



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**

**OPTIMIZACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Informe de la práctica profesional

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

Víctor Enrique Aguilar Urcid

071020084



MÉXICO, D.F.

2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: DURÁN DOMÍNGUEZ DE BAZÚA MARÍA DEL CARMEN**

VOCAL: **Profesor: RAMÍREZ BURGOS LANDY IRENE**

SECRETARIO: **Profesor: GARCÍA GÓMEZ ROLANDO SALVADOR**

1er. SUPLENTE: **Profesor: BERNAL GONZÁLEZ MARISELA**

2º SUPLENTE: **Profesor: GARCÍA REYNOSO JOSÉ AGUSTÍN**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

**PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ATAPANEO DE LA CIUDAD DE MORELIA,
MICHUACÁN, MÉXICO.**

ASESOR DEL TEMA:

María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa

SUPERVISOR TÉCNICO:

Salvador Alejandro Sánchez Tovar

SUSTENTANTE (S):

Víctor Enrique Aguilar Urcid



**PTAR Atapaneo, ubicada en la Ciudad de Morelia,
en el estado de Michoacán, México**

Reconocimientos

Se reconoce al personal de la Facultad de Química de la UNAM y en particular al de los Laboratorios de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental por su apoyo para la realización de este Informe de la Práctica Profesional y en especial a la Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa

Se reconoce al personal de la empresa Ticsa, a sus fundadores Don José Primelles W., a Pepe, a Roberto y específicamente al Dr. Salvador Alejandro Sánchez Tovar por su apoyo para realizar este Informe de la Práctica Profesional

Se reconoce al Ing. Manuel Morales Trejo por la oportunidad de integrarme al área del tratamiento del agua residual

Se agradece a los miembros sinodales del jurado asignado por sus valiosos comentarios que enriquecieron este Informe de la Práctica Profesional

Dedicatorias

A mi gran familia Magdalena, Malena, Arturo, Georgina, Jorge y Abril

RESUMEN

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales deben optimizarse para que su costo sea menor para las comunidades a las que apoyan. Para ello, uno de los rubros importantes es el consumo de energía eléctrica. En esta investigación se estudió el posible cambio de algunos equipos instalados por otros más eficientes, para reducir el consumo de energía. Otro factor muy importante es el personal que apoya la operación de una planta de tratamiento de aguas residuales y para mejorar su desempeño se programarán cursos de capacitación y entrenamiento. Otro aspecto, también importante, es la programación de las actividades de operación de la planta para que concuerden con las diferentes tarifas y horarios (base, intermedio y punta) para el consumo de energía eléctrica considerando además el patrón de llegada de las aguas residuales. Con estos tres rubros se espera reducir el consumo energético y optimizar la operación de una planta real de una ciudad de tamaño medio, que capta el caudal residual de aproximadamente 750,000 habitantes.

Palabras clave: Optimización, ahorro de energía eléctrica, planta de tratamiento de aguas residuales

ABSTRACT

Wastewater treatment systems should be optimized to reduce their operating costs for the benefit of the communities that receive the service. One important factor is electric power consumption. In this investigation it was studied the possible change of some of the installed equipment for more efficient one to reduce the power consumption. Another important factor is the staff that works in a wastewater treatment plant. To improve the personnel's performance, training courses are scheduled. Another important issue is to program the activities of the plant taking into consideration the arriving pattern of wastewater and the different rates (basic, intermediate and peak) and schedules of the Comision Federal de Electricidad. To follow these three items it is expected to reduce electric power consumption and to optimize the operation of a real plant of a mid-sized city, which captures the residual rate of about 750,000 populations, for the benefit of the communities that are provided with the treated water of the plant.

Key Words: Optimization, electric energy savings, wastewater treatment plant

ÍNDICE

	Página
Resumen	6
<i>Abstract</i>	6
Índice	7 - 9
Listado de Tablas	10 - 14
Glosario	15 - 19
Capítulo 1. Problemática	20
1.1. Introducción	20
1.1.1. Plantas de tratamiento de aguas residuales	20
1.1.2. Energía eléctrica	24
1.2. Objetivos	28
1.2.1. General	29
1.2.2. Específicos	29
1.3. Alcances	29
Capítulo 2. Marco teórico	30
2.1. Uso de la energía eléctrica en plantas de tratamiento de aguas residuales	30
2.2. Operación de la planta de tratamiento de aguas residuales usada como ejemplo	34

	Página
Capítulo 3. Metodología	39
3.1. Antecedentes	39
3.2. Aplicación de la metodología	42
3.2.1. Descripción de la PTAR objeto de estudio	45
3.2.2. Descripción del proceso en la PTAR Atapaneo	47
3.2.2.1. Pretratamiento	47
3.2.2.2. Tratamiento biológico	53
3.2.2.3. Desinfección	57
3.2.2.4. Tratamiento de biosólidos (lodos de purga)	58
3.2.2.5. Estabilización química	59
3.3. Elaboración de diagnóstico energético	61
3.3.1. Ahorro de energía eléctrica, EE	61
3.3.2. Situación actual de la PTAR	63
3.3.3. Cálculos para determinar consumo y costo de EE	63
3.3.3.1. Medidas de ahorro eléctrico	64
3.3.3.2. Sistema de iluminación con tecnología <i>LED</i>	64
3.3.3.3. Sistema de bombeo de alta eficiencia incluyendo convertidores de frecuencia variable para el influente y para la recirculación	69

