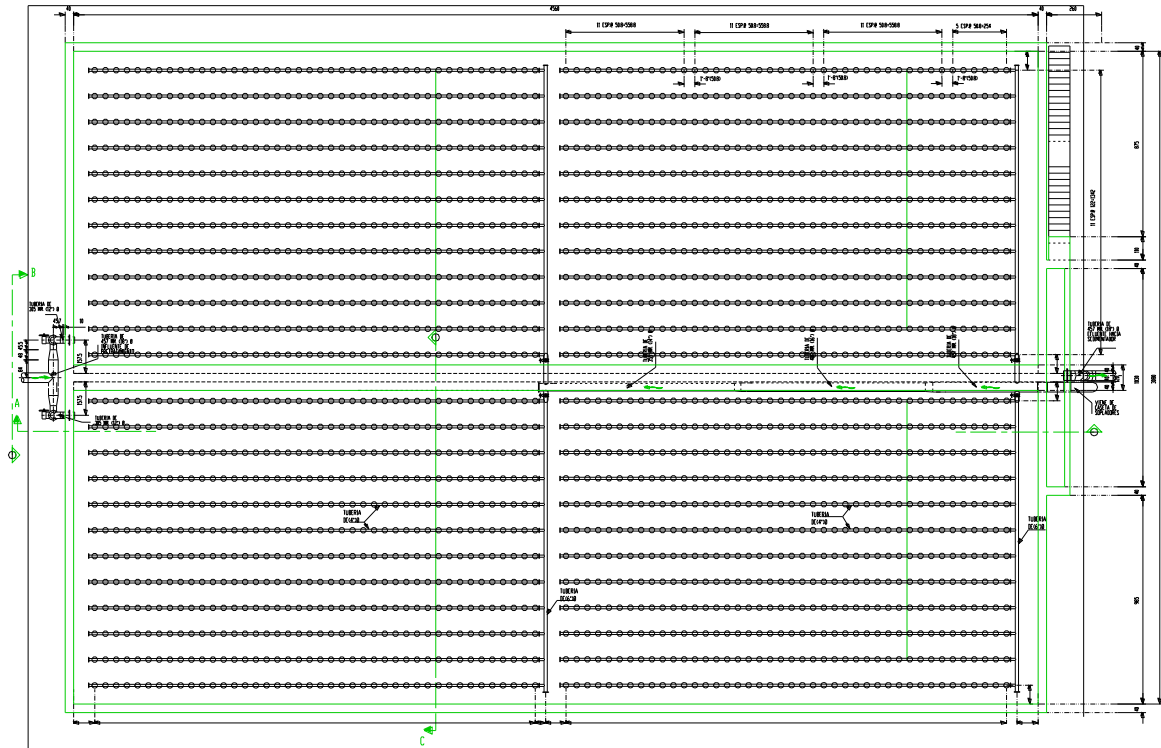


Figura 4. Reactor biológico, vista en planta.

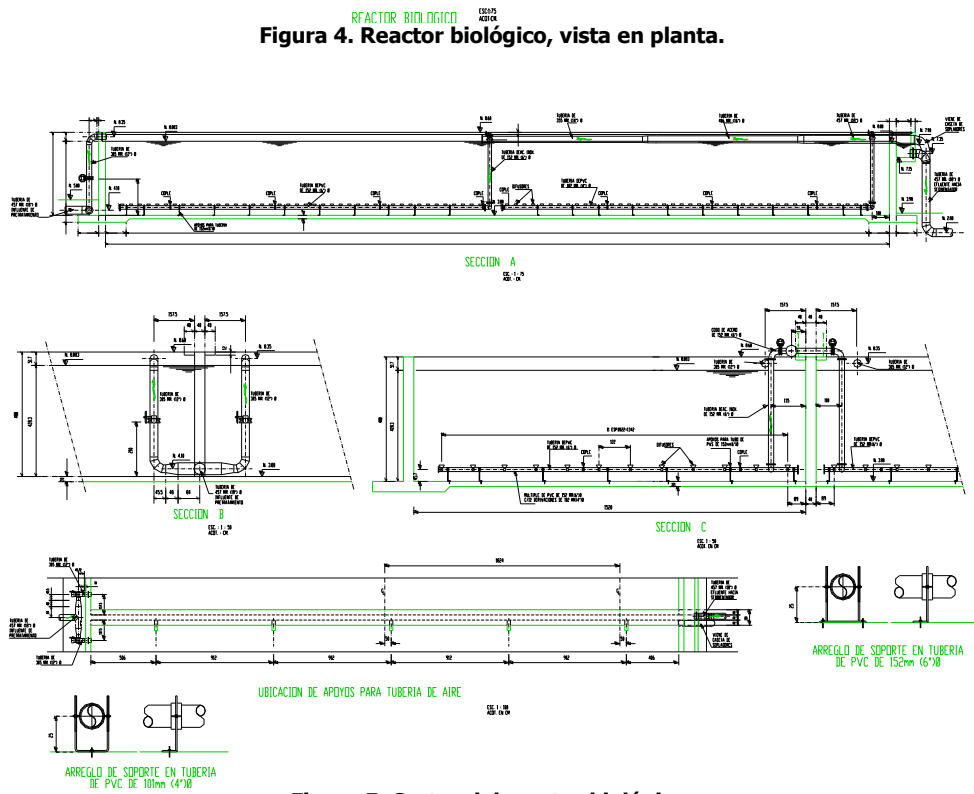


Figura 5. Cortes del reactor biológico.





## 1.7 Cálculo de la energía requerida para la transferencia de oxígeno al reactor biológico.

El proceso de selección de los equipos de aireación es una tarea crítica en el proceso de diseño de una planta de lodos activados. Los aireadores normalmente utilizados pueden clasificarse en 1) unidades de difusión de aire, 2) aireadores de turbina, y 3) aireadores superficiales. El tipo seleccionado para el caso que nos ocupa es el citado en la opción 1).

Este tipo de aireadores realizan su trabajo por borboteo de aire en zonas profundas de la balsa de aireación, se les conoce por la denominación general "aireadores de burbujeo o burbuja".

En los procesos de aireación biológica, los aireadores llevan a cabo dos funciones básicas: 1) favorecen la transferencia de oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica del agua y 2) mantienen un nivel adecuado de turbulencia en el reactor con el objeto de conseguir concentraciones relativamente uniformes de oxígeno disuelto y microorganismos en toda la masa líquida.

A consecuencia de los parámetros que se analizaron en el inciso 3.1. de este documento, el volumen del oxígeno total requerido en el reactor resulta en 3,101.46 kg/día o 129.227 kg/hr (véase anexo 1). Este volumen implica la definición del tipo de difusor necesario para la distribución del oxígeno en el reactor, por lo que se seleccionaron aireadores o difusores de tipo cerámico poroso con una permeabilidad de 120 (ft<sup>3</sup>/min)/ft<sup>2</sup>.

Finalmente, la energía requerida en el equipo de aireación, o "soplador", para el mezclado en el reactor biológico resultó en 99.94 hp de potencia por módulo. Finalmente, se optó por comprar 3 equipos de 75 hp, que equivale al 75% de la potencia requerida por módulo. Dos de éstos estarían en operación y uno en reserva para casos de mantenimiento o falla.

De lo anterior, podemos definir que la etapa en el proceso que consume más energía eléctrica es la de aeración pues es la clave de todo el tratamiento.



## 2 CAPITULO II

### 2.1 Proceso de Tratamiento.

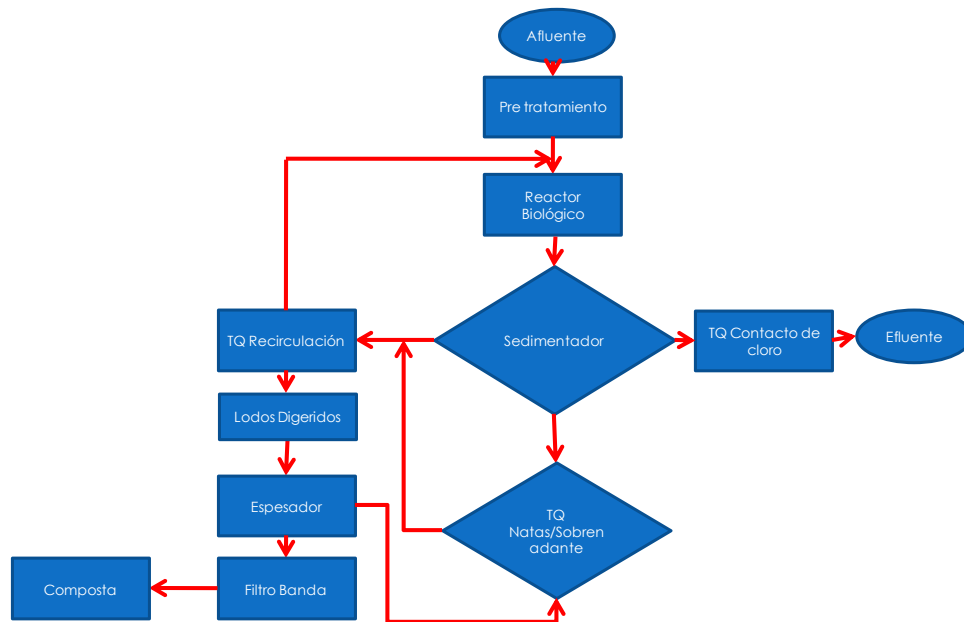
La figura 6 muestra, con la ayuda de una fotografía aérea del sitio, la localización de las estructuras que integran la planta en cuya denominación se establece su razón.



- 1.- Pre tratamiento.
- 2.- Reactor biológico
- 2B.- Caseta de Sopladores.
- 3.- Sedimentador Secundario.
- 4.- Recirculación de Lodos.
- 5.- Cárcamo de Natas, Sobrenadante.
- 6.- Espesador o Separador de Lodos.
- 7.- Tanque de Contacto (Desinfección).
- 8.- Caseta de Cloración.
- 9.- Digestor de lodos y Filtro Banda
- 10.- Edificio Administrativo.
- 11.- Centro de Control de Motores.
- 12.- Área de Transformador Eléctrico.
- 13.- Caseta de Vigilancia.

Figura 6. Localización y denominación de estructuras de la planta de tratamiento "El Centenario".

Para poder entender mejor la razón de dichas estructuras es necesario conocer el proceso que enfrenta el agua desde su llegada a la planta hasta su salida. El proceso de tratamiento tiene dos vertientes, una encaminada a tratar los lodos que se producen y la otra a desinfectar el agua resultante. Este proceso se aprecia mediante el siguiente diagrama de flujo:



La figura 7 establece las estructuras que intervienen en el proceso para el manejo de lodos.



Figura 7. Estructuras que intervienen en el proceso para el manejo de lodos.

Para el caso del agua, la figura 8 muestra la ruta que sigue su tratamiento.



Figura 8. Estructuras que intervienen en el proceso para el manejo del Agua.

El dimensionamiento de dichas estructuras depende de un procedimiento de cálculo que, como se ha citado anteriormente, depende del volumen de agua a tratar y del proceso de análisis mediante las ecuaciones correspondientes mismas que pueden apreciarse en la memoria de cálculo que es el anexo 1 de este documento.

## 2.2 Cédula de fuerza.

Resultado de los cálculos que se registran en la memoria original, se dispusieron los equipos y circuitos que a continuación se presentan en la Tabla 5. En ella se aprecian los valores de la cédula de fuerza (cálculo de cargas) de la primera etapa de la Planta.

Tabla 5 cédula de fuerza. Motores y Tableros.

Descripción	Cantidad	Voltaje	Potencia HP/W	Amperaje	Calibre Cond.	Distancia (m)
Soplador 75 hp	3	440	75/55.93	149.55	1/0	80.00
Sedimentador	1	440	0.5/0.37	0.78	10	50.00
Bomba C. Filtrado	2	440	3/2.24	3.84	10	95.00
Bomba Recirculación	2	440	10/7.46	12.10	10	65.00
Bomba Exceso de lodos	2	440	1/0.75	1.56	10	70.00
Bomba lodos Digeridos	2	440	1.5/1.12	2.04	10	90.00
Bomba Cavidad Progresiva	2	440	5.0/3.73	6.41	10	85.00
CCM A	1	220	/12.81	39.65	6	2.00



CCM B	1	440	/25.1	32.97	4	120.00
CCM C	1	440	/12.5	16.42	8	90.00
Tablero D	1	220	/2.03	9.22	10	2.00
Tablero E	1	220	/1.79	8.13	8	67.00
Tablero F	1	220	/3.93	12.15	10	40.00
Tablero G	1	220	/4.02	12.45	10	30.00
Tablero H	1	220	/0.92	4.18	10	15.00
Bomba Tinaco	1	440	/4.39	6.41	10	70.00
Bomba a Pozo de inyección	1	440	/13.16	18.15	10	60.00

Como puede notarse por las distancias que hay desde el centro de control de motores (CCM) hasta los equipos y los centros de carga, es muy importante que la selección del conductor sea la más certera a fin de evitar caídas de tensión. La figura 9 presenta la distribución de las líneas que alimentan a los equipos de fuerza de la planta, incluso la disposición de la infraestructura para la segunda y tercera etapas de la planta.

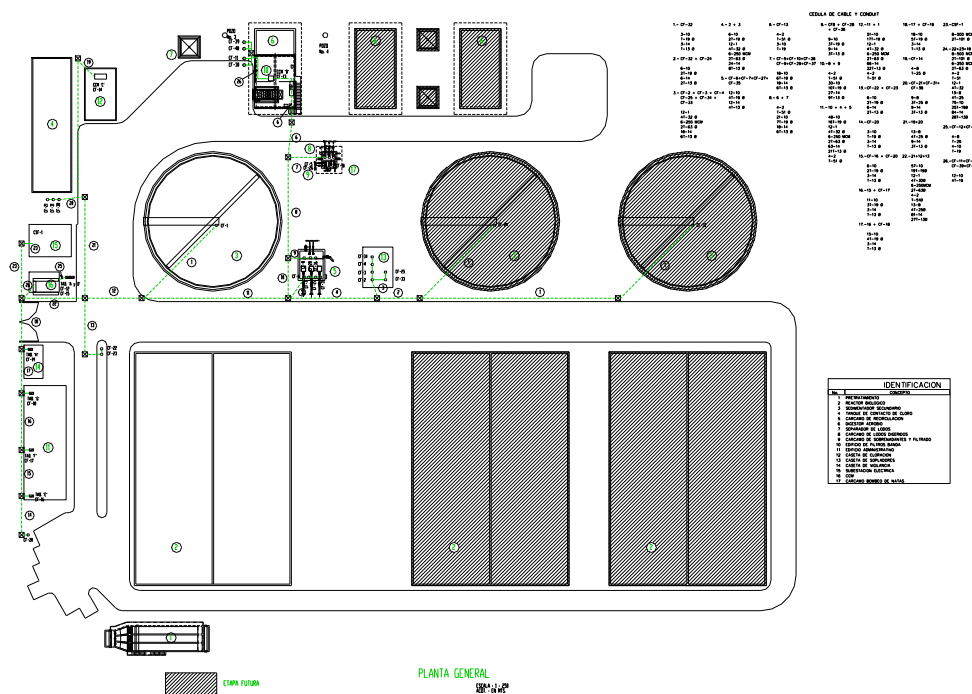


Figura 9. Plano de distribución de Fuerza.

Con la tabla anterior se confirma el hecho de que el equipo con la mayor demanda de energía es el soplador pues se instalaron 3 equipos de 75 hp, sin embargo, dos estarán en operación y uno en reserva.

Para el año 2000, los 3 compresores (sopladores) fueron sustituidos por 3 de 100 hp. Mismos que operan a la fecha. Esta modificación nos llevó a efectuar un inventario de los equipos que están instalados en la planta a fin de comparar los datos que aparecen en la cédula de fuerza que se calculó contra los valores de los equipos instalados y que están en operación de modo que se procedió, en consecuencia, al análisis de cuadro de cargas tal y como se muestra en la tabla 6.



**Tabla 6. Cuadro de carga para motores y equipos existente en la planta.**

CUADRO DE CARGAS DE ALIMENTACION

PLANTA DE "EL CENTENARIO"

Circuito	SERVICIO	DESDE	HASTA	O-R	DATOS DEL EQUIPO							CALCULO POR AMPACIAD			CALCULO POR CAIDA DE TENSION			CANALIZACION					
					HP	EF.	FP	KW	KVA	IPC	V	Icor (mtto)	Icor (arranque)	Longitud (mt)	S en mm2	e %	Conductor (AWG)	S en mm2	e %	Conductor (AWG)	Proteccion (A)	Diam	Cantidad
CF1	FUERZA	CCM1	SEDIMENTADOR	O	0.50	0.94	0.85	0.37	0.44	0.57	440.00	0.54	0.81	50.00	3.31	0.10	12	0.00	0	15	1/2"	50.00	
CF2	FUERZA	CCM1	SOPLADOR 1	O	100.00	0.94	0.85	74.57	87.73	115.11	440.00	109.35	136.69	80.00	53.50	1.61	1/0	0.00	0	15	1"	80.00	
CF3	FUERZA	CCM1	SOPLADOR 2	O	100.00	0.94	0.85	74.57	87.73	115.11	440.00	109.35	136.69	80.00	53.50	1.61	1/0	0.00	0	15	1"	80.00	
CF4	FUERZA	CCM1	SOPLADOR 3	R	100.00	0.94	0.85	74.57	87.73	115.11	440.00	109.35	136.69	80.00	53.50	1.61	1/0	0.00	0	15	1"	80.00	
CF5	FUERZA	CCM1	BOMBA CARCAMO DE FILTRADO	O	1.00	0.94	0.85	0.75	0.88	1.16	440.00	1.10	1.65	95.00	3.31	0.37	12	0.00	0	15	1/2"	95.00	
CF6	FUERZA	CCM1	BOMBA CARCAMO DE FILTRADO	R	1.00	0.94	0.85	0.75	0.88	1.16	440.00	1.10	1.65	95.00	3.31	0.37	12	0.00	0	15	1/2"	95.00	
CF7	FUERZA	CCM1	BOMBA RECIRCULACION DE LODO	O	7.50	0.94	0.85	5.59	6.58	8.63	440.00	8.20	12.30	65.00	3.31	1.90	12	0.00	0	15	1/2"	65.00	
CF8	FUERZA	CCM1	BOMBA RECIRCULACION DE LODO	R	7.50	0.94	0.85	5.59	6.58	8.63	440.00	8.20	12.30	65.00	3.31	1.90	12	0.00	0	15	1/2"	65.00	
CF9	FUERZA	CCM1	BOMBA DE EXESO DE LODO	O	2.00	0.94	0.85	1.49	1.75	2.30	440.00	2.19	3.29	70.00	3.31	0.55	12	0.00	0	15	1/2"	70.00	
CF10	FUERZA	CCM1	BOMBA DE EXESO DE LODO	R	2.00	0.94	0.85	1.49	1.75	2.30	440.00	2.19	3.29	70.00	3.31	0.55	12	0.00	0	15	1/2"	70.00	
CF11	FUERZA	CCM1	BOMBA DE LODOS Digeridos	O	2.00	0.94	0.85	1.49	1.75	2.30	440.00	2.19	3.29	90.00	3.31	0.70	12	0.00	0	15	1/2"	90.00	
CF12	FUERZA	CCM1	BOMBA DE LODOS Digeridos	R	2.00	0.94	0.85	1.49	1.75	2.30	440.00	2.19	3.29	90.00	3.31	0.70	12	0.00	0	15	1/2"	90.00	
CF13	FUERZA	CCM1	BOMBA CAVIDAD PROGRESIVA	O	3.00	0.94	0.85	2.24	2.64	3.46	440.00	3.29	4.94	85.00	3.31	1.00	12	0.00	0	15	1/2"	85.00	
CF14	FUERZA	CCM1	BOMBA CAVIDAD PROGRESIVA	R	3.00	0.94	0.85	2.24	2.64	3.46	440.00	3.29	4.94	85.00	3.31	1.00	12	0.00	0	15	1/2"	85.00	
CF15	FUERZA	TRA		O	17.18	0.94	0.85	12.81	15.07	39.55	220.00	37.57	46.96	2.00	8.37	0.18	8	0.00	0	15	3/4"	2.00	
CF16	FUERZA	CCM1	CENTRO DE CONTROL MOTORES B	O	33.66	0.94	0.85	25.10	29.53	38.75	440.00	36.81	46.01	120.00	8.37	5.19		25.10	2	3	50	1"	120.00
CF17	FUERZA	CCM1	CENTRO DE CONTROL MOTORES C	O	16.76	0.94	0.85	12.50	14.71	19.30	440.00	18.34	22.93	90.00	3.31	4.91		9.38	2	6	50	1/2"	90.00
CF18	FUERZA	TRA	TABLERO D	O	2.72	0.94	0.85	2.03	2.39	3.13	440.00	2.97	4.46	2.00	3.31	0.02	12	0.00	0	25	1/2"	2.00	
CF19	FUERZA	TRA	TABLERO E	O	2.40	0.94	0.85	1.79	2.11	2.76	440.00	2.62	3.93	67.00	3.31	0.63	12	0.00	0	15	1/2"	67.00	
CF20	FUERZA	TRA	TABLERO F	O	5.27	0.94	0.85	3.93	4.62	6.07	440.00	5.77	8.66	40.00	3.31	0.82	12	0.00	0	15	1/2"	40.00	
CF21	FUERZA	TRA	TABLERO G	O	5.39	0.94	0.85	4.02	4.73	6.21	440.00	5.90	8.85	30.00	3.31	0.63	12	0.00	0	15	1/2"	30.00	
CF22	FUERZA	TRA	TABLERO H	O	1.23	0.94	0.85	0.92	1.08	1.42	440.00	1.35	2.03	15.00	3.31	0.07	12	0.00	0	15	1/2"	15.00	
CF23	FUERZA	CCM1	BOMBA A TINACO	O	5.00	0.94	0.85	3.73	4.39	5.76	440.00	5.47	8.21	70.00	3.31	1.37	12	0.00	0	15	1/2"	70.00	
CF24	FUERZA	CCM1	BOMBA A POZO DE INYECCION	O	15.00	0.94	0.85	11.19	13.16	17.27	440.00	16.41	20.51	60.00	3.31	2.95		5.59	2	8	30	1/2"	60.00
TOTALES						436.12			325.22	382.62			634.37										

Lo que nos dice que el dimensionamiento de los conductores al menos de proyecto, y que se corroboró físicamente, están dentro de los criterios técnicos de la norma de acuerdo con la Tabla 310-16 o 310-17.

En este punto hay que hacer un alto y analizar las condiciones actuales de operación de la planta y enfrentar éstas a las características planteadas en la memoria de diseño. Esto con el firme propósito de considerar la posibilidad de reducir el consumo de energía, pero ¿Qué condiciones permitirían reducir dicho consumo?

### 2.3 Cobertura Actual del sistema de Drenaje Sanitario en la Cd. de Chetumal.

De acuerdo al anexo 1, la población considerada en el primer módulo del proyecto es de 64,800 habitantes y un gasto de 120 lps. (tabla 4). De acuerdo a los censos elaborados los últimos 20 años por el Instituto Nacional de Geografía e Informática, en la ciudad de Chetumal se han obtenido los resultados que figuran en la tabla 7.

**Tabla 7. Histórico de censos efectuados en la ciudad de Chetumal.**

Clave INEGI			Nombre de la localidad	Población histórica (INEGI)			
E	M	L		1990	1995	2000	2005
23	004	0001	Chetumal	94,158	115,468	121,602	136,825

Se puede apreciar que desde el año 1990 ya se había superado la población considerada para el primer módulo del proyecto, sin embargo, no hay que olvidar que estamos hablando de "población con el servicio de drenaje sanitario municipal".



Con base en los datos de la tabla anterior, y con auxilio de la ecuación conocida como ***Proyección de Interés compuesto***, que se expresa

$$Pf = Pa[1+i]^n$$

Donde

Pf = Población futura.

Pa = Población Actual

i= Factor de Crecimiento.

N= el plazo, en años, de la proyección.

A la citada ecuación le aplicamos los datos que obtuvimos del INEGI, y nos da como resultado que para el año 2009 la población debería ser de 150,364 habitantes. Este estimado es 47.31% superior del propuesto en el análisis de la memoria para el modulo construido de la planta. Sin embargo, el informe de la Coordinación de Planeación de la CAPA (6), mismo que sirve como base para el informe anual que presenta el C. Gobernador del Estado, sostiene que la cobertura en la infraestructura hidráulica para el rubro de drenaje sanitario es del 44% de la población actual de la ciudad. Tomando en cuenta el resultado de la proyección de población, resulta que la población con servicio de drenaje sanitario sería de 66,160 habitantes, lo que implica un 2.10% superior a lo planteado para el primer módulo de la planta. Sin embargo, tres fraccionamientos cuentan con pequeñas plantas de tratamiento para las aguas que en ellos se producen lo que evita que estas sean atendidas por la planta "El Centenario".

En la figura 10 se aprecia las colonias con cobertura de drenaje sanitario así como la ubicación de los cárcamos de rebompeo, las 3 plantas pequeñas que tratan las aguas que se producen en esas colonias y la planta "El Centenario".

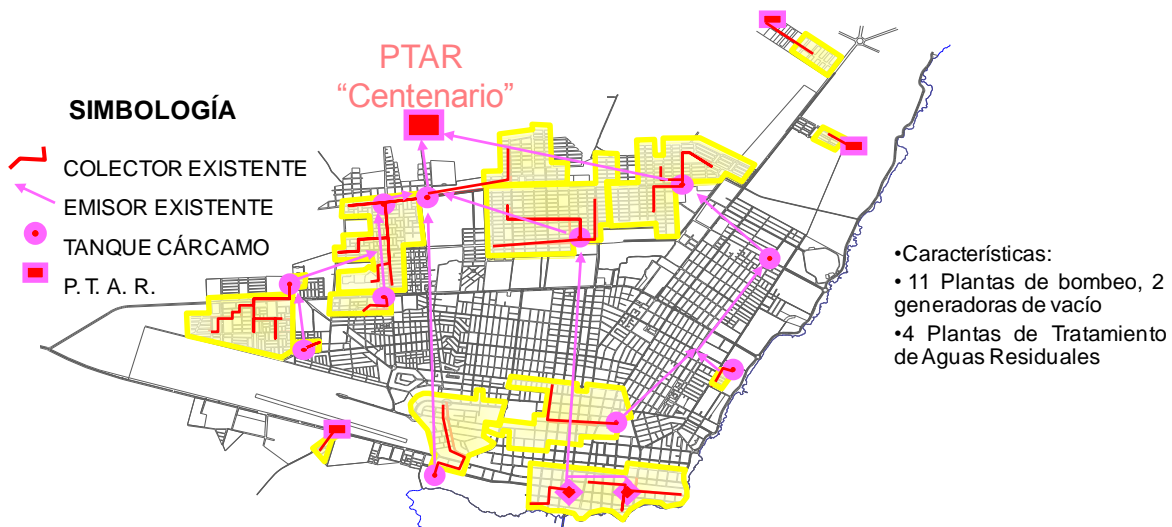


Figura 10. Cobertura del servicio de drenaje sanitario en la ciudad de Chetumal.



Esta información nos obliga a conocer los volúmenes de agua que la planta recibe para tratar.

La CAPA, a través de la Coordinación de Operación, conserva un registro anual de los volúmenes de aguas negras procesados en cada una de las plantas que operan en todo el estado. Los volúmenes correspondientes al año 2009 que se reportaron son los que figuran en la tabla 8 (7).

**Tabla 8. Volúmenes de agua tratada en la planta "El centenario" en el año 2009.**

MES	m <sup>3</sup>	lps
ENERO	219,326.00	81.89
FEBRERO	219,435.00	90.71
MARZO	219,483.00	81.95
ABRIL	220,145.00	84.93
MAYO	222,657.00	83.13
JUNIO	224,409.00	86.58
JULIO	223,287.00	83.37
AGOSTO	224,507.00	83.82
SEPTIEMBRE	223,627.00	86.28
OCTUBRE	224,707.00	83.90
NOVIEMBRE	224,812.00	86.73
DICIEMBRE	223,600.00	83.48
<b>PROMEDIO</b>	<b>222,499.58</b>	<b>84.73</b>

Es importante mencionar que físicamente no existe un medidor volumétrico en la tubería del influente y estos valores reportados por el Organismo Operador Othón P. Blanco de la CAPA son estimados. El personal adscrito a la planta mide en tiempo en el que se llena la estructura de pretratamiento y debido a que se conoce el área de los tubos del influente pueden calcular, mediante la ecuación de continuidad (donde el gasto es igual al área del ducto multiplicado por la velocidad del fluido), el volumen de agua que llega a la planta.

El valor promedio que figura al final de la tabla 8 es importante, debido a que el primer módulo de la planta está diseñado para recibir y tratar un caudal de 120 lps volumen que produciría, como ya se dijo, una población igual a 64,800 habitantes. Claro que este número de habitantes se refiere a quienes cuentan con el servicio de drenaje sanitario municipal.

De modo que el volumen que llega a la planta, según la tabla anterior, es 22.39% menor al considerado para el primer módulo. Lo que nos lleva a la pregunta de ¿Cómo debería afectar esto en el consumo de energía?





## 2.4 Análisis de la facturación, consumo, demanda y factor de potencia.

En la Tabla 9 se enlistan las condiciones que imperan en el contrato de servicio eléctrico que provee la Comisión Federal de Electricidad a la Planta El Centenario.

**Tabla 9 Datos del contrato de servicios con CFE.**

Medidor: tipo digital	Tarifa: HM
No. De Servicio	796980901831
Consumo anual (Ene 2009 a Dic 2009):	57,140 kW/h
Importe anual (Ene 2009 a Dic 2010):	\$923,772.36
Precio Medio (Ene 2009 a Dic 2010):	\$ 16.17/kWh

La Tabla 10 presenta los datos de la facturación mensual en el periodo de enero de 2009 a Marzo del 2010, a manera de resumen.