	Página
3.3.4. Entrenamiento de personal	71
Capítulo 4. Resultados y discusión	73
4.1. Resultados	73
4.2. Discusión	79
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones	80
5.1. Conclusiones	80
5.2. Recomendaciones	82
Anexos	83
Anexo 1. Condiciones de diseño	84-89
Anexo 2. Condición óptima	90-95
Anexo 3. Cambio de equipo	96-101
Anexo 4. Diagrama de flujo de la PTAR Atapaneo	102-104
Anexo 5. Disposición controlada de los residuos producidos en la empresa	105-107
Bibliografía	108-109

Listado de tablas, gráficas, figuras y fotografías

Número	Título	Página
Fotografía	PTAR Atapaneo	3
Tabla 1-1.	Plantas de tratamiento de aguas residuales, que operan en México por entidad federativa y registrada por la Comisión Nacional del Agua, con una actualización a diciembre de 2013 (CONAGUA, 2015)	21
Tabla 1-2.	Evolución del Saneamiento del Agua en México por año. (CONAGUA, 2015)	23
Tabla 1-3.	Municipios con servicio de tratamiento de aguas residuales por entidad federativa y registrada por el último censo del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática con datos actualizados (INEGI, 2012)	25
Tabla 1-4.	Costo de la energía eléctrica EE en 1995 y 2015 (tarifa de media tensión HM)	26
Tabla 1-5.	Porcentaje de variación del costo de la energía eléctrica 2014 a 2015	26
Tabla 2-1.	Intervalos de remoción promedio del proceso de lodos activados	36
Tabla 3-1.	Calidad en el influente y efluente	40
Tabla 3-2.	Costo de potencia y consumo de EE	42
Tabla 3-3.	Horarios Base, Intermedia y Punta (Tarifa HM)	43
Tabla 3-4.	Parámetros de operación de los desarenadores	51
Tabla 3-5.	Tiempo disponible por los dos periodos de CFE y sus horarios	64
Tabla 3-6.	Tarifas en función de los horarios punta, intermedio y base (promedio del 2012 al 2015)	64

Número	Título	Página
Tabla 3-7.	Inventario de equipos que componen la PTAR Atapaneo	65
Tabla 4-1.	Consumo de EE del equipo en operación (diseño)	75
Tabla 4-2.	Consumo de EE del equipo en operación sin medidas de ahorro	76
Tabla 4-3.	Consumo de EE del equipo en operación óptima	77
Tabla 4-4.	Consumo de EE del equipo considerando cambio por motores de alta eficiencia e incorporando variadores de frecuencia	78
Tabla 4-5.	Tabla 4-5. Ahorro en % de consumo y costo anual	79
Tabla A1.1.	Lista de luminarias en la PTAR Atapaneo (Diseño)	84
Tabla A1.2.	Tiempo de uso de luminarias en oficinas	85
Tabla A1.3.	Consumo de EE en Edificio de Oficinas	85
Tabla A1.4.	Costo por consumo de EE en Edificio de Oficinas	86
Tabla A1.5.	Tiempo de uso de luminarias en Edificio de Operación	86
Tabla A1.6.	Consumo de EE en Edificio de Operación	87
Tabla A1.7.	Costo por consumo de EE en Edificio de Operación	87
Tabla A1.8.	Tiempo de uso de luminarias en exteriores	88
Tabla A1.9.	Consumo de EE en exteriores	88
Tabla A1.10.	Costo por consumo de EE en exteriores	89
Tabla A2.1.	Lista de luminarias en la PTAR Atapaneo (óptimo)	90

Número	Título	Página
Tabla A2.2.	Tiempo de uso de luminarias en oficinas (óptimo)	91
Tabla A2.3.	Consumo de EE en Edificio de Oficinas (óptimo)	91
Tabla A2.4.	Costo por consumo de EE en Edificio de Oficinas (óptimo)	92
Tabla A2.5.	Tiempo de uso de luminarias en Edificio de Operación (óptimo)	92
Tabla A2.6.	Consumo de EE en Edificio de Operación (óptimo)	93
Tabla A2.7.	Costo por consumo de EE en Edificio de Operación (óptimo)	93
Tabla A2.8.	Tiempo de uso de luminarias en exteriores (óptimo)	94
Tabla A2.9.	Consumo de EE en exteriores (óptimo)	94
Tabla A2.10.	Costo por consumo de EE en exteriores (óptimo)	95
Tabla A3.1.	Lista de luminarias en la PTAR Atapaneo (<i>LED</i>)	96
Tabla A3.2.	Tiempo de uso de luminarias en oficinas (<i>LED</i>)	97
Tabla A3.3.	Consumo de EE en Edificio de Oficinas (<i>LED</i>)	97
Tabla A3.4.	Costo por consumo de EE en Edificio de Oficinas (<i>LED</i>)	98
Tabla A3.5.	Tiempo de uso de luminarias en Edificio de Operación (<i>LED</i>)	98
Tabla A3.6.	Consumo de EE en Edificio de Operación (<i>LED</i>)	99
Tabla A3.7.	Costo por consumo de EE en Edificio de Operación (<i>LED</i>)	99
Tabla A3.8.	Tiempo de uso de luminarias en exteriores (<i>LED</i>)	100
Tabla A3.9.	Consumo de EE en exteriores (<i>LED</i>)	100