**Tabla 10 Datos obtenidos de la Facturación de C.F.E. proporcionados por la CAPA**

PERIODO		KWH				F.P.	KW DEM. FAC.	F.C.	COSTOS			
INICIO	FIN	BASE	INTER	PUNTA	KVARH				ENRGIA	DEMANDA	F.P.	IMPORTE
31/12/2008	31/01/2009	20,880.00	32,328.00	8,376.00	17,976.00	95.99	103.00	78.00	57,103.06	17,090.85	-316.58	79,612.61
31/01/2009	28/02/2009	18,864.00	29,568.00	7,512.00	16,488.00	95.92	111.00	71.00	47,787.00	19,001.54	-980.53	146,286.99
28/02/2009	31/03/2009	21,504.00	31,344.00	7,872.00	17,904.00	95.92	107.00	74.00	48,963.62	17,174.57	-992.07	71,661.72
31/03/2009	30/04/2009	18,792.00	33,288.00	4,296.00	17,520.00	95.40	105.00	72.00	44,914.54	16,875.43	-892.49	66,987.93
30/04/2009	31/05/2009	19,536.00	31,800.00	3,312.00	16,752.00	95.61	103.00	69.00	40,591.43	16,706.60	-859.47	62,083.34
31/05/2009	30/06/2009	17,232.00	33,288.00	3,648.00	15,408.00	96.18	102.00	74.00	39,299.31	16,336.32	-890.17	60,220.34
30/06/2009	31/07/2009	15,768.00	36,048.00	4,080.00	16,896.00	95.72	107.00	70.00	41,996.09	16,945.59	-884.12	63,863.65
31/07/2009	31/08/2009	17,400.00	36,432.00	3,744.00	20,016.00	94.46	102.00	69.00	48,036.37	17,100.72	-950.04	69,308.53
31/08/2009	30/09/2009	18,216.00	32,856.00	3,480.00	27,360.00	89.39	103.00	73.00	43,222.97	16,518.32	238.00	65,712.62
30/09/2009	31/10/2009	20,376.00	29,928.00	7,464.00	30,984.00	88.12	107.00	72.00	54,954.40	17,336.14	939.77	80,554.20
31/10/2009	30/11/2009	20,376.00	29,928.00	7,464.00	30,984.00	88.12	107.00	72.00	54,954.40	17,336.14	939.77	80,554.20
30/11/2009	31/12/2009	20,472.00	30,864.00	8,088.00	30,960.00	88.69	104.00	75.00	61,168.07	16,836.56	702.04	86,577.53
31/12/2009	31/01/2010	20,928.00	30,288.00	7,512.00	31,296.00	88.25	105.00	75.00	57,256.53	17,017.35	891.28	83,433.85
31/01/2010	28/02/2010	18,648.00	28,224.00	7,080.00	28,728.00	88.27	105.00	71.00	58,826.50	17,047.80	910.40	85,231.90
28/02/2010	31/03/2010	19,848.00	30,576.00	7,872.00	30,384.00	88.68	105.00	75.00	64,827.00	17,186.40	738.10	92,642.30
		288,840.00	476,760.00	91,800.00	349,656.00				763,901.29	256,510.33	-1,406.11	1,194,731.71

De modo que el importe anual de gasto por consumo de energía, para el año 2009, fue de \$933,423.66 pesos. Ese monto incluye, además de la energía, conceptos como: la demanda y el factor de potencia, entre otros. Se puede notar por la línea naranja que resalta al renglón correspondiente al mes de agosto, que en esa fecha el factor de potencia se vio disminuido de 94.46% al 89.39%, reducción que será motivo de análisis en el presente documento.

La figura 11 es una gráfica que muestra el comportamiento de los datos de la Tabla 9.

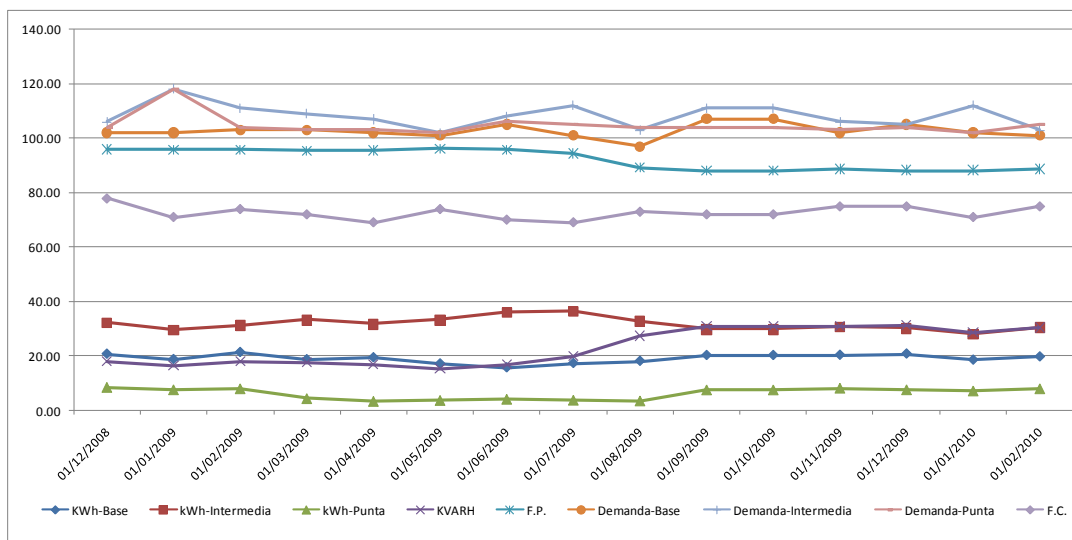


Figura 11. Mediciones de consumo según facturación CFE.

Se observa en la gráfica, valores estables de consumo y demanda

## 2.5 Medición y análisis del agua influente y efluente de la planta

Por condiciones establecidas en la norma:

- NOM-001-SEMARNAT-1996 "LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES".

En nuestro País, la federación condiciona a toda planta de tratamiento a monitorear, al menos, trimestralmente los parámetros del efluente. Por este motivo, la CAPA signo un contrato de servicios profesionales con la empresa "Laboratorio Químico Industrial y Agrícola, S.A de C.V."

La normatividad no exige que se midan las características del influente por lo que la CAPA, por políticas propias, hace pruebas de este indicador solo dos veces al año. Dichas pruebas se basan en lo establecido en los procedimientos establecidos en:

- NMX-AA-012-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTOS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA y,
- NMX-AA-028-SCFI-2001 ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DBO5) Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA.



En la tabla 11 y 12 se concentran los valores comparativos reportados por la empresa en cuestión en los últimos 12 meses.

**Tabla 11. Parámetros obtenidos en muestreos de influente.**

Parámetro	unidades	resultados		limite de detección	incertidumbre expandida	máximo permisibles
fecha de análisis		dic-09	jul-10			
promedio de temperatura	°C	31.33	30.40	no aplica	no aplica	40
materia flotante		presente	ausente	no aplica	no aplica	ausente
solidos sedimentables	mL/L	0.50	0.60	no aplica	3.14%	2
solidos suspendidos totales	mg/L	190.00	92.00	no aplica	3.78%	125
demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	92.28	111.45	10.13 mg/L (cmc)	9.78%	150
demanda química de oxígeno	mg/L	288.00	391.20	9.6 mg/L (cmc)	4.03%	320
nitrógeno total	mg/L	100.49	40.22	no aplica	0.0002%	60
nitrógeno total KJELDAHL	mg/L	100.18	39.73	no aplica	0.0002%	no especificado
Nitratos (como N)	mg/L	0.31	0.35	0.295	6.25%	no especificado
nitritos (como N)	mg/L	<0.0181	<0.2035	0.0181	9.22%	no especificado
fosforo total	mg/L	20.00	7.46	0.4394	0.24%	30
arsénico total	mg/L	0.0009	<0.0002	0.0008	1.84%	0.2
cadmio total	mg/L	<0.0195	<0.0006	0.0379	6.54%	0.2
cianuro total	mg/L	<0.0140	<0.0194	0.014	9.16%	2
cobre total	mg/L	<0.0573	<0.0200	0.5287	2.34%	6
cromo total	mg/L	<0.0076	<0.0765	0.0076	0.0080%	1
mercurio total	mg/L	<0.0011	<0.0056	0.0011	0.43%	0.01
níquel total	mg/L	<0.0704	<0.0704	0.01367	2.12%	4
plomo total	mg/L	<0.1176	<0.0200	0.1176	0.84%	0.4
zinc total	mg/L	0.18	0.1389	0.0202	5.31%	20
promedio pH	no aplica	7.25	7.40	no aplica	0.56%	5-10 U de pH
promedio ponderado de grasas y aceites	mg/L	19.55	14.25	no aplica	3.10%	25
media geométrica de coliformes fecales	nmp/100 ml	207.00	136.00	no aplica	no aplica	2000
huevo de helmito	# huevo/5 L	ninguno	ninguno	no aplica	no aplica	1

Es interesante notar que son básicamente tres parámetros que superan los límites establecidos y son: SST, DQO y NT.



**Tabla 12. Parámetros obtenidos en muestreos de efluente.**

Parámetro	unidades	resultados				limite de detección	incertidumbre expandida	máximo permisibles
		sep-09	dic-09	abr-10	jul-10			
fecha de análisis		sep-09	dic-09	abr-10	jul-10			
promedio de temperatura	°C	31.33	30.83	31.57	30.18	no aplica	0.174	40
materia flotante		ausente	ausente	ausente	ausente	no aplica	no aplica	ausente
solidos sedimentables	mL/L	0.00	0.00	0.00	<0.01	no aplica	0.921	2
solidos suspendidos totales	mg/L	29.00	14.00	16.00	3.00	no aplica	0.034	125
demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	71.77	30.76	20.26	<18.237	10.13 mg/L (cmc)	0.098	150
demanda química de oxígeno	mg/L	125.40	109.30	60.20	20.10	9.6 mg/L (cmc)	0.024	320
nitrógeno total	mg/L	72.41	58.79	42.74	45.03	no aplica	0.002	60
nitrógeno total KJEDHAL	mg/L	72.04	58.53	42.27	44.55	no aplica	0.002	no especificado
Nitratos (como N)	mg/L	<0.2950	<0.2950	0.46	0.38	0.295	0.051	no especificado
nitritos (como N)	mg/L	0.17	<0.0181	<0.0181	<0.2035	0.0181	0.05	no especificado
fosforo total	mg/L	5.13	8.83	4.18	7.02	0.4394	0.137	30
arsénico total	mg/L	<0.0008	<0.0008	<0.0008	<0.0002	0.0008	0.004	0.2
cadmio total	mg/L	<0.0379	<0.0195	<0.0195	<0.0060	0.0379	0.066	0.2
cianuro total	mg/L	0.0195	<0.0140	<0.0140	<0.0194	0.014	0.051	2
cobre total	mg/L	<0.5287	<0.0573	<0.0573	<0.0200	0.5287	0.024	6
cromo total	mg/L	<0.0076	<0.0076	<0.0076	<0.0765	0.0076	0.007	1
mercurio total	mg/L	0.0015	<0.0011	<0.0011	<0.0056	0.0011	0.015	0.01
níquel total	mg/L	<0.01367	<0.0704	<0.0704	<0.0704	0.01367	0.02	4
plomo total	mg/L	<0.1176	<0.1176	<0.1176	<0.0200	0.1176	0.006	0.4
zinc total	mg/L	0.0858	<0.0202	0.0424	0.3161	0.0202	0.041	20
promedio pH	no aplica	7.13	7.38	7.53	7.51	no aplica	0.051	5-10 U de pH
promedio ponderado de grasas y aceites	mg/L	2.91	5.84	30.51	16.40	no aplica	0.284	25
media geométrica de coliformes fecales	nmp/100 ml	<3	<3	624.00	<3	no aplica	no aplica	2000
huevo de helmito	# huev/5 l	ninguno	ninguno	ninguno	ninguno	no aplica	no aplica	1

Puede notarse que los efectos del tratamiento son muy positivos comparativamente con los valores mínimos normativos.

Finalmente, con los datos anteriores se evidencia que las características del influente son inferiores a las consideradas en el proyecto original lo que nos lleva a contar con elementos importantes para reconsiderar los tiempos que el agua debe permanecer en cada etapa del proceso de tratamiento y, específicamente, en el reactor biológico.

## 2.6 Mediciones de energía

Tanto para poder apreciar las actividades que se desarrollan a la largo de un día habitual en la planta así como hacer un comparativo entre lo que Comisión Federal de Electricidad ha facturado a la Planta en cuestión, se instaló un equipo de medición a fin de obtener valores reales respecto de los consumos energéticos en la planta.

Durante los días 13 al 16 de Abril del 2010, se procedió con la toma de lecturas mediante un equipo marca Fluke Mod. 435 (figura 12).

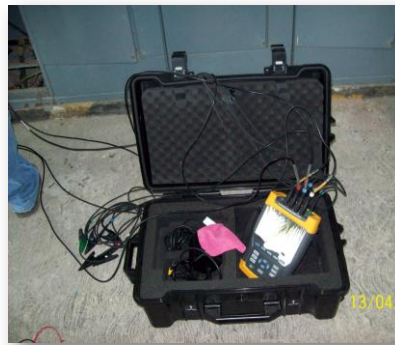


Figura 12. Equipo de medición Fluke 435.

Se programó el equipo a fin de que tomara lecturas cada 10 segundos obteniéndose los siguientes gráficos de lectura para cada uno de los siguientes conceptos:

- 1) Tensión (figura 13.1)

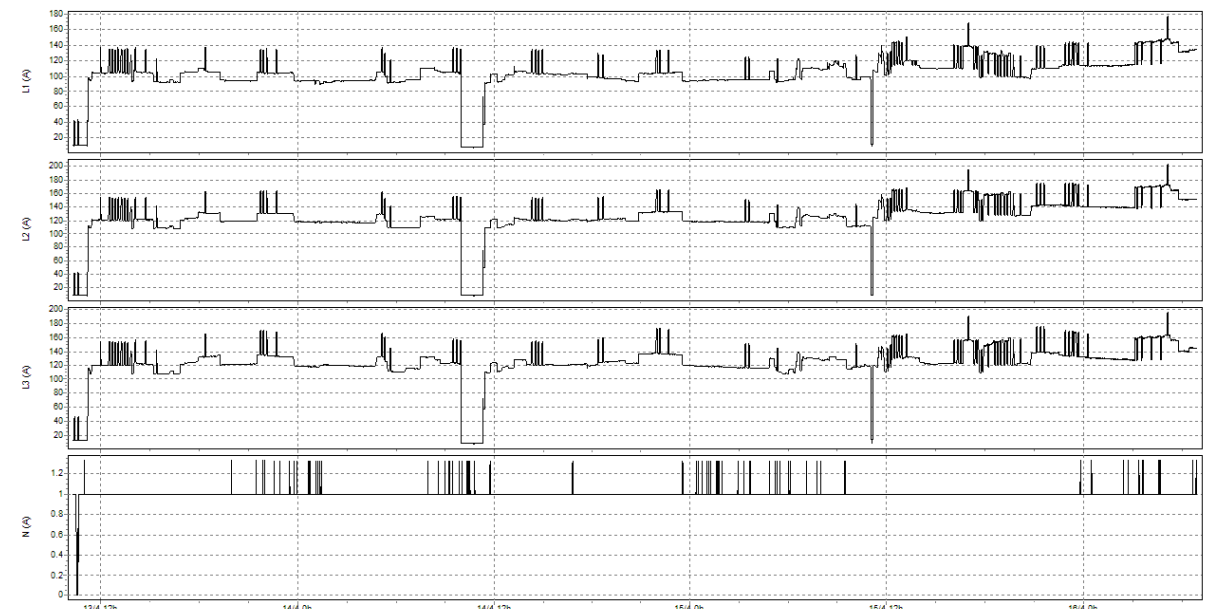


Figura 13.1. Gráfico de lecturas de la tensión.



La grafica anterior corresponde a las lecturas registradas en cada una de las 3 líneas de baja tensión, se aprecian variaciones entre líneas de 0.5 hasta 3.6 V en promedio, variaciones que no afectan en la operación de los equipos.

2) Corriente (figura 13.2).

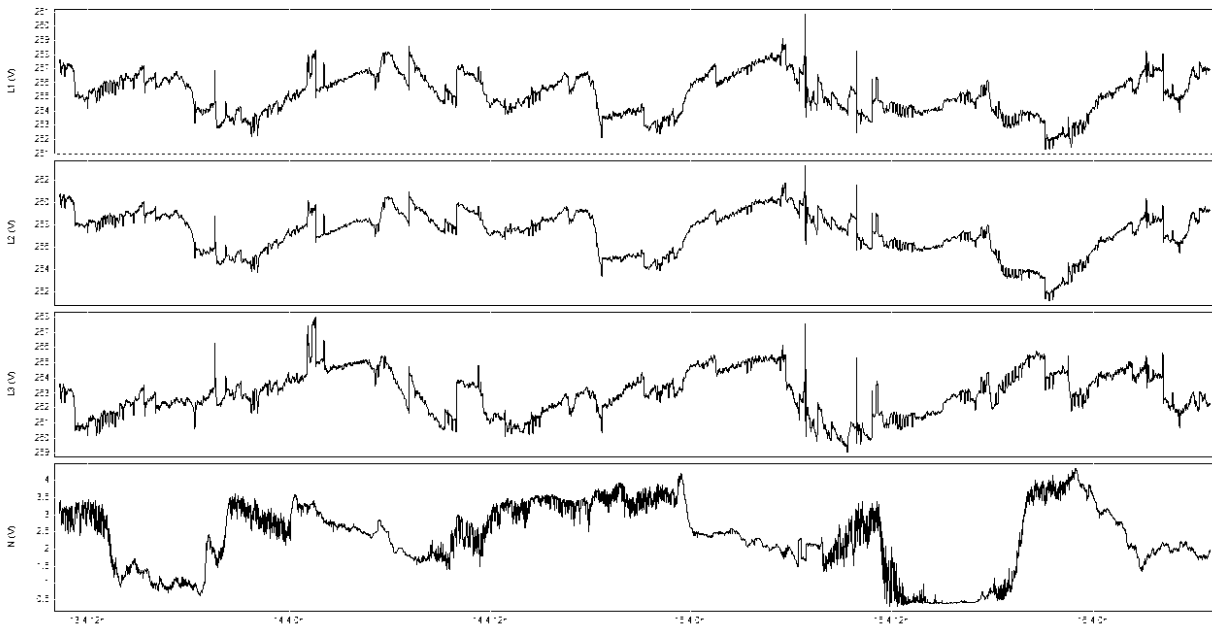


Figura 13.2. Gráfico de lecturas de la corriente.

En referencia al reporte de amperaje, el promedio general de operación de 120 amp. que corresponden al consumo de todos los equipos en operación.

3) Potencia Activa (figura 13.3).

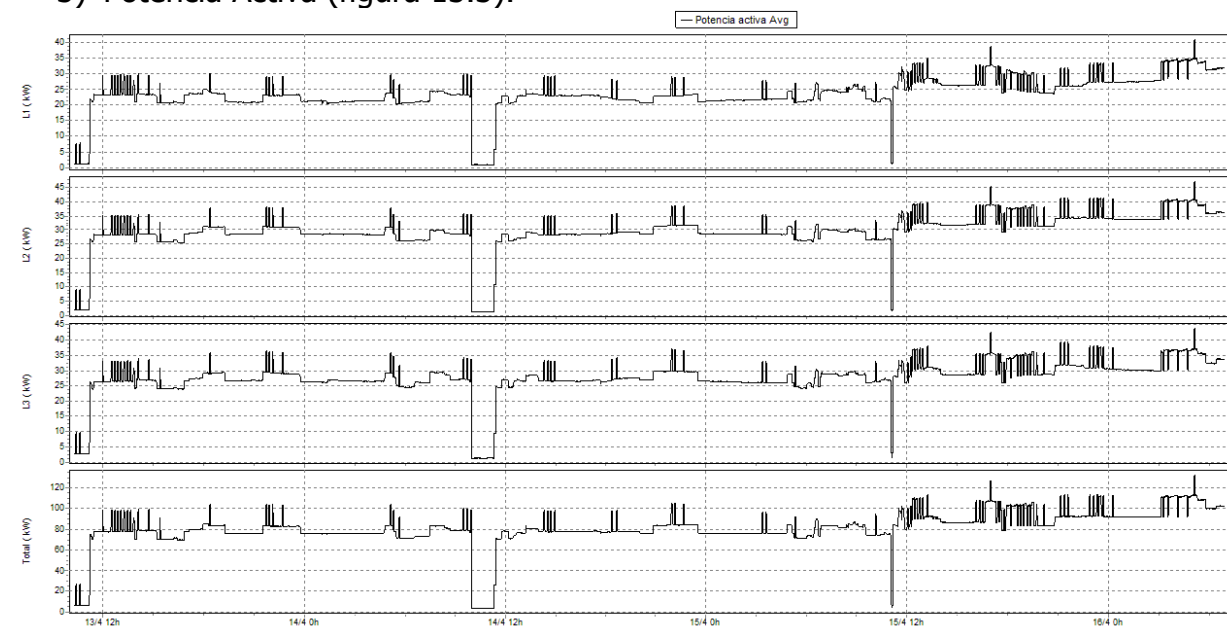


Figura 13.3. Gráfico de lecturas de la Potencia Activa.



En cuanto a la potencia activa, el promedio de ésta, con todos los equipos funcionando es de alrededor de 80 kW con los picos correspondientes a los arranques. Es evidente que el arranque de los equipos sopladores representa la cresta más elevada y que, si podemos reducir la cantidad de watts y utilizar un mecanismo que permita un arranque suave, podrán eliminarse esas fluctuaciones.

#### 4) Potencia Reactiva (figura 13.4).

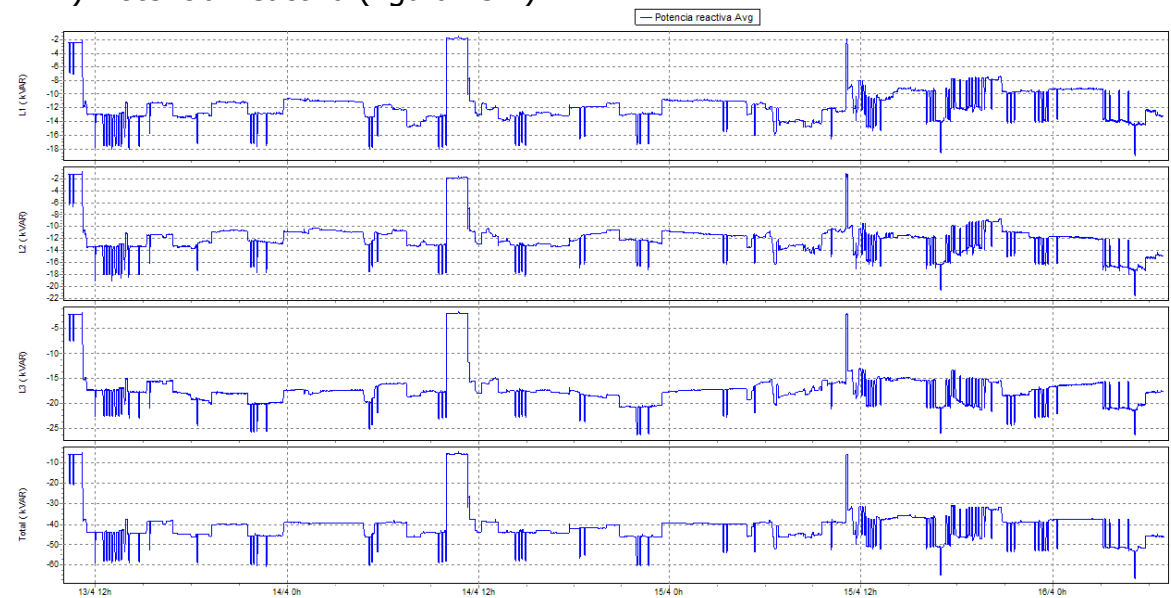


Figura 13.4. gráfico de lecturas de la Potencia Reactiva.

Este concepto es importante controlarlo debido a que se refleja en el costo de la energía que factura la CFE, para lo cual se analizan los bancos de capacitores.

#### 5) Factor de Potencia (figura 13.5).

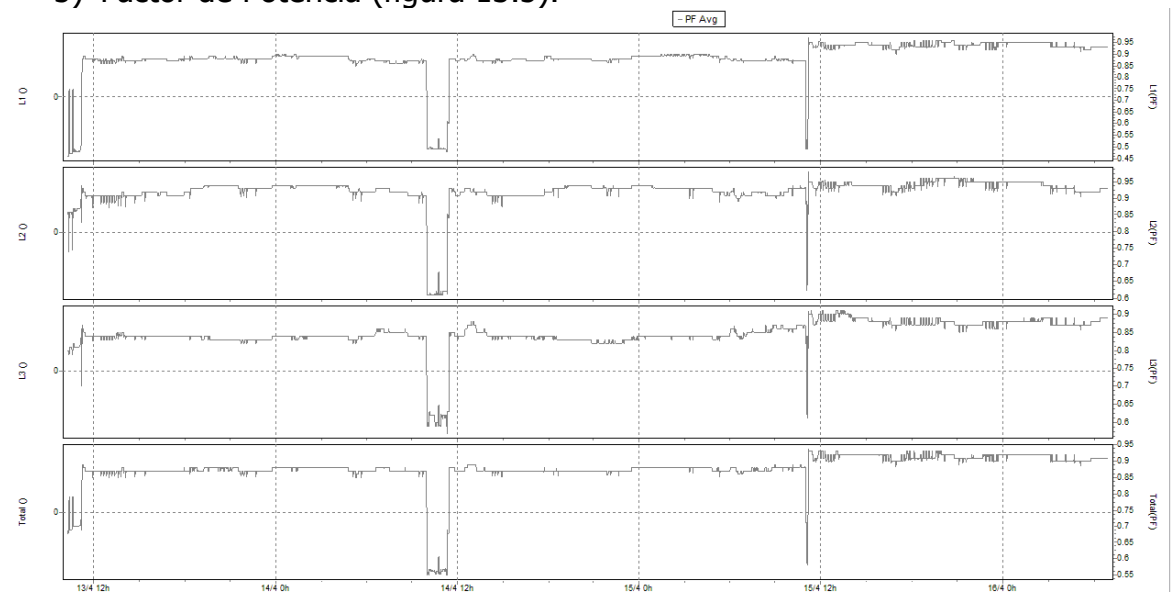


Figura 13.5. Gráfico de lecturas del Factor de Potencia.



En lo que respecta a los análisis de factor de potencia, se puede apreciar que es en la línea 3 donde se presenta el más bajo factor, situación que afecta al valor total de este, coincidiendo con las lecturas que la CFE reporta en sus recibos tal y como se puede apreciar en la Tabla 9. Cabe hacer mención de que el día que se instaló el equipo de medición se estaba dando mantenimiento a los equipos sopladores, situación que se puede verificar en la baja de consumos que se refleja en las lecturas comparada con los días habituales de operación, sin embargo se detectó un alto consumo de potencia activa situación que nos llamó la atención debido a que, según se nos reportó, ninguna bomba o equipo estaba en operación y que únicamente las oficinas administrativas así como el laboratorio estaban funcionando. Lo que nos habla de una posible fuga de energía.

### **3 PROPUESTA PARA EL AHORRO DE ENERGIA.**

#### **3.1 Cálculo del equipo de aireación para el reactor biológico**

En base a lo descrito en el apartado 2.3, se reporta un volumen promedio anual de agua tratada de 84.30 lps, lo que nos permite establecer un criterio máximo de 90 lps en el influente.

Con respecto a los parámetros objeto de mediciones normativas y cuyos resultados fueron expuestos en el apartado 2.5 y que, en general, los resultados se ubican en rangos muy nobles en el influente respecto de los valores que se consideraron en el proyecto original, se procede al cálculo del equipo de aireación, tomando valores más elevados en el influente previendo cambios en el comportamiento (o actividad económica) de los usuarios del sistema de drenaje, como sigue (8):





**REACTOR BIOLÓGICO (PROCESO Lodos Activados)**

**DATOS SOBRE LA ALIMENTACION INICIAL**

<b>Q<sub>F</sub>(MAX)/MODULOS =</b>	<b>90.00</b> l/s	<b>GASTO DE DISEÑO PARA ESTE PRIMER MODULO</b>
<b>DBO<sub>5</sub>TOTAL=</b>	<b>300.00</b> mg/l	
<b>EFICIENCIA PRETRATAMIENTO =</b>	<b>0%</b>	
<b>EFICIENCIA FILTRO PERCOLADOR =</b>	<b>0%</b>	
<b>SF =</b>	<b>300.00</b> mg DBO <sub>5</sub> / l	<b>DBO EN LA ALIMENTACION INICIAL</b>
<b>VSS (X<sub>V,F</sub>)=</b>	<b>0</b> mg/l	<b>(VSS EN LA ALIMENTACION INICIAL) ESTE VALOR ES DESPRECIABLE POR TAL MOTIVO SE CONSIDERA IGUAL A CERO</b>
<b>ALCALINIDAD TOTAL =</b>	<b>250</b> mg/l CaCO <sub>3</sub>	
<b>NITROGENO TOTAL =</b>	<b>68</b> mg/l	
<b>FOSFORO TOTAL =</b>	<b>15</b> mg/l	

**DATOS SOBRE LA CALIDAD DEL EFLUENTE**

<b>Se MAXIMA PERMISIBLE =</b>	<b>30</b> mg/l	<b>DBO SOLUBLE DEL EFLUENTE</b>
<b>VSS (X<sub>V,e</sub>) =</b>	<b>25.5</b> mg/l	<b>VSS EN EL EFLUENTE FINAL</b>
<b>NVSS (X<sub>NV,e</sub>) =</b>	<b>4.5</b> mg/l	<b>NVSS EN EL EFLUENTE FINAL</b>

**INFORMACION PARA EL DISEÑO DEL REACTOR**

<b>VSS (X<sub>V,a</sub>)</b>	<b>3000</b> mg/l	<b>VSS EN EL REACTOR, IGUAL A LA DEL EFLUENTE DEL REACTOR</b>
<b>VSS (X<sub>V,a</sub>)</b>	<b>12500</b> mg/l	<b>VSS EN LA DESCARGA DEL CLARIFICADOR SECUNDARIO</b>

EL PORCENTAJE DE SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES EN EL REACTOR SE CONSIDERARAN IGUAL AL 85% LA MEDIA DEL RANGO PROPUESTO POR RAMALHO.