Número	Título	Página
Tabla A3.10.	Costo por consumo de EE en exteriores (LED)	101
Gráfica 1-1.	Evolución del costo por consumo de EE y por demanda de potencia (EMPRESA, 2015)	27
Gráfica 1-2.	Evolución del costo de la demanda de potencia (EMPRESA, 2015)	28
Gráfica 3-1.	Ejemplo del caudal de agua residual tratada (en el lapso del 11 de junio al 10 de julio de 2015 en la planta en estudio)	41
Gráfica 3-2.	Caudal diario en la PTAR Morelia, Atapaneo, México	44
Gráfica 3-3.	Caudal y costo de EE unitario en la PTAR Morelia, Atapaneo, México	44
Gráfica 3-4.	Distribución de demanda de potencia por sistema de Iluminación en (%)	67
Gráfica 4-1.	Evolución de la demanda de potencia	74
Gráfica 4-2.	Ahorro por control en la demanda de potencia	75
Figura 2-1.	Inducción de corrientes de Eddy	32
Figura 2-2.	Motor de alta eficiencia	33
Figura 2-3.	Esquema del proceso de lodos activados	36
Figura 2-4.	Microorganismos principales en un sistema de lodos activados (Jenkins y col., 1993)	37
Figura 2-5.	Microfotografías de los principales organismos invertebrados encontrados comúnmente en el lodo activado	38
Figura 3-1.	Proceso de lodos convencionales PTAR Morelia, Atapaneo, México	46

Número	Título	Página
Figura 3-2.	Pretratamiento en la PTAR Morelia, Atapaneo (Cribado medio y desarenado)	49
Figura 3-3.	Desarenador tipo vórtice	50
Figura 3-4a.	Criba fina rotatoria de acero inoxidable	51
Figura 3-4b.	Pretratamiento de cribado fino en la PTAR Atapaneo	52
Figura 3-5.	Tratamiento secundario en la PTAR Atapaneo (Tanque selector, tanques de lodos activados y clarificadores)	54
Figura 3-6.	Tratamiento secundario en la PTAR Atapaneo (Tanque selector, tanques de lodos activados y clarificadores)	55
Figura 3-7.	Tratamiento secundario en la PTAR Atapaneo, Sopladores (3)	56
Figura 3-8.	Tratamiento terciario en la PTAR Atapaneo (desinfección por cloración)	57
Figura 3-9.	Tratamiento de lodos activados de purga en la PTAR Atapaneo	58
Figura 3-10.	Estabilización química con cal "viva" (CaO, óxido de calcio), de los lodos activados de purga en la PTAR Atapaneo	59
Figura 3-11.	Agua de servicios en la PTAR Atapaneo	60
Figura 3-12.	Bomba centrífuga	70
Figura A4.1.	Diagrama de flujo y proceso de la PTAR Morelia Atapaneo (Línea de agua)	103
Figura A4.2.	Diagrama de flujo y proceso de la PTAR Morelia Atapaneo (Línea de lodos)	104
Figura A5.1.	Esquema de flujo de una PTAR incluyendo digestión	105
Figura A5.2.	Esquema de reacciones en el digestor anaerobio	106

Glosario de términos

Absorción	Acción de absorber. Dicho de un tejido orgánico o de una célula; Recibir o aspirar materias externas a ellos, ya disueltas, ya aeriformes
Acometida	Instalación por la que se deriva hacia un edificio u otro lugar parte del fluido que circula por una conducción principal. Acometida eléctrica
Adsorción	Acción y efecto de adsorber. Atraer y retener en la superficie de un cuerpo moléculas o iones de otro cuerpo
Aerosoles	Suspensión de partículas ultramicroscópicas de sólidos o líquidos en el aire u otro gas
Afiliado	Dicho de una persona: Asociada a otras para formar corporación o sociedad
Algas	Un grupo de plantas que contienen clorofila, unicelulares o constituyendo un cuerpo vegetal llamado talo que no diferencia en raíces, tallos u hojas
Ambiental	Perteneiente o relativo al ambiente (condiciones o circunstancias)
Análisis	Distinción y separación de las partes de un todo hasta llegar a conocer sus principios o elementos
Bacterias	Microorganismo unicelular procarionte, cuyas diversas especies causan las fermentaciones, enfermedades o putrefacción en los seres vivos o en las materias orgánicas
Carbohidratos	Cada una de las sustancias orgánicas formadas por carbono, hidrógeno y oxígeno, que contienen los dos últimos elementos en la misma proporción que la existente en el agua; p. ej., la glucosa, el almidón y la celulosa
CFE	Comisión Federal Electricidad de México, empresa que suministra energía eléctrica