<b>F<sub>v</sub> =</b>	<b>0.85</b>	
<b>T<sub>a</sub> =</b>	<b>30</b> °C	<b>TEMPERATURA PROMEDIO EN VERANO</b>
<b>T<sub>F</sub> =</b>	<b>33</b> °C	<b>TEMPERATURA DE LA ALIMENTACION, EN VERANO</b>
<b>T<sub>a</sub> =</b>	<b>23</b> °C	<b>TEMPERATURA PROMEDIO EN INVIERNO</b>
<b>T<sub>F</sub> =</b>	<b>30</b> °C	<b>TEMPERATURA DE LA ALIMENTACION, EN INVIERNO</b>

**PARAMETROS BIOCINETICOS A 20°C**

<b>K =</b>	<b>0.00123</b> h <sup>-1</sup> x 1/mg	<b>CONSTANTE DE VELOCIDAD DE CONSUMO DE SUSTRATO</b>
<b>K =</b>	<b>0.02952</b> d <sup>-1</sup> x 1/mg	<b>CONSTANTE DE VELOCIDAD DE CONSUMO DE SUSTRATO</b>
<b>Ø =</b>	<b>1.03</b>	<b>COEFICIENTE DE ARRHENIUS PARA K</b>
<b>Y =</b>	<b>0.5</b>	<b>Kg MLVSS PRODUCIDOS / Kg DBO<sub>r</sub></b>
<b>K<sub>d</sub> =</b>	<b>0.0025</b> h <sup>-1</sup>	<b>ES LA FRACCION DE MLVSS POR UNIDAD DE TIEMPO OXIDADA DURANTE EL PROCESO DE RESPIRACION ENDOGENA</b>
<b>K<sub>d</sub> =</b>	<b>0.06</b> d <sup>-1</sup>	<b>ES LA FRACCION DE MLVSS POR UNIDAD DE TIEMPO OXIDADA DURANTE EL PROCESO DE RESPIRACION ENDOGENA</b>
<b>Ø =</b>	<b>1.024</b>	<b>COEFICIENTE DE ARRHENIUS PARA K<sub>d</sub> Y b</b>
<b>a =</b>	<b>0.718</b> KG O <sub>2</sub> /KG DBO <sub>r</sub>	<b>ES LA FRACCION DE SUSTRATO CONSUMIDO UTILIZADO PARA LA PRODUCCION DE ENERGIA MEDIANTE LA OXIDACION DEL SUSTRATO.</b>
<b>b =</b>	<b>0.00355</b> h <sup>-1</sup>	<b>SON LOS KILOGRAMOS DE OXIGENO UTILIZADO POR DIA POR KILOGRAMO DE MLVSS EN EL REACTOR EN EL PROCESO DE RESPIRACION ENDOGENA.</b>
<b>b =</b>	<b>0.0852</b> d <sup>-1</sup>	<b>SON LOS KILOGRAMOS DE OXIGENO UTILIZADO POR DIA POR KILOGRAMO DE MLVSS EN EL REACTOR EN EL PROCESO DE RESPIRACION ENDOGENA.</b>

**INFORMACION PARA LA SELECCIÓN Y DISPOSICION DE LOS DIFUSORES**



DISEÑO DEL NIVEL DE OD  $C_L =$                       2 mg/l

**SOLUCION**

**1.- DETERMINACION DE LOS Kg DE DBO<sub>5</sub> QUE SE CONSUMEN DIARIAMENTE**

ECUACION 5.150 (5)

**Kg DBO<sub>r</sub> / d = 86.4 Q<sub>F</sub>(S<sub>F</sub> - S<sub>e</sub>)**

**Kg DBO<sub>r</sub> / d =                      2099.52 Kg/d**

EN LA QUE Q<sub>F</sub> = m<sup>3</sup>/s Y (S<sub>F</sub> - S<sub>e</sub>) = DBO<sub>r</sub> EN mg/l

**2.. ESTIMACION PRELIMINAR DE LA POTENCIA, SE OBTIENE APARTIR DE:**

ECUACION 5.151 (5)

$$\frac{86.4Q_F(S_F - S_e)}{20 \text{ a } 22} = \text{HP}$$

**HP =                                      105**

LA REGLA DE ESTIMACION RAPIDA DE LA POTENCIA REQUERIDA ESTABLECE QUE EN LAS PLANTAS DE LODOS ACTIVOS SE CONSUMEN DIARIAMENTE DE 20 A 22 KG DE DBO<sub>5</sub> POR HP (5), DE AHI LOS VALORES QUE SE PROPONEN EN LA ECUACION 5.151, DEL CUAL DE ENTRE ESTE RANGO SE HA TOMADO LA MEDIA. "21"

**3.- ESTIMACION DE T<sub>w</sub>**

ECUACION 5.148 (5)

$$\frac{3.6 \times 10^6 Q_F T_F + 1134(\text{HP})T_a}{3.6 \times 10^6 Q_F + 1134(\text{HP})} = T_w$$

**a) CONDICIONES VERANIEGAS**

T<sub>F</sub> =                                      33 °C

T<sub>a</sub> =                                      30 °C

T<sub>w</sub> =                                      32.19 °C                      TEMPERATURA DEL LICOR EN EL REACTOR Y EN EL EFLUENTE, EN VERANO

**b) CONDICIONES INVERNALES**

T<sub>F</sub> =                                      30 °C

T<sub>a</sub> =                                      23 °C

T<sub>w</sub> =                                      28.12 °C                      TEMPERATURA DEL LICOR EN EL REACTOR Y EN EL EFLUENTE, EN INVIERNO

**4.- VALORES DE LOS PARAMETROS BIOCINETICOS PARA LAS TEMPERATURAS DE INVIERNO Y VERANO**

ECUACION 5.142 (5)

**K<sub>Tw</sub> = K<sub>20</sub>θ<sup>(Tw - 20)</sup>**

ECUACION 5.152 (5)

**K<sub>d,Tw</sub> = K<sub>d,20</sub>θ<sup>Tw - 20</sup>**



ECUACION 5.153 (5)

$$b_{T_w} = b_{20} \theta^{T_w - 20}$$

a) VERANO  $T_w$  IGUAL A:                    **32.19 °C**

EC. 5.142 (5)	$K_{28.49} =$	<b>0.00176</b>	$h^{-1} \times$ 1/mg
	$K_{28.49} =$	<b>0.04233</b>	$d^{-1} \times$ 1/mg
EC.5.152 (5)	$K_{d,28.49} =$	<b>0.00334</b>	$h^{-1}$
	$K_{d,28.49} =$	<b>0.08012</b>	$d^{-1}$
EC.5.153 (5)	$b_{28.49} =$	<b>0.00474</b>	$h^{-1}$
	$b_{28.49} =$	<b>0.11377</b>	$d^{-1}$

b) INVIERNO  $T_w$  IGUAL A:                    **28.12 °C**

EC. 5.142 (5)	$K_{25.64} =$	<b>0.00156</b>	$h^{-1} \times$ 1/mg
	$K_{25.64} =$	<b>0.03753</b>	$d^{-1} \times$ 1/mg
EC.5.152 (5)	$K_{d,25.64} =$	<b>0.00303</b>	$h^{-1}$
	$K_{d,25.64} =$	<b>0.07274</b>	$d^{-1}$
EC.5.153 (5)	$b_{25.64} =$	<b>0.00430</b>	$h^{-1}$
	$b_{25.64} =$	<b>0.10329</b>	$d^{-1}$

SU SUPONE QUE LOS PARAMETROS  $Y$  y  $a$  SON PRACTICAMENTE INDEPENDIANTES DE LA TEMPERATURA, ESTO ES:

$$Y = 0.5 \text{ Kg MLVSS/Kg DBO}_r$$

$$a = 0.718 \text{ Kg O}_2 / \text{Kg DBO}_r$$

**5.- TIEMPO DE RESIDENCIA  $t$**

CRITERIO 1: APARTIR DEL CONSUMO DE DBO SOLUBLE, PARA CONDICIONES DE INVIERNO

ECUACION 5.135 (5)

$$t = (S_F - S_e) / KX_{v,a}S_e$$

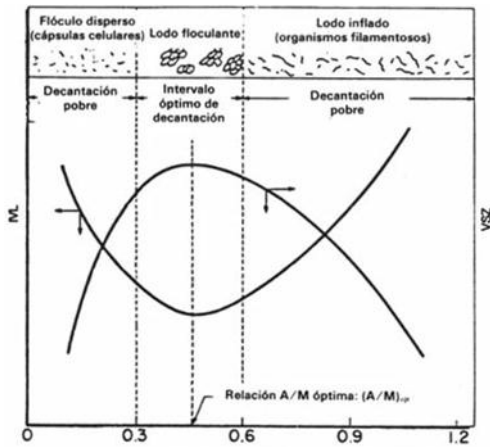
$$t = 1.919 \text{ h}$$

$$t = 0.080 \text{ d}$$

CRITERIO 2: SEGÚN LAS CONDICIONES OPTIMAS DE FLOCULACION DE LOS MLVSS

ECUACION 5.125 (5)

$$t = S_F / [X_{v,a}(A/M)_{OPT}]$$



$A/M = S_0/X_{v,t}$ ,  $t$  = kg DBO<sub>5</sub> del afluente/(d)(kg MLVSS en el reactor)  
FIGURA 14.0. CORRELACION TIPICA ENTRE IVL Y VSZ CON LA RELACION A/M (5)

DE LA FIGURA 14.0 DE CORRELACION TIPICA SE TOMO EL VALOR OPTIMO DE LA RELACION A/M POR LO TANTO

$A/M =$  **0.36** RELACION ALIMENTO MICROORGANISMOS EXPRESADA EN Kg DBO<sub>5</sub> AFLUENTE/(d)(Kg MLVSS)

$t =$  **0.28** d

$t =$  **6.67** h

EN ESTE CASO EL TIEMPO DE RESIDENCIA VIENE CONTROLADO POR LAS CONDICIONES OPTIMAS DE FLOCULACION SE REVISARA EL CONSUMO DE DBO PARA ESTE TIEMPO DESPEJANDO  $S_e$  DE LA ECUACION 5.135 (5), TENEMOS QUE:

$S_e = S_F / [(KX_{v,a}t) + 1]$

$S_e =$  **9.30** mg/l POR LO CUAL SE ACEPTA EL TIEMPO DE RESIDENCIA YA QUE  $S_e$  ES MENOR QUE EL MAXIMO PERMITIDO.

REVISION DE  $S_e$  PARA VERANO QUE DEBERA SER ALGO MENOR QUE PARA LAS CONDICIONES DE VERANO.

$S_e =$  **8.27** mg/l

EL DISEÑO RESULTA ADECUADO YA QUE BAJO LAS CONDICIONES MAS ADVERSAS O SEA LAS DE INVIERNO, SE TIENE UN DBO MENOR QUE EL MAXIMO PERMITIDO.

## 6.- VOLUMEN DEL REACTOR

ECUACION 5.115 (5)

$t = V/Q_F$  DESPEJANDO V, TENEMOS:

$V = tQ_F$

$V =$  **2160.00** m<sup>3</sup>

## 7.- DEMANDA DE OXIGENO.

ECUACION 5.121 (5)

$Kg O_2/d = a(S_F - S_e)Q_F + bX_{v,a}V$



CONDICIONES DE VERANO

Kg O<sub>2</sub>/d = 2244.70 Kg/d  
Kg O<sub>2</sub>/h = 93.53 Kg/h

CONDICIONES DE INVIERNO

Kg O<sub>2</sub>/d = 2176.78 Kg/d  
Kg O<sub>2</sub>/h = 90.70 Kg/h

DE ACUERDO A LOS RESULTADOS, LAS CONDICIONES DE VERANO CONTROLAN LAS NECESIDADES DE OXIGENO.

8.- PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE AIREACION QUE UTILIZAN UNIDADES DE DIFUSION.

INFORMACION REQUERIDA

SE UTILIZARAN DIFUSORES DE BURBUJA FINA

1.- VOLUMEN DE LA Balsa DE AIREACION (V)  
V = 2160.00 m<sup>3</sup>

2.- OXIGENO REQUERIDO

Kg O<sub>2</sub>/h = 93.53 Kg/h VERANO

3.- TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO.

T<sub>w</sub> = 32.19 °C VERANO

4.- O. D. EN FUNCIONAMIENTO EN REGIMEN CONSTANTE (C<sub>L</sub>,  
mg/l)

CL = 2 mg/l

5.- COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE OXIGENO. (PARAMETROS  $\alpha$  Y  $\beta$ )

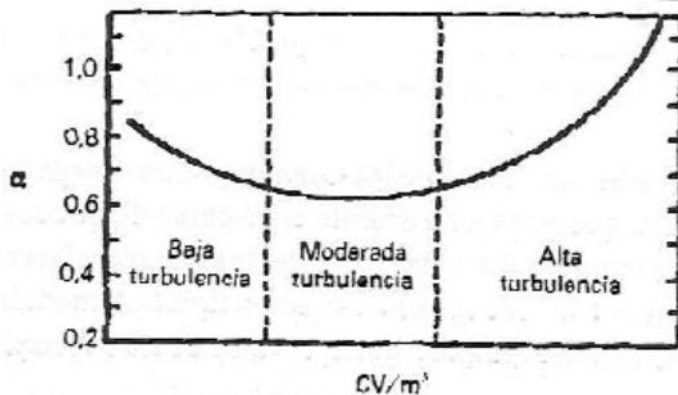


FIGURA 14.1 GRAFICO DE ALPHA EN FUNCION DE LA INTENSIDAD DE LA MEZCLA. (LIBRO DE RAMALHO PAG. 222)

DE LA FIGURA 14.1 TOMAMOS APROXIMADAMENTE LA MEDIA PARA MODERADA TURBULENCIA DEBIDO A QUE SE UTILIZARAN DIFUSORES DE BURBUJA FINA.

POR LO TANTO:

$\alpha$  = 0.6  
 $\beta$  = 0.95 VOLOR MEDIO DE LOS PROPUESTOS (5)

DISEÑO.

SE PROPONE UNA PROFUNDIDAD H (RAMALHO PROPONE 3 - 4.5 M (5))



H = 4.3 m

**AREA DE LA SECCION**

A = V/H  
A = 502.33 m<sup>2</sup>

SE PROPONE EL ANCHO W, RAMALHO RECOMIENDA ESTE SEA POR LO MENOS DOS VECES LA PROFUNDIDAD, NECESARIO PARA MANTENER UNA MEZCLA ADECUADA

W = 15 m

**LONGITUD**

L = A/W  
L = 34.00 m

**9.- PRODUCCION DE BIOMASA DX<sub>v</sub>**  
ECUACION 5.118 (5)

$$\Delta X_v = Y(S_F - S_e)Q_F - K_d X_{v,a} V$$

a) CONDICIONES DE VERANO

$\Delta X_v = 530.58$  Kg/d

b) CONDICIONES DE INVIERNO

$\Delta X_v = 578.40$  Kg/d

**10.- CALCULO DE LA RELACION DE RECICLADO r**  
ECUACION 5.131 (5)

$$\frac{Q_F X_{v,a} - \Delta X_v - Q_F X_{v,F}}{Q_F (X_{v,U} - X_{v,a})} = r$$

a) CONDICIONES DE VERANO

r = 0.3086 30.9 %

b) CONDICIONES DE INVIERNO

r = 0.3080 30.8 %

**11.- CALCULO DE LOS CAUDALES RESTANTES Q<sub>R</sub>, Q<sub>O</sub>, Q<sub>W</sub>, Q<sub>e</sub> Y Q<sub>U</sub> Y CALCULO T<sub>h</sub>**

1.- Q<sub>R</sub> = rQ<sub>F</sub>  
Q<sub>R</sub> = 27.77 l/s

2.- Q<sub>O</sub> = Q<sub>F</sub>(r + 1)  
Q<sub>O</sub> = 117.77 l/s

3.- Q<sub>W</sub>, ECUACION 5.133 (5)

$$\frac{\Delta X_v + Q_F X_{v,F} - Q_F X_{v,e}}{X_{v,U} - X_{v,e}} = Q_W$$



a) CONDICIONES DE VERANO

$$\begin{aligned} Q_w &= 26.64 \text{ m}^3/\text{d} \\ Q_w &= 0.00031 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

b) CONDICIONES DE INVIERNO

$$\begin{aligned} Q_w &= 30.47 \text{ m}^3/\text{d} \\ Q_w &= 0.0004 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ESTOS VALORES DE QW SON MUY PEQUEÑOS AL COMPARARLOS CON QF. ESTO SIGNIFICA QUE LA MAYOR PARTE DE LA ALIMENTACION INICIAL SALDRA CON EL EFLUENTE DEL CLARIFICADOR SECUNDARIO, ESTO ES,  $Q_F = Q_e$

AL OBJETO DE COMPLETAR LOS VALORES RESTANTES EN EL DIAGRAMA DE FLUJO, SE TOMA UN VALOR UNICO QW

$$Q_w = 0.0004 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} Q_e &= Q_F - Q_w \\ Q_e &= 0.09 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_U &= Q_O - Q_e \\ Q_U &= 0.028 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_U &= Q_R + Q_w \\ Q_U &= 0.028 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_h &= t/(r + 1) \\ t_h &= 5.09 \text{ h} \end{aligned}$$

## 12.- BALANCE DE MATERIA DE LOS SOLIDOS NO VOLATILES

1.- CALCULO DE  $X_{NV,a}$

ECUACION 5.156 (5)

$$\begin{aligned} X_{NV,a} &= (1 - F_v)X_{v,a}/F_v \\ X_{NV,a} &= 529.41 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

POR ELLO:

$$\begin{aligned} X_{NV,o} &= X_{NV,a} \\ X_{NV,o} &= 529.41 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

2.- CALCULO DE  $X_{NV,u}$  YA QUE  $X_{NV,e} = 0$

ECUACION 5.159 (5)

$$\begin{aligned} X_{NV,u} &= Q_f(r + 1)X_{NV,a}/Q_U \\ X_{NV,u} &= 2220.25 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

3.- CALCULO DE  $X_{NV,f}$

ECUACION 5.161 (5)

$$\begin{aligned} X_{NV,f} &= (r + 1)X_{NV,a} - rX_{NV,u} \\ X_{NV,f} &= 7.61 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

## 13.- PRODUCCION TOTAL DE LODOS

1. CALCULO DE  $(VSS)_w$

ECUACION 5.126 (5)

$$(VSS)_w = \Delta X_v + Q_f X_{v,f} - Q_e X_{v,e}$$

a) CONDICIONES DE VERANO

$$(VSS)_w = 333.06 \text{ Kg/d}$$



O:

$$\begin{aligned} (VSS)_w &= Q_w X_{v,u} \\ (VSS)_w &= 332.97 \text{ Kg/d} \end{aligned}$$

b) CONDICIONES DE INVIERNO

$$(VSS)_w = 380.89 \text{ Kg/d}$$

O:

$$\begin{aligned} (VSS)_w &= Q_w X_{v,u} \\ (VSS)_w &= 380.89 \text{ Kg/d} \end{aligned}$$

### 2.- CALCULO DE (NVSS)<sub>w</sub>

ECUACION 5.127 (5)

$$(NVSS)_w = Q_w X_{NV,U} = Q_F X_{NV,F}$$

$$\text{YA QUE } X_{NV,e} = 0$$

$$\begin{aligned} (NVSS)_w &= Q_F X_{NV,F} \\ (NVSS)_w &= 59.14 \text{ kg/d} \end{aligned}$$

NOTA: SI SE HUBIERA UTILIZADO LA RELACION  $(NVSS)_w = Q_w X_{NV,U}$  SE HUBIERAN OBTENIDO DOS VALORES LIGERAMENTE DIFERENTES DE  $(NVSS)_w$  PARA LAS CONDICIONES DE VERANO E INVIERNO. CORRESPONDIENTES A LOS VALORES DE Q CALCULADOS EN EL PASO 11.3. SI SE UTILIZA EL VALOR UNICO DE QW ADOPTADO EN EL PASO 11.3 ESTO ES,

$$Q_w = 0.0004 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned} (NVSS)_w &= Q_w X_{NV,U} \\ (NVSS)_w &= 67.65 \text{ kg/d} \end{aligned}$$

### 3.- CALCULO DE (TSS)<sub>w</sub>

ECUACION 5.130 (5)

$$(TSS)_w = (VSS)_w + (NVSS)_w$$

a) CONDICIONES DE VERANO:

$$(TSS)_w = 396.46 \text{ Kg/d} \quad \text{SE TOMO LA MEDIA DE LOS VALORES OBTENIDOS (NVSS)<sub>w</sub>}$$

b) CONDICIONES DE INVIERNO:

$$(TSS)_w = 444.29 \text{ Kg/d} \quad \text{SE TOMO LA MEDIA DE LOS VALORES OBTENIDOS (NVSS)<sub>w</sub>}$$

### 14.- CALCULO DE LAS CONCENTRACIONES DE LA ALIMENTACION COMBINADA S<sub>0</sub> Y X<sub>v,0</sub>.

ECUACION 5.110 (5)

$$S_0 = (SF + rSe)/(1 + r)$$

$$\begin{aligned} \text{a) CONDICIONES DE VERANO} \\ S_0 &= 231.20 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) CONDICIONES DE INVIERNO} \\ S_0 &= 231.44 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

ECUACION 5.112 (5)

$$X_{v,0} = (X_{v,F} + rX_{v,u})/(1 + r)$$

$$X_{v,0} = 2947.86 \text{ mg/l}$$

### 15.- NEUTRALIZACION REQUERIDA





KG DE DBO CONSUMIDA/d = **2099.52** Kg/d

ALCALINIDAD CONSUMIDA = **1049.76** Kg/d

ALCALINIDAD EN LA ALIMENTACION INICIAL = **1944.00** kg/d

SE TOMA COMO REGLA QUE SE CONSUME 0.5 DE DBO ASIMILADA YA QUE ESTA ES MAYOR QUE LA NECESARIA NO SE REQUIERE NEUTRALIZACION

#### 16.- NUTRIENTES REQUERIDOS

##### NITROGENO

1.- NITROGENO PERDIDO EN EL SISTEMA POR LA PURGA DE LODOS

**NITROGENO: 0.12  $\Delta X_V$  Kg/d** RAMALHO, PAG. 325

CONDICIONES DE VERANO:

0.12  $\Delta X_V$  = **63.67** Kg/d

CONDICIONES DE INVIERNO:

0.12  $\Delta X_V$  = **69.41** Kg/d

2.- NITROGENO PERDIDO EN EL EFLUENTE.

**NITROGENO: 86.4  $Q_F(1.0)$  Kg/d** RAMALHO, PAG. 326

86.4  $Q_F(1.0)$  = **7.78** Kg/d

NITROGENO TOTAL PERDIDO

VERANO = **71.45** Kg/d

INVIERNO = **77.18** Kg/d

NITROGENO DISPONIBLE:

**86.4  $Q_F(NTK)$  Kg/d** (5)

86.4  $Q_F(NTK)$  = **528.77** Kg/d EN CONSECUENCIA NO SE NECESITA AÑADIR NITROGENO

##### FOSFORO

1.- FOSFORO PERDIDO EN EL SISTEMA A TRAVES DE LA PURGA DE LODOS

**FOSFORO: 0.02  $\Delta X_V$  Kg/d** (5)

CONDICIONES DE VERANO:

0.02  $\Delta X_V$  = **10.61** Kg/d

CONDICIONES DE INVIERNO:

0.02  $\Delta X_V$  = **11.57** Kg/d

FOSFORO DISPONIBLE:

**86.4  $Q_F(P)$  Kg/d** (5)

86.4  $Q_F(P)$  = **116.64** Kg/d EN CONSECUENCIA NO SE NECESITA AÑADIR FOSFORO

18.- EVALUACION DE LA DBO TOTAL DEL EFLUENTE

ECUACION 5.162 (5)



DBO<sub>5</sub> TOTAL DEL EFLUENTE =  $S_e + \Psi X_{v,e}$  (mg/l)  
 EN LA QUE  $\Psi$  SE DETERMINA GRAFICAMENTE COMO FUNCION DE LA RELACION A/M

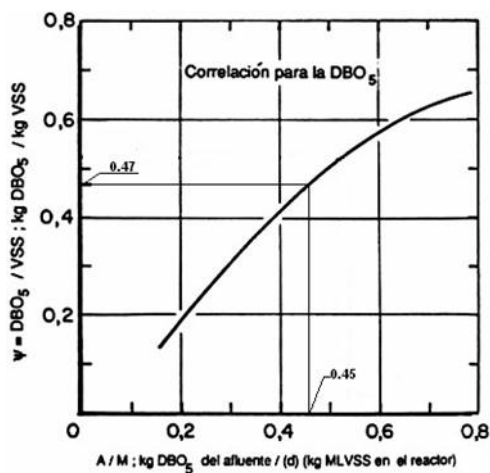


FIGURA 14.2 CORRELACION DE  $\Psi$  EN FUNCION DE A/M OBTENIDA PARA LOS VSS DE LA FIGURA 14.2 PARA;

A/M =	0.36
SE LEE	
$\Psi$ =	0.41
a) CONDICIONES DE INVIERNO	
DBO5 TOTAL =	19.75 mg/l
b) CONDICIONES DE VERANO	
DBO5 TOTAL =	18.73 mg/l

De modo que, la necesidad en caballos de fuerza resulta en 106 hp. Para los dos módulos del reactor biológico. Esto implica que, en términos de los arreglos comunes en cuanto a equipamiento, se toma el 75% de la demanda y entonces definimos la capacidad del equipo por módulo lo que resulta en dos equipos de 39.75 hp o 40 hp. De modo que se requerirían de 3 equipos de 40 hp, dos en operación y uno de reserva. Sin embargo, a la fecha se cuenta, como ya se mostró en el apartado 3.2, con 3 equipos sopladores de 100 hp de los cuales 2 están en operación, trabajando en forma alternada 24/24 hr., y uno en reserva. Bajo este método de operación es que se consumen los 873,744 kW al año en la planta.

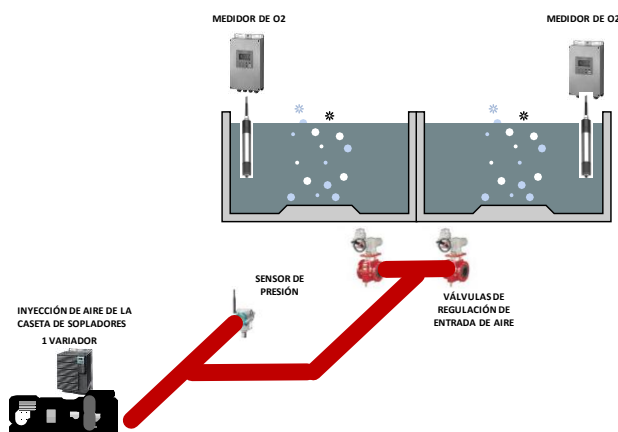


### **3.2 Propuesta de adecuación**

Teniendo en cuenta, de acuerdo a los registros proporcionados por la Coordinación de Planeación de la CAPA, que los equipos que hoy operan en la planta, a excepción de los sopladores que fueron sustituidos 2 años después de la puesta en marcha de la planta; el resto de los equipos son los mismos que se instalaron al tiempo de la puesta en marcha de la planta. Esto implica que tienen una antigüedad de 12 años, con lo que se puede pensar en reequipar la planta. Sin embargo, tal vez la inversión inicial sea muy alta lo que en términos de recuperación a corto plazo sea prácticamente imposible. De modo que la propuesta inicial de este proyecto cobra mayor importancia, ya que el enfoque se puede canalizar hacia la reducción de los costos de operación y dicho ahorro puede invertirse en equipo estratégico procurando así minimizar la inversión y maximizar los resultados.

Entonces, sabiendo que el parámetro crucial en el reactor es la demanda de oxígeno disuelto (OD), se calibrará el sistema a la concentración de OD que ofrezca la mejor eficiencia en la reducción de la materia orgánica. Una vez establecido este valor, se buscará mantener esa concentración en los tanques de aireación lo cual se logrará mediante la instalación de un sensor electrónico de Oxígeno Disuelto en cada tanque. Los valores censados emitirán una señal para el cierre o apertura de una válvula automática que controlará el flujo de aire hacia el reactor. Esta operación provocará que en la tubería de alimentación aumente o disminuyan los niveles de presión, esta variación será registrada por un sensor de presión ubicado en la citada tubería de alimentación. Un variador de frecuencia conectado al compresor recibirá la señal que emita el sensor de presión provocando, como respuesta, que el compresor modifique el volumen de aire que envía a la línea de alimentación o en otras palabras, reducirá las revoluciones de su operación, lo que de manera directa se reflejará en la potencia del compresor y por ende en el consumo de energía eléctrica.

La figura 15 ofrece el arreglo propuesto para la automatización del reactor biológico.



**Figura 15. Sistema de automatización del reactor biológico.**

Este proceso de monitoreo y control debe llevarse a cabo con equipos probados en cuanto a calidad y eficiencia a fin de que los resultados sean los esperados.

Algunas empresas especializadas en la fabricación de instrumentos para la automatización de plantas de tratamiento ya cuentan con algunos modelos muy modernos. Las marcas LANGE y HACH (esta última es actualmente parte de SIEMMENS), poseen modernos y novedosos equipos en el mercado y se han caracterizado por su precisión en diseño y operación de equipo electrónico.

HACH cuenta con modelos de controladores digitales tales como el sc1000 (figura 15) que acepta hasta 8 sensores para igual número de parámetros, de entre los que nos interesa medir están:

- Turbidez
- Oxígeno disuelto
- Sólidos Suspendedos
- Nitratos
- pH / ORP
- Ozono
- Amonia
- Fosfatos



**Figura 15. HACH sc1000**

La sonda LDO de la Hach para oxígeno disuelto es ideal para el monitoreo del oxígeno disuelto en el reactor biológico.

En cuanto a los variadores de frecuencia se pueden considerar los de la marca DANFOSS que cuentan con certificación de calidad en operación.

En lo que respecta a las válvulas de control volumétrico automáticas, se pueden usar de la marca BERMAD que, al igual que los productos anteriores tienen una reconocida trayectoria de calidad entre los organismos operadores de Agua en todo el mundo. Sin embargo, no hay que olvidar que la inversión se rige no solo



por la calidad sino también por la disposición del dinero y preferencia del interesado.

### 3.3 Costos de inversión y periodo de recuperación

Evidentemente, se requiere de una inversión para la propuesta anterior. Dicha inversión debe ser congruente con los criterios administrativos para su financiamiento y recuperación ya que la parte técnica ha sido planteada. La inversión para la implementación de la propuesta de adecuación se presenta en el siguiente presupuesto (9).

#### PRESUPUESTO

PROYECTO DE AUTOMATIZACION PARA EL REACTOR BIOLOGICO DE LA PLANTA "EL CENTENARIO".  
SEPTIEMBRE 2010

CLV	CONCEPTO	UNI	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
1.00	SUMINISTRO, INSTALACION, INTEGRACION, PROGRAMACION, CALIBRACION, VERIFICACION Y PUESTA EN OPERACION, MEDIDOR DE OXIGENO DISUELTO 2 PUNTOS DE MEDICION MODELO SC100 CAT LXV401.52.03002 MARCA SIEMENS HACH, CON Sonda LDO INCLUYE:IMPUESTOS DE IMPORTACION EN SU CASO, FLETES AL SITIO DE INSTALACION, MANIOBRAS, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA FUNCIONALIDAD	PZA	2.00	\$123,500.00	\$ 247,000.00
2.00	SUMINISTRO, INSTALACION, INTEGRACION, PROGRAMACION, CALIBRACION, VERIFICACION Y PUESTA EN OPERACION, VARIADOR DE VELOCIDAD PARA SOPLADOR DE 100 HP EN 440 VCA, MODELO SINAMICS G120 CAT 6SL3224-0BE37 MARCA SIEMENS, INCLUYE:IMPUESTOS DE IMPORTACION EN SU CASO, FLETES AL SITIO DE INSTALACION, MANIOBRAS, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA FUNCIONALIDAD	PZA	1.00	\$182,000.00	\$ 182,000.00
3.00	SUMINISTRO, INSTALACION, INTEGRACION, PROGRAMACION, CALIBRACION, VERIFICACION Y PUESTA EN OPERACION, DE VALVULA TIPO MARIPOSA MARCA KEYSTONE DE 14" MODELO EPI2-1000, DISCO DE ACERO INOX 316 CON ACTUADOR ELECTRICO PROPORCIONAL EN 110 VCA, POSICIONADOR ELECTRONICO, INCLUYE:IMPUESTOS DE IMPORTACION EN SU CASO, FLETES AL SITIO DE INSTALACION, MANIOBRAS, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA FUNCIONALIDAD	PZA	2.00	\$110,500.00	\$ 221,000.00
4.00	SUMINISTRO, INSTALACION, INTEGRACION, PROGRAMACION, CALIBRACION, VERIFICACION Y PUESTA EN OPERACION, MEDIDOR DE PRESION RELATIVA MODELO SITRANS CAT 7MF4033-1DA10-2AC6 MARCA SIEMENS, INCLUYE:IMPUESTOS DE IMPORTACION EN SU CASO, FLETES AL SITIO DE INSTALACION, MANIOBRAS, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA FUNCIONALIDAD	PZA	1.00	\$26,000.00	\$ 26,000.00
5.00	SUMINISTRO, INSTALACION, CALIBRACION, VERIFICACION Y PUESTA EN OPERACION DEL RELEVADOR INTELIGENTE SIMOCODE MODELO 3UF7010-1AU00-0, PARA INTEGRAR LOS EL MOTORES DE LOS SOPLADORES AL SISTEMA DE AUTOMATIZACION, INCLUYE: MANIOBRAS, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA FUNCIONALIDAD	PZA	2.00	\$22,750.00	\$ 45,500.00
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 721,500.00</b>
<b>11% DE IVA</b>					<b>\$ 79,365.00</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 800,865.00</b>

El paso a seguir es determinar la viabilidad de esta inversión respecto de los costos de la operación actual contra los ahorros que se obtendrían de consumir menos energía, tal como se muestra en la tabla No. 13.