Ciliados	Organismos que poseen cilios, prolongaciones citoplasmáticas ciliformes en la superficie externa de la célula
Coagular	Cuajar, solidificar lo líquido
Coloide	Dispersión de partículas o macromoléculas en un medio continuo. Participación y comunicación de una misma suerte
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua de México
Conorcios	Unión o compañía de quienes viven juntos
COT	Sistema basado en los términos CONSTRUIR, OPERAR, TRANSFERIR, el cual consiste principalmente en el endeudamiento por parte del proveedor, a través del Banco Nacional de Obras (BANOBRAS) y sus bancos afiliados, por el valor total de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales, PTAR
Defosforilación	Eliminación de un fosfato en un compuesto orgánico
Degradar	Transformar una sustancia compleja en otra de constitución más sencilla
Diagnóstico	Recoger y analizar datos para evaluar problemas de diversa naturaleza
Dicroicas	Que tiene dicroísmo. Propiedad que tienen algunos cuerpos de presentar dos coloraciones diferentes según la dirección en que se los mire
DQO	Demanda química de oxígeno
Economía	Administración eficaz y razonable de los bienes
EE	Energía eléctrica
Eficiencia	Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado
EMPRESA	Nombre dado a la empresa a la que pertenece el autor

Estabilización	Acción y efecto de estabilizar
Exopolímeros	Polímero que interviene en los procesos biológicos
Filamentosos	Que tiene filamentos
Financiamiento	Acción y efecto de financiar
Flóculos	Dicho de una floculación: Producirse, tener lugar
Fluorescentes	Que tiene fluorescencia. Luminiscencia que desaparece al cesar la causa que la produce
Glucanas	Polímero de la glucosa
Hiperboloide	Superficie cuyas secciones planas son elipses, círculos o hipérbolas, y se extiende indefinidamente en dos sentidos opuestos
HM Tarifa	Una de las tarifas en media tensión del costo de la electricidad en México: base, intermedia y punta
Incandescentes	Dicho generalmente de un metal: Enrojecido o blanqueado por la acción del calor
LED	Siglas de la expresión inglesa <i>light-emitting diode</i> , 'diodo emisor de luz', que es un tipo de diodo empleado en computadoras, paneles numéricos (en relojes digitales, calculadoras de bolsillo...), luminarias, etc.
Licitación	Acción y efecto de licitar
Microorganismo	Organismo microscópico incluye bacterias, virus, protozoarios, hongos y algas unicelulares
Optimización	Acción y efecto de optimizar. Buscar la mejor manera de realizar una actividad
Patógeno	Productor de enfermedad
Patronato	Consejo formado por varias personas, que ejercen funciones rectoras, asesoras o de vigilancia en una fundación, en un instituto

	benéfico o docente, etc., para que cumpla debidamente sus fines
Políticas	Arte o traza con que se conduce un asunto o se emplean los medios para alcanzar un fin determinado
Protozoarios	Animales mono celulares
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
Saneamiento	Conjunto de técnicas y elementos destinados a fomentar las condiciones higiénicas
Sistema "COT"	Los proveedores gubernamentales que compiten en licitaciones públicas por el tratamiento de aguas residuales se ven por lo general sometidos a las siguientes condiciones: aplicación del sistema "COT" (Construir, Operar, Transferir), el cual consiste principalmente en el endeudamiento por parte del proveedor, a través del Banco Nacional de Obras (BANOBRAS) y sus bancos afiliados, por el valor total de la construcción de la PTAR; al precio fijado por parte de la autoridad, por el tratamiento por metro cúbico de agua residual, que por la presión de la competencia, generalmente es de los más bajos en el mercado; a absorber todos los costos operativos, directos e indirectos del tratamiento del agua residual, entre ellos el costo de la energía; Durante los primeros años de operación, de una PTAR en el sistema COT, se opera por debajo del punto de equilibrio, alcanzándose este a los diez años aproximadamente, tiempo en el que se cubriría el adeudo a través de BANOBRAS, y teniendo el tiempo restante para generación de ganancias; a contratos de prestación de servicios altamente rígidos y exigentes
Tarifa HM	Una de las tarifas en media tensión del costo de la electricidad en México: base, intermedia y punta
Tensión	Voltaje con que se realiza una transmisión de energía eléctrica
Transformador	Aparato eléctrico para convertir la corriente alterna de alta tensión y débil intensidad en otra de baja tensión y gran intensidad o viceversa
Vórtice	Torbellino, remolino. Centro de un ciclón
WAS	Siglas en inglés para los lodos de purga (<i>Waste Activated Sludge</i>)

NOTA: Este informe usa el punto decimal (DOF, 2009)

Capítulo 1

Problemática

1.1 introducción

1.1.1. Plantas de tratamiento de aguas residuales

En México existen aproximadamente 2,900 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que al estar subutilizadas (en un 30.4% por debajo de la capacidad instalada) permiten proponer para mejorar su operación, el analizar, diagnosticar y adecuar el uso de su infraestructura de manera óptima y lograr un ahorro económico. La Tabla 1-1. (CONAGUA, 2015), presenta esta información.