**Tabla 13. Comparativo Costo Vs. Energía no consumida.**

PERIODO		COSTOS 2009				Energía Ahorrada	Tarifa*	P.U.	Verano (hrs)	Importe	F. Verano (hrs)	Importe
INICIO	FIN	ENRGIÁ	DEMANDA	F.P.	IMPORTE							
31/12/2008	31/01/2009	57,103.06	17,090.85	-316.58	79,612.61	20 hp	base	0.8165	6	26,661.09	6	26,661.09
31/01/2009	28/02/2009	47,787.00	19,001.54	-980.53	146,286.99	14.91	intermedia	0.9911	16	86,299.44	14	75,512.01
28/02/2009	31/03/2009	48,963.62	17,174.57	-992.07	71,661.72	(kWh)	punta	1.7794	2	19,367.52	4	38,735.05
31/03/2009	30/04/2009	44,914.54	16,875.43	-892.49	66,987.93				Subtotales	132,328.05		140,908.15
30/04/2009	31/05/2009	40,591.43	16,706.60	-859.47	62,083.34						Ahorro Total	273,236.20
31/05/2009	30/06/2009	39,299.31	16,336.32	-890.17	60,220.34							
30/06/2009	31/07/2009	41,996.09	16,945.59	-884.12	63,863.65							
31/07/2009	31/08/2009	48,036.37	17,100.72	-950.04	69,308.53							
31/08/2009	30/09/2009	43,222.97	16,518.32	238.00	65,712.62							
30/09/2009	31/10/2009	54,954.40	17,336.14	939.77	80,554.20							
31/10/2009	30/11/2009	54,954.40	17,336.14	939.77	80,554.20							
31/11/2009	31/12/2009	61,168.07	16,836.56	702.04	86,577.53							
<b>Total por concepto</b>		<b>582,991.26</b>	<b>205,258.78</b>	<b>-3,945.89</b>	<b>933,423.66</b>							

\*Se toma como base las tarifas del mes de Septiembre del 2010.

**Factor de Ahorro**  
29.27%

El monto ahorrado en 12 meses se utilizará para devengar la inversión quedando como se muestra en la tabla 14.

**Tabla 14. Análisis para periodo de recuperación de la inversión.**

DESCRIPCION	CANTIDAD (\$)
INVERSION PROPUESTA	800,865.00
AHORRO POR REDUCCION DE CONSUMO DE ENERGIA EN 12 MESES DE OPERACIÓN	273,236.20
PERIODO, EN AÑOS, PARA RECUPERAR LA INVERSION	3

**LA INVERSION ES FACTIBLE**

Con todo lo anterior, se puede apreciar que vale la pena recuperar anualmente el 30% del costo de operación y que dichos ahorros se cumplirán siempre que se controle mejor el uso del oxígeno en el reactor biológico. Que dicho control es posible y su inversión recuperable.

### 3.4 Conclusión

El tratamiento de aguas residuales es una de las actividades que hoy se consideran de mucha importancia para preservar los ecosistemas, de igual forma es una imperiosa necesidad saber administrar la energía que, hasta la fecha en nuestro México, sigue siendo producida en un alto porcentaje con recursos no renovables como el petróleo y sus derivados. Estudiar, diagnosticar y ofrecer métodos y alternativas para eficientar la operación de dichas plantas a fin de administrar mejor el consumo de energía es una decisión con un impacto real a corto plazo.

La inversión necesaria para poner en marcha la opción propuesta en este estudio debería ser revisada y ponderada por los organismos que operan y administran sistemas de tratamiento de aguas residuales. Su aplicación, como ya se mostró, provocaría un ahorro no solo en el rubro del pago por consumo de energía sino que, al automatizar los procesos, se ahorra también en la mano de obra.

Los equipos propuestos para la automatización se analizan para una vida útil de 5 años con alta eficiencia. Este criterio es importante a fin de programar los mantenimientos preventivos correspondientes.



---

Con esta propuesta la CAPA podría canalizar los recursos que ahorrara a obras similares en sus demás plantas e incluso en otras actividades para mejorar la calidad de los servicios que presta a la ciudadanía del Estado y convertirse en una entidad ecológicamente responsable.



### **3.5 Referencias.**

1. NOM-001-SEDE-2005, "Instalaciones Eléctricas".
2. NOM-001-SEMARNAT-1996 "LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN AGUAS Y BIENES NACIONALES".
3. NMX-AA-012-SCFI-2001, "ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA", Y NMX-AA-028-SCFI-2001, "ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DBO5) Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA".
4. Coordinación de planeación – Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo, "Proyecto Ejecutivo Para el Emisor y el Sistema de Tratamiento de la Cd. de Chetumal, Edo. de Quintana Roo". Diciembre 1996.
5. Rubens S., Ramahlo. "Tratamiento de Aguas Residuales". Ed. Reverte.
6. Coordinación de planeación – Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo, "Chetumal y sus Planes Maestros", 2006.
7. Coordinación Operativa - Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo, "Volumen de Agua Tratada en Plantas de Tratamiento de Agua Residual en el Estado", Enero 2009.
8. Hoja de cálculo para el dimensionamiento de infraestructura para plantas de tratamiento desarrollada por el Ing. Fermín Vásquez Ara.
9. Simmens, "Propuesta de Automatización", Octubre 2010.



# ANEXO No. 1

# BASES DE DISEÑO:

POBLACION DE PROYECTO	193.702 hab
DEMANDA	200.00 l/hab/día
APORTACION (80% DE LA DEMANDA)	160.00 l/hab/día
COEF. DE HARMON	1.80 adim
GASTO MEDIO DIARIO (Qmd)	360.00 l/s
GASTO MINIMO (Qmin)	180.00 l/s
GASTO MAXIMO(Qmax)	648.00 l/s
CARGA ORGANICA (DBO5)	250.00 mg/l
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	300.00 mg/l
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES (SSV)	150.00 mg/l
TEMPERATURA PROMEDIO	24.00 °C
PROCESO	LODOS ACTIVADOS-AEREAACION EXTENDIDA
NUMERO DE MODULOS	3
CAPACIDAD POR MODULO	120.00 l/s
DISPOSICION FINAL	INFILTRACION AL ACUIFERO

# MEMORIA DE CALCULO

## BASES DE DISEÑO:

POBLACION DE PROYECTO (2016)	193.702 hab
DOTACION	200.00 l/hab/día
APORTACION (80% DE LA DOTACION)	150.00 l/hab/día
COEF. DE HARMON	1.80 adim
GASTO MEDIO DIARIO (Q <sub>md</sub> )	360.00 l/s
GASTO MINIMO (Q <sub>min</sub> )	180.00 l/s
GASTO MAXIMO(Q <sub>max</sub> )	648.00 l/s
CARGA ORGANICA (DBO <sub>5</sub> )	250.00 mg/l
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	300.00 mg/l
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES (SSV)	150.00 mg/l
TEMPERATURA PROMEDIO	24.00 °C
PROCESO	LODOS ACTIVADOS- AEREACION EXTENDIDA
NUMERO DE MODULOS	3
CAPACIDAD POR MODULO	120.00 l/s
DISPOSICION FINAL	INFILTRACION AL ACUIFERO

## CALIDAD DEL AGUA REQUERIDA (CONDICIONES PARTICULARES DE LA DESCARGA):

CARGA ORGANICA:	VALOR MAX PROMEDIO
DBO <sub>5</sub> TOTAL	30.00 mg/l
DBO SOLUBLE	20.00 mg/l
DQO	110.00 mg/l
NITROGENO AMONIACAL	20.00
NITROGENO TOTAL	30.00
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	30.00 mg/l

## DISEÑO DEL PRETRATAMIENTO

EL DISEÑO DEL PRETRATAMIENTO ESTARA CONSTITUIDO POR CAJA RECEPTORA, CANAL DE FEJILLAS, CANAL DESARENADOR Y CAJA DISTRIBUIDORA DE FLUJO.

LAS UNIDADES QUE INTEGRAN EL SISTEMA DE PRETRATAMIENTO SE DISEÑAN PARA EL CAUDAL MAXIMO, DIVIDIDAS EN TRES TRENES DE TRATAMIENTO; UNO PARA CADA MODULO.

DEBIDO A QUE EL AGUA RESIDUAL CRUDA QUE ALIMENTA A LA PLANTA DE TRATAMIENTO SERA - SUMINISTRADA ATRAVES DE UNA LINEA DE CONDUCCION DE 610 mm (24") DE DIAMETRO Y SE TIENEN TRES MODULOS DE TRATAMIENTO, EL AGUA LLEGARA A UNA CAJA RECEPTORA PARA DESPUES, MEDIANTE COMPUERTAS, DISTRIBUIR EL AGUA A CADA UNO DE LOS CANALES DEL PRE -- TRATAMIENTO.

DE INVESTIGACION  
DIRECCION DE INVESTIGACION  
INDUSTRIAL Y COMERCIAL

ALTERNATIVA No. 4

ACTIVIDAD O DECLARACION DE EXCLUSIVIDAD

PROCESO DE PROYECTO

AERACION EXTENDIDA

por el manual de la WEF).

DATOS DE DISEÑO.				
LITERAL	VALOR	UNIDAD	NOMBRE DE LA VARIABLE.	OBS.
So	250	mg/L	DBOS DEL INFLUENTE.	
Q	120	L/S	GASTO MEDIO DEL INFLUENTE.	
T	24.5	G. Cent:	TEMPERATURA DEL REACTOR.	
SSV	150	mg/L	SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES.	
SST	300	mg/L	SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.	
N amon:	14	mg/L	NITROG. AMONIACAL.	
N org.	30	mg/L	NITROG. ORGANICO.	
A	160	L/hab. Día	APORTE DE AGUA RESIDUAL.	
DBO <sub>u</sub> /DBO <sub>5</sub>	1.5	SIN UNIDAD	RELACION DE LAS DBO's	

### 1.- CALCULO DEL GASTO MAXIMO.

número de habitantes servidos

$$\text{Hab.} = Q/A = 64800 \text{ hab}$$

Se calcula el numero de Harmon.

$$H = 1.8$$

Se calcula el gasto maximo.

$$Q_{\text{max.}} = QH = 216 \text{ L/s.}$$

### 2.- CALCULO DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS, CONSIDERACIONES.

2.1.- SE ASUMEN LAS SIGUIENTES CONSTANTES BIOCINETICAS, A 20 GRADOS CENT.

Tabla 2. Constantes biocinéticas para aereación extendida.

K	0.038	mg/L	VEL. UTILIZACION ESPECIFICA DEL SUBSTRATO.
Y	0.6		COEFICIENTE DE APROVECHAMIENTO CELULAR.
K <sub>d</sub>	0.07	Día-1	CONSTANTE DE DECAIMIENTO ENDOGENO.

SE ASUME LOS SIGUIENTES VALORES DE DISEÑO, SUPONIENDO LA NO EXISTENCIA DE PRODCUTOS TOXICOS PARA LAS BACTERIAS.

f <sub>r</sub>	0.610696		FRACCION BIODEGRADABLE LICOR MEZCLADO.
TR <sub>heel</sub>	29.01	Días	TIEMPO DE RETENCION CELULAR.
LMSS	3500	mg/L	SOLIDOS SUSPENDIDOS DEL LICOR MEZCLADO.
M <sub>s</sub>	11	Días.	MARGEN DE SEGURIDAD EN EL TANQUE
So	250	mg/L	DBOS DE ENTRADA AL REACTOR.

### 2.2.- CALCULO DE LA DBO DE SALIDA DEL REACTOR.

$$S_e = 4.581939 \text{ mg/L} \quad \text{DBOS SOLUBLE DE SALIDA DEL REACTOR.}$$

PARA EL CALCULO DE LA DBO<sub>5</sub> TOTAL SE CONSIDERA LOS SST DEL EFLUENTE SI SE CONSIDERA QUE TIENEN 20 mg/L DE SOLIDOS Y QUE LA FRACCION DE LOS VOLATILES CON RESPECTO A LOS TOTALES ES SSV/SST

0.7 Y QUE ADEMAS QUE LA FRACCION DEGRADABLE ES ALREDEDOR DE

NO SOLUBLE DEL EFLUENTE SERA.

DBO5ns 8.549744 mg/L

POR LO TANTO LA DBO5 TOTAL DEL EFLUENTE SERA:

DBO5total= DBO5sol+ DBO5no sol.

DBO5total 13.131683 mg/L

2.3.- EFICIENCIAS DE REMOCION DE LA DBO5 TOTAL Y SOLUBLE.

Erem 0.981672 EN FUNCION DE LA DBO5 SOLUBLE DEL EFLUENTE.  
EN VALOR PORCENTUAL SERA= 98.16722427 %

Erem 0.947473 EN FUNCION DE LA DBO5 TOTAL DEL EFLUENTE  
EN VALOR PORCENTUAL SERA= 94.74732667 %

3.- CARGA ORGANICA REMOVIDA DEL PROCESO.

Lo 2544.49445 Kg/Dia

4.- CALCULO DEL TANQUE DE AEREACION.

SE ASUMEN QUE LOS 3500 mg/L DE SOLIDOS DEL TANQUE TIENEN ALREDE-  
DOR DEL 0.7 DE SSV/SST COMO SE MENCIONO ANTES POR LO ANTERIOR  
LA CONCENTRACION DE LOS SSV DEL TANQUE DE AEREACION SERAN:

SSV= 2450 mg/L DE SSV.

ENTONCES EL VOLUMEN DEL TANQUE DE AEREACION SERA:

$$V = (((Y \cdot TRH_{cel} \cdot Q \cdot (S_0 - S)) / (1 + K_d \cdot TRH_{cel})) / (1 / SSV))$$

V	10362.35	5964.89	m <sup>3</sup>	VOLUMEN DE TANQUE DE AEREACION.
n		2		NUMERO DE MODULOS.
Vu	5181 %	2982.45	m <sup>3</sup>	VOLUMEN UNITARIO.
H		4.30	m	PROFUNDIDAD DEL TANQUE
Rr		3.0	S/U	RELACION LARGO ANCHO.
A		693.59	m <sup>2</sup>	AREA DEL TANQUE
An		15.21	m	ANCHO.
La		45.62	m	LARGO.

*Check*  
*Existe un error en el*  
*calculo del volumen de*  
*tanque de aereacion*  
*para un modulo de 21600*  
*se requiere 21600/2*  
*10362.35*

LA DIMENSION DEFINITIVA DEL TANQUE SERA:

ANCHO = 15.20 m  
LARGO = 45.60 m

4.1.- SE VERIFICA EL TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICO.

TRH 13.81 Horas

F/M 0.174113694 Kg DBO5/Kg de SSLM Dia.

temperatura	radio F/M
caliente	0.2-0.25
moderada.	0.1-0.2
fría	0.1 menos.

Recomendaciones de Arceivala.

Lov 0.434543 Kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>d CARGA ORGANICA VOLUMETRICA APLICADA.

	MAXIMO.	MINIMO.	UNIDADES.	Recomendación del WEF.
Lov	0.4	0.1	Kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> d	No es norma rigida.

5.- SI SE CONSIDERA QUE LA CONCENTRACION DE SST DEL FLUJO DE RETORNO SON DEL 1 % LO CUAL QUIERE DECIR QUE, LA CONCENTRACION DE SOLIDOS SERA DE: 10000 mg/L.

RR=SSLM/(10,000-SSLM)

RR 0.538462 RADIO DE RETORNO AL LICOR MEZCLADO

ENTONCES EL GASTO DEL LODOS DEL RECICLO SERA:

Qlod sec: 7443.692 m<sup>3</sup>/Dia GASTO DE RETORNO DE LODOS.