En el medio industrial dedicado al tratamiento de agua y aguas residuales se sabe que en promedio las PTAR dan saneamiento al agua en un 69.6% de su capacidad (CONAGUA, 2015).

En conferencias impartidas a empresarios relacionados con el tratamiento del agua residual la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), ha expuesto que esta subutilización se debe en gran parte a que no se cuenta con los emisores y colectores necesarios para llevar el agua residual a las plantas.

Los proveedores gubernamentales que compiten en licitaciones públicas por el tratamiento de aguas residuales se ven por lo general sometidos a las siguientes condiciones:

- A la aplicación del sistema “COT” (Construir, Operar, Transferir), el cual consiste principalmente en el endeudamiento por parte del proveedor, a través del Banco

Nacional de Obras (BANOBRAS) y sus bancos afiliados, por el valor total de la construcción de la PTAR.

Tabla 1-1. Plantas de tratamiento de aguas residuales, que operan en México por entidad federativa y registrada por la Comisión Nacional del Agua, con una actualización a diciembre de 2013 (CONAGUAm 2015)

Estado	No. Plantas	Capacidad Instalada (l/s)	Caudal Tratado (l/s)
Aguascalientes	134	4 662.5	3 162.3
Baja California	37	7 592.1	5 240.1
Baja California Sur	26	1 660.0	1 275.2
Campeche	19	145.0	119.8
Coahuila de Zaragoza	21	4 976.5	3 878.0
Colima	55	2 228.1	1 580.4
Chiapas	33	1 596.6	810.2
Chihuahua	167	9 904.9	6 751.3
Distrito Federal	29	6 820.5	3 112.8
Durango	182	4 519.9	3 425.7
Guanajuato	69	7 377.7	5 651.5
Guerrero	59	4 199.8	3 497.0
Hidalgo	9	158.5	158.5
Jalisco	154	15 435.2	7 797.1
México	142	8 962.0	6 788.9
Mochoacán de Ccampo	38	4 050.5	3 392.6
Morelos	42	2 718.5	1 596.3
Nayarit	68	2 806.8	2 239.3
Nuevo León	60	17 615.0	11 489.3
Oaxaca	69	1 520.5	995.1
Puebla	67	3 202.6	3 237.2
Querétaro de Arteaga	47	2 370.4	1,640.3
Quintana Roo	35	2 380.5	1 734.2
San Luis Potosí	38	2 509.9	2 115.2
Sinaloa	218	6 094.7	4 965.1
Sonora	82	5 407.5	3 650.8
Tabasco	80	2 815.9	1 765.4
Tamaulipas	44	7 797.8	5 692.1
Tlaxcala	55	1 048.3	786.1
Veracruz de Ignacio de la Llave	110	7 271.0	5 612.0
Yucatán	29	535.2	130.3
Zacatecas	69	1,787.7	1 644.8
Total nacional	2 287	152 171.9	105 934.9

- Al precio fijado por parte de la autoridad, por el tratamiento por metro cúbico de agua residual, que por la presión de la competencia, generalmente es de los más bajos en el mercado.
- A absorber todos los costos operativos, directos e indirectos del tratamiento del agua residual, entre ellos el costo de la energía.
- Durante los primeros años de operación, de una PTAR en el sistema COT, se opera por debajo del punto de equilibrio, alcanzándose este a los diez años aproximadamente, tiempo en el que se cubriría el adeudo a través de BANOBRAS, y teniendo el tiempo restante para generación de ganancias.
- A contratos de prestación de servicios altamente rígidos y exigentes.

Por otra parte, puede mencionarse que en la experiencia de una de las empresas líderes en este campo, que se denominará EMPRESA, la realidad ha sido otra, dado que factores humanos-sociales-políticos, entre otros, los cambios de partidos políticos en los gobiernos locales, han demorado e inclusive suspendido los pagos comprometidos obligando a la EMPRESA a no continuar con la operación de las PTAR.

El caso de la PTAR Atapaneo, ubicada en la ciudad de Morelia, en el estado de Michoacán, no ha presentado el problema anterior.

En la Tabla 1-1 están reportadas 2,287 PTAR en operación (CONAGUA, 2015) con una capacidad de diseño de tratamiento por arriba de lo que realmente están operando.

En la planta de Morelia se ha tratado en los últimos 4 años el 91.7% del caudal de diseño (1,200 L/s). Sin embargo, se enfrenta a un alto problema de costos principalmente al de la energía eléctrica (EE, en adelante en presente documento), el que en función a su consumo presenta diferentes tarifas a lo largo del día (tres tarifas: base, intermedia y punta).

En la Tabla 1-2 se observa el comportamiento de la evolución del saneamiento del agua residual. Existe un 19.3% de PTAR inventariadas que no están en operación agravando la situación en México con respecto al tratamiento de aguas residuales.

Tabla 1-2. Evolución del saneamiento del agua en México por año (CONAGUA, 2015)

Año	Total		En Operación		Tratado (l/s)
	No. de Plantas	Gasto Instalado (l/s)	No. de Plantas	Instalado (l/s)	
1992	546.0	N.D	394.0	N.D	30 554.0
1993	650.0	N.D	454.0	N.D	30 726.0
1994	666.0	42 788.3	461.0	N.D	32 065.0
1995	680.0	54 638.0	469.0	48 172.0	32 905.2
1996	793.0	54 765.0	595.0	51 696.3	33 745.4
1997	821.0	61 653.1	639.0	57 401.7	39 388.8
1998	914.0	63 150.9	727.0	58 560.2	40 854.7
1999	1 000.0	67 547.9	777.0	61 559.0	42 396.8
2000	1 018.0	75 952.5	793.0	68 970.0	45 927.3
2001	1 132.0	80 622.2	938.0	73 852.6	50 810.0
2002	1 242.0	85 042.6	1 077.0	79 735.0	56 148.5
2003	1 360.0	89 585.3	1 182.0	84 331.5	60 242.6
2004	1 481.0	92 674.8	1 300.0	88 718.3	64 541.9
2005	1 666.0	101 348.7	1 433.0	95 774.3	71 784.8
2006	1 837.0	104 895.9	1 593.0	99 764.2	74 388.3
2007	2 020.0	112 294.8	1 710.0	106 266.7	79 294.3
2008	2 101.0	118 920.0	1 833.0	113 024.0	83 640.6
2009	2 303.0	125 625.8	2 029.0	120 860.9	88 127.1
2010	2 500.0	132 144.1	2 186.0	126 847.5	93 600.2
2011	2 719.0	144 074.7	2 289.0	137 082.1	97 640.2
2012	2 794.0	148 307.7	2 342.0	140 142.1	99 750.2
2013	2 835.0	161 727.1	2 287.0	152 171.9	105 934.9

“Al concluir el año 2012 existían registradas en el país 2,342 plantas municipales de tratamiento en operación, con una capacidad total instalada de 140,142.08 L/s, las que daban tratamiento a 99,750.23 L/s, equivalentes al 47.5 por ciento del agua residual generada y colectada en los sistemas municipales de alcantarillado del país. Al cierre de 2013 el registro de plantas en operación disminuyó a 2,287 instalaciones, pero aumentó su capacidad instalada de 152,171.88 L/s y el caudal tratado de 105,934.85 L/s, que significa incrementos en el ejercicio del 8.6 por ciento en cuanto a capacidad instalada y de 6.2 por ciento en caudal tratado, que permitieron alcanzar una cobertura

nacional de tratamiento de aguas residuales municipales del 50.2 por ciento en el ejercicio” (CONAGUA, 2015).

Probablemente, si las PTAR fueran administradas por un patronato vecinal los beneficios que les reportaran a los ciudadanos, además de los ambientales serían también económicos.

Si los organismos estatales operadores de agua ejercieran de manera más eficiente su papel de rectores en la gestión de las PTAR, disminuyendo el subejercicio de su capacidad instalada y analizaran la problemática de las instalaciones dando propuestas de ahorro energético los beneficios serían mayores.

Esta subutilización representa una ineficiencia operativa del 30.4 %. Además, al estar trabajando por debajo de la capacidad instalada se tienen consecuencias adversas al ambiente pues se desaprovecha un porcentaje significativo de la capacidad para la remoción de contaminantes.

Este indicador, de atenderse buscando su disminución, daría un mejor aprovechamiento de la infraestructura instalada y, al combinarse con la optimización del uso de la **EE**, permitiría obtener ahorros con una mínima inversión.

De la Tabla 1-3 se observa que solamente el 32.4% de los municipios cuenta con el tratamiento de sus aguas residuales lo que, aunado a la subutilización de la infraestructura de las PTAR, coloca a México en una muy baja atención a la remoción de contaminantes, con el consecuente deterioro ambiental.

1.1.2. Energía eléctrica

El proveer un recurso como la **EE** representa un reto que aún no se domina completamente al encontrarse las subestaciones generadoras operando en los límites de su capacidad, lo que ha requerido que se favorezcan proyectos financiados de ahorro de energía.

Tabla 1-3. Municipios con servicio de tratamiento de aguas residuales por entidad federativa y registrada por el último censo del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática con datos actualizados (INEGI, 2012)