6.- PRODUCCION DE LODOS NETOS POR DIA.

NP=XV/TRHcel 503.717906 Kg/Dia.

SI SE PONE EN PRODUCCION NETA DE SST SE TENDRA:

NP<sub>sst</sub> 719.597008 Kg/Dia

SI LOS SST SON BOMBEADOS CON UNA CONCENTRACION DEL 1 %, ENTONCES EL FLUJO VOLUMETRICO DE LODOS SERA DE:

Qlod sec. 71.96 m<sup>3</sup>/Dia.

7.- CALCULO DE LA FRACCION BIODEGRADABLE.

Xt 14613.98237 SOLIDOS PROMEDIO EN EL TANQUE.

T1 2549.675438 TERMINO DE LA FORMULA DE ADAMS.

f<sub>b</sub> 0.610696 FRACCION BIODEGRADABLE DE LOS SOLIDOS.

8.- REQUERIMIENTO DE OXIGENO:

SE ASUME QUE LA RELACION DE LA DBO<sub>u</sub>/DBO<sub>5</sub> ES IGUAL A 1.5 POR LO ANTERIOR SE PROCEDE A CALCULAR LA DEMANDA CARBONOSA, ULTIMA.

SOR 3101.462253 Kg/Dia 129.227594 Kg/Hr

SOR REQUERIDO POR LA NITRIFICACION:

SOR OXIGENO TOTAL REQUERIDO:

SORtotal 3101.46 Kg/Dia 129.227594 Kg/Hr

9.- REQUERIMIENTO DE ENERGIA PARA OXIGENAR.(Arceivala "waste Water treatment").  
NO CONTEMPLA LA ENERGIA DEL DIGESTOR, POR NO SER NECESARIO.

9.1. CALCULO DEL FLUJO VOLUMETRICO.

$Air = A / (E * 0.0175 \alpha)$

A 0.977822 Lb O<sub>2</sub>/Min. TRANSFERENCIA DE OXIGENO.  
 E 0.09 EFICIENCIA DEL DIFUSOR.  
 alfa 0.9 RADIO DE ADSORCION EN AGUA LIMPIA.  
 Air. 689.82 ft<sup>3</sup>/Min. FLUJO VOLUMETRICO DE LODOS.

9.2. AJUSTE DEL FLUJO VOLUMETRICO DE AIRE.

C<sub>sw</sub> 9.04 mg/L CONCENTRACION DE SATURACION DE O<sub>2</sub> AGUA RESIDUAL.  
 C<sub>L</sub> 0.5 mg/L CONCENTRACION DE SATURACION DE O<sub>2</sub> EN EL LICOR MEZCLADO.  
 C<sub>s</sub> 9.04 mg/L CONCENTRACION DE SATURACION DE O<sub>2</sub> EN EL AGUA DE LLAVE.  
 Air a 730.21 ft<sup>3</sup>/Min. AJUSTE DEL FLUJO VOLUMETRICO.

TABLA 1.- DIFUSORES POR NOMBRE COMERCIAL Y PARAMETROS DE DISEÑO.  
fuente: Proveedores de equipo varios.

NOMBRE DIFUSOR.	PERMEABILIDAD (ft <sup>3</sup> /min.)/ft <sup>2</sup>	EFICIENCIA %	TIPO	POROSIDAD
KELUNDITE.	120	N.D.	CERAMICA	POROSO.
ELECTROFLO	80	N.D.	CERAMICA	POROSO.
PRECISION.	40	N.D.	PLASTICO	POROSO.
FLEXOFUSER.	N.D.	N.D.	METALICO	POROSO.
COLAFLEX.	N.D.	N.D.	PLASTICO	POROSO.
RAYPRO.	N.D.	N.D.	PLASTICO	POROSO.



DIFUSOR.	REQUERIDA		FLUJO max.	FLUJO min:		
UNIDADES	m DE AGUA.	%	ft <sup>3</sup> /min.	ft <sup>3</sup> /min.		
IMPINGEMENT	0.9	N.D.	4	20	WATER JETS.	NO POROSO.
INATEX.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	WATER JETS.	NO POROSO.
SPARJETS.	0.6	N.D.	6	20	SPARJERS.	NO POROSO.
MONOSPARI	N.D.	N.D.	4	14	SPARJERS.	NO POROSO.
DUOSPARI	N.D.	N.D.	4	14	SPARJERS.	NO POROSO.
Deflectofuser.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	SPARGERS.	NO POROSO.
Discfusers.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	disc-valved.	NO POROSO.
Adjust Air.	0.25 PSI	N.D.	6	12	disc-valved.	NO POROSO.
TYPE P.	1"-5ft <sup>3</sup> /min	N.D.	5	20	disc-valved.	NO POROSO.
	7.5"-20ft <sup>3</sup> /min.	N.D.	5	20	disc-valved.	NO POROSO.
AIRCOMB.	0.127	N.D.	3	20	ORIFICIO	NO POROSO.
SHEARFUSER.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	ORIFICIO	NO POROSO.
SANTAIRE	N.D.	N.D.	10	24	ORIFICIO	NO POROSO.
INKA	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	TUBO.	NO POROSO.
AIRAQUA	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	PLASTICO	NO POROSO.
ROLLAER.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	EDUCTOR	NO POROSO.
DEEPAER.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	EDUCTOR	NO POROSO.

### 9.3.- CALCULO DEL AREA NECESARIA DE DIFUSIÓN (DIFUSORES POROSOS.)

Per	40	(ft <sup>3</sup> /min.)/ft <sup>2</sup>	PERMEABILIDAD ELECTICA PARA DIFUSORES POROSOS.
Ad	18.255	ft <sup>2</sup>	AREA DE DIFUSION NECESARIA.
La	2	ft	LARGO DEL DIFUSOR.
Diam	0.25	ft	DIAMETRO DEL DIFUSOR.
Au	0.098175	ft <sup>2</sup>	AREA INDIVIDUAL DEL DIFUSOR.

No	186 Difusores.	NUMERO DE DIFUSORES POROSOS.
----	----------------	------------------------------

### 9.4.- CALCULO DE LAS PERDIDAS POR CONDUCCION DEL AIRE.

Diam	4 "	DIAMETRO DE LA TUBERIA ELECTA.
A	0.008107 m <sup>2</sup>	AREA DE LA TUBERIA DE AIRE.
Long.	1859.458335 m	LONGITUD APROXIMADA DE TUBERIA.
Pd	0.005000 m	PERDIDA DE DESCARGA POR DIFUSOR.
Pt	0.008635 Kg/cm <sup>2</sup>	CAIDA DE PRESION TOTAL DE DIFUSORES.
Patm	1.033000 Kg/cm <sup>2</sup>	PERDIDA DE PRESION DE LA TUBERIA.
H	4.300000 m	SUMERGENCIA.
Pd	0.047300 Kg/cm <sup>2</sup>	PRESION DESCARGA DADA LA SUMERGENCIA.
Ptotal	1.088935 Kg/cm <sup>2</sup>	PRESION TOTAL DE DESCARGA.
Dt	6.390041	INCREMENTO DE TEMPERATURA.
Ts	30.890041	TEMPERATURA DE SALIDA.
Air a	730.209288 ft <sup>3</sup> /min	FLUJO VOLUMETRICO DE AIRE.
W	10.491513 Kg/S	FLUJO MASICO DE AIRE.
Pot.	160.055439 Hp	POTENCIA DEL SOPLANTE.

Air a	730.21	ft <sup>3</sup> /min.	FLUJO VOLUMETRICO NECESARIO.
Air u	10	(ft <sup>3</sup> /min.)/dif.	FLUJO VOLUMÉTRICO POR DIFUSOR.

No	73 Difusores.	NUMERO DE DIFUSORES NO POROSOS.
----	---------------	---------------------------------

9.6.- CALCULO DE LAS PERDIDAS POR CONDUCCION DEL AIRE.

Diam	4	"	DIAMETRO DE LA TUBERIA ELECTA.
A	0.008107	m <sup>2</sup>	AREA DE LA TUBERIA DE AIRE.
Long.	730.209288	m	LONGITUD APROXIMADA DE TUBERIA.
Pd	0.005000	m	PERDIDA DE DESCARGA POR DIFUSOR.
Pt	0.003391	Kg/cm <sup>2</sup>	CAIDA DE PRESION TOTAL DE DIFUSORES.
Pam	1.033000	Kg/cm <sup>2</sup>	PERDIDA DE PRESION DE LA TUBERIA.
H	4.300000	m	SUMERGENCIA.
Pd	0.047300	Kg/cm <sup>2</sup>	PRESION DESCARGA DADA LA SUMERGENCIA.
Ptotal	1.083691	Kg/cm <sup>2</sup>	PRESION TOTAL DE DESCARGA.
Dt	# REF!		INCREMENTO DE TEMPERATURA.
Ts	# REF!		TEMPERATURA DE SALIDA.
Air a	730.209288	ft <sup>3</sup> /min	FLUJO VOLUMETRICO DE AIRE.
W	10.491513	Kg/S	FLUJO MASICO DE AIRE.
Pot.	# REF!	Hp	POTENCIA DEL SOPLANTE.

9.7.- POR TRANSFERENCIA DE OXIGENO.

alfa	0.92	S/U	COEFICIENTE ALFA.
beta	0.95	S/U	COEFICIENTE BETA.
teta	1.112627538		COEFICIENTE DE TEMPERATURA.
Cs	8.25	mg/L	CONCENTRACION DE SATURACION DE O2.
Nf	1.8	Kg/KW Hr	TRANSFERENCIA DE OXIGENO EN AGUA LIMPIA.
Cop	1	mg/L	CONCENTRACION DE O2 DE OPERACION
F	0.848	S/U	COEFICIENTE DE TRANSFORMACION DE AGUA LIMPIA A AGUA SUCIA Y CONC. DE OPERACION.
Nc	1.527	KgO2/KW Hr	COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA CORREGIDO.
Nc	1.527	Kg O2/KWH	capacidad de aereacion standar.
Ef	70	%	capoidad en campo.
ENERGIA REQUERIDA	84.618917	KW	
ENERGIA REQUERIDA	112.885428	HP	
POTENCIA POR MODULO	56.44271401	HP	

r 0.3333 S/U RELACION PROFUNDIDAD/ANCHO.  
 V 5964.8908 m<sup>3</sup> VOLUMEN DEL TANQUE DE AEREACION.  
 De 14.1862 W/m<sup>3</sup> DENSIDAD DE ENERGIA POR OPERACION.  
 Dem 25 W/m<sup>3</sup> DENSIDAD DE ENERGIA POR MEZCLADO.

ENERGIA REQUERIDA POR MEZCLADO. 149.12227 KW  
 ENERGIA REQUERIDA POR MEZCLADO. 199.89580 HP  
 POTENCIA POR MODULO 99.94790154 HP  
 EN ESTE PUNTO DOMINA LA ENERGIA POR MEZCLADO.

10.- CALCULO DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO.

SE CALCULA DE LA TABLA 11.26 DEL MANUAL DE LA WEF, EL INVERSO DE LA CARGA HIDRAULICA DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO, UTILIZANDO EL RADIO DE RECICLO Y LA CONCENTRACION DEL LICOR MEZCLADO.

1/LH=A/Q 0.055555556 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> Dia INVERSO DE CARGA HIDRAULICA.

AREA sed 576 m<sup>2</sup> AREA TOTAL DEL SEDIMENTADOR.

LH 18.000000 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> Dia. CARGA HIDRAULICA SUPERFICIAL.  
 SE UTILIZARAN 1 UNIDADES DE SEDIMENTACION SECUNDARIA.

AREAInd: 576 m<sup>2</sup>

DIAMETROS DE LOS TANQUE DE SEDIMENTACION SECUNDARIA, PARA UN IVL DE 150 ml/g

Diam 27.08 metros.  
 H 2.40 metros PROFUNDIDAD DE CLARIFICACION.  
 Vsed 1382.40 m<sup>3</sup> VOLUMEN DEL SEDIMENTADOR.  
 TRH 1.862687 Hr. TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRAULICA DEL CLARIFICADOR.  
 Hb 0.90 metros PROFUNDIDAD INTERMEDIA.  
 HI 0.70 metros. PROFUNDIDAD DEL LECHO DE LODO  
 Htotal 4.00 metros. PROFUNDIDAD DEL SEDIMENTADOR TOTAL.

TABLA 11.7.- SEDIMENTACION FINAL PROFUNDIDAD DEL TANQUE DE SEDIMENTACION SECUNDARIA.

DIAMETRO DEL TANQUE	MINIMO. SUGERIDO.		
	mts.	mts.	mts.
Arriba de	12.19	3.05	3.35
12.19	21.34	3.35	3.66
21.34	30.48	3.66	3.96
30.48	42.67	3.96	4.27
Arriba de	42.67	4.27	4.57

Fuente: "WEF MANUAL OF PRACTICE No8  
 Autor: WEF, 1992.

TRH 5.333 Hr. TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICO.

11.- ESPESADOR DE LODOS

CARGA ORGANICA = 2,450.00 Kg DBO/día

PRODUCCION DE LODOS = CARGA ORGANICA x 1.837.50 Kg SST/día MODULO

PRODUCCION TOTAL = PROD. POR MODULO x 3 = 5,512.50 Kg SST/día

VOLUMEN PROD. SI  $f = 1.002$  Y CONCEN = 9,000.00 mg/l

VOLUMEN = PRODUC. TOTAL x  $f \times (10^{-3}) / 0.009 = 613.73 \text{ m}^3/\text{día}$

MASA DE LODO = 5,512.50 Kg SST/día

BASES DE DISEÑO:

SLUDGE THICKENING  
MANUAL DE PRACTICA FD-1-WEF  
FACILITES DEVELOPMENT 1980

PARA LODO DIGERIDO AEROBICAMENTE :

CARGA HIDRAULICA = 33.00  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{día}$

CARGA DE SOLIDOS = 25 - 70  $\text{Kg}/\text{m}^2/\text{día}$  SE CONSIDERA 60.00  $\text{Kg}/\text{m}^2 - \text{DÍA}$

AREA =  $\text{Kg DE LODO} / \text{CARGA DE SOLIDOS} = (\text{Kg} / \text{día}) / (\text{Kg} / \text{m}^2 \times \text{día})$

AREA =  $5512 / 60 = 91.88 \text{ m}^2$

EL DIAMETRO ES DE: 10.82 m

SE SELECCIONA UN ESPESADOR DORR OLIVER DE 3.00 m DE ALTURA.

# RESUMEN DEL SISTEMA DE AERACION

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CHIETUMAL

PARAMETRO	AERACION EXTENDIDA	DIGESTOR
Largo (M)	45.00 m	20.00 m
Ancho (M)	30.00 m	9.40 m
Tirante útil (M)	4.30 m	4.30 m
Volumen M <sup>3</sup>	5805 m <sup>3</sup>	808 m <sup>3</sup>
Difusores /Tanque	2030	204
FCM /Difusor	1.53	1.58
FCM /Tanque	3301	322
M <sup>3</sup> /Min/Tanque	93.5	9.12
M <sup>3</sup> /Min/1000 M <sup>3</sup> de tanque	16.11	11.29
L/hr de O <sub>2</sub> /Tanque	292 L/hr = 132.3 kg/h de O <sub>2</sub> = 3.175 kg O <sub>2</sub> /h.	20.5 L/hr
L/hr de O <sub>2</sub> /lb/hr de DBO oxidada	1.23 lb O <sub>2</sub> /lb DBO	28.5 / 9.57 = 2.97 (2.3 para SSV)
FCM TOTAL REQUERIDO AERACION EXTENDIDA + DIGESTOR	SCTM = 3301 + 322 = 3623	
H.P. REQUERIDOS	150 H.P. 2 Sopladores de 75 H.P. con 1800 pies / Min.	