Agua potable y saneamiento			
Municipios y delegaciones según disponibilidad del servicio de tratamiento de aguas residuales municipales por entidad federativa, 2012			
(Número de municipios y delegaciones)			
Entidad federativa	Total de municipios y delegaciones	Con servicio de tratamiento de aguas residuales	Sin servicio de tratamiento de aguas residuales
Estados Unidos Mexicanos	2457	797	1641
Aguascalientes	11	11	0
Baja California	5	5	0
Baja California Sur	5	5	0
Campeche	11	2	9
Coahuila de Zaragoza	38	10	27
Colima	10	10	0
Chiapas ^b	118	15	100
Chihuahua	67	36	31
Distrito Federal	16	16	0
Durango	39	24	14
Guanajuato	46	33	12
Guerrero	81	17	63
Hidalgo	84	19	64
Jalisco	125	72	52
México ^b	125	54	66
Michoacán de Ocampo	113	27	84
Morélos	33	18	14
Nayarit	20	13	7
Nuevo León	51	48	3
Oaxaca	570	86	484
Puebla	217	33	183
Querétaro	18	14	4
Quintana Roo	10	9	1
San Luis Potosí	58	13	45
Sinaloa	18	17	1
Sonora	72	45	27
Tabasco	17	17	0
Tamaulipas	43	22	21
Tlaxcala	60	20	40
Veracruz de Ignacio de la Llave ^b	212	54	157
Yucatán	106	2	104
Zacatecas	58	30	28

La energía eléctrica es un insumo indispensable para toda empresa. Por lo que, a partir de 1994 como consecuencia de la crisis económica y la competitividad internacional, la Comisión Federal de Electricidad se ha visto obligada a aplicar ajustes continuos para satisfacer sus costos reales de generación, transmisión, conducción, distribución, mantenimiento y venta, provocando un impacto económico que está erosionando cada vez más a las economías empresariales.

El incremento en los costos de la energía eléctrica ha sido tan significativo que cualquier industria en condiciones de producción semejantes a las de 1995, en Septiembre de 2015 está pagando, **7.9** veces más por el costo de la Demanda Máxima Facturable y por concepto de Consumo de EE **8.6** veces más. Ver Tabla 1-4. (EMPRESA, 2015).

Tabla 1-4. Costo de la energía eléctrica EE en 1995 y 2015 (tarifa de media tensión HM)

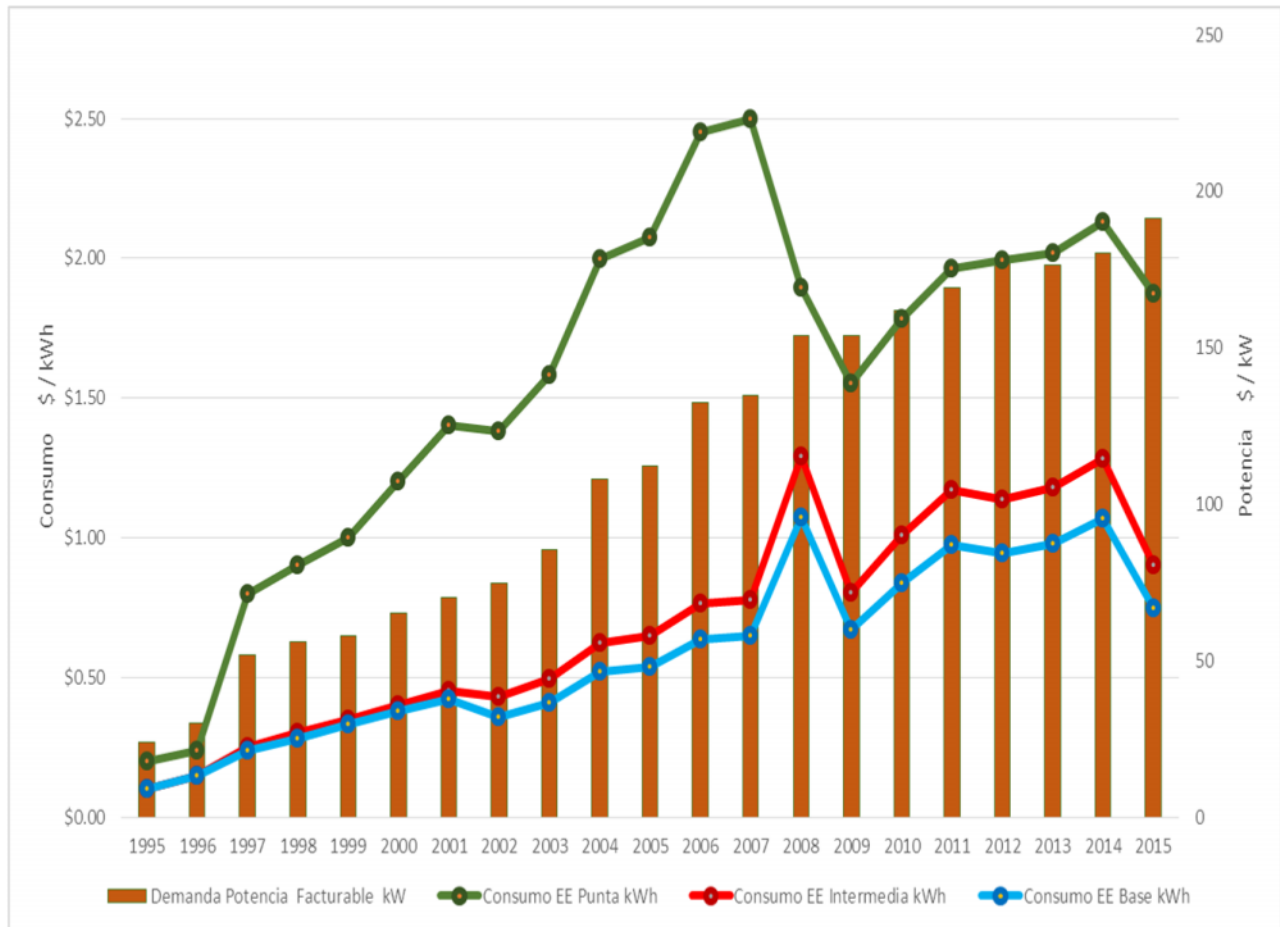
	Potencia Demanda facturable, kW	Consumo EE punta, kWh	Consumo EE intermedia, kWh	Consumo EE base, kWh
1995	\$24.00	\$0.2000	\$0.1000	\$0.1000
2015	\$191.27	\$1.8748	\$0.8993	\$0.7482

Adicionalmente, y de acuerdo con el histórico en las políticas energéticas nacionales, los precios por energía eléctrica seguirán incrementándose continuamente, provocando fuerte impacto en toda la economía del país. Es de resaltar que el costo por consumo refleja una disminución atípica en lo que va del año 2015 ocasionada por las bajas en los costos del barril de petróleo ya que la electricidad se produce mayoritariamente en plantas termoeléctricas (Tabla 1-5). No obstante y con base en lo anterior, resulta de vital importancia aplicar métodos y medidas que conduzcan a reducir los consumos y demandas de energía eléctrica, con lo que se lograría también reducir costos.

Tabla 1-5. Porcentaje de variación del costo de la energía eléctrica 2014 a 2015

Potencia Demanda facturable, kW	Consumo EE punta, kWh	Consumo EE intermedia, kWh	Consumo EE base, kWh
6.1	-11.9	-30.0	-30.0

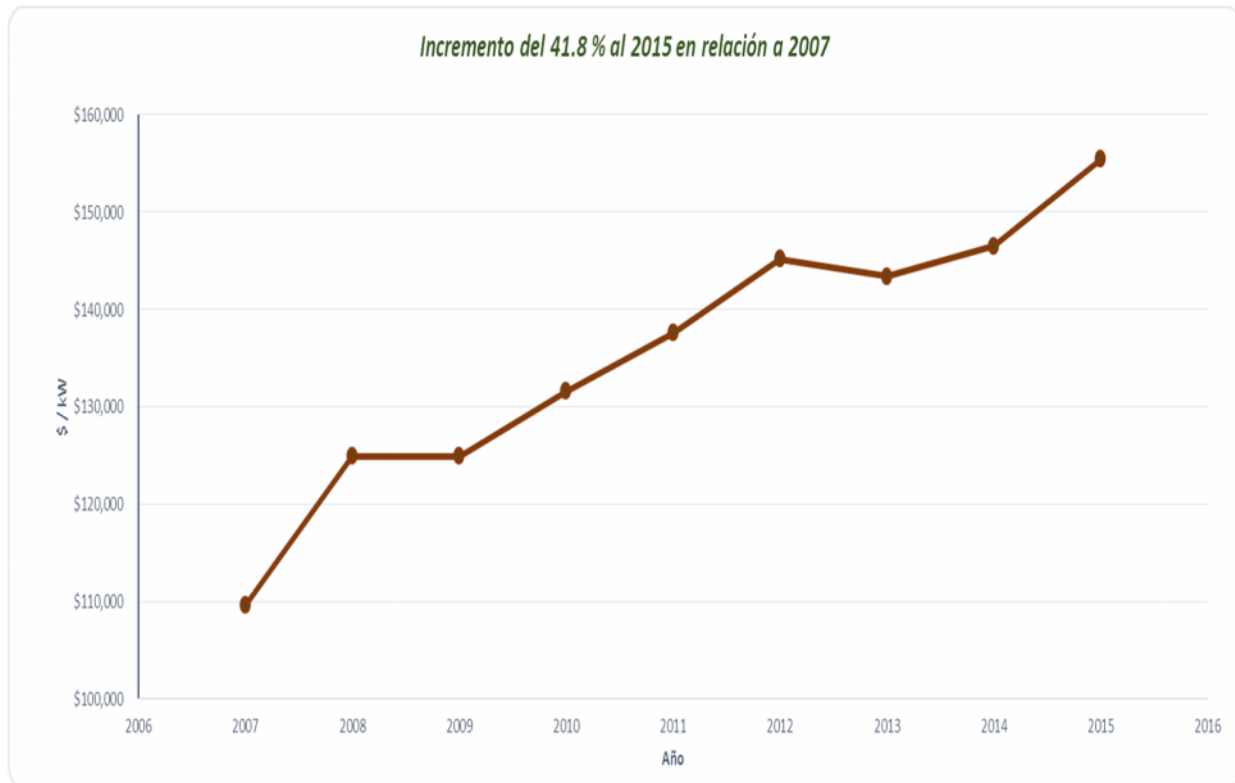
La Gráfica 1-1 presenta la evolución de diciembre de 1995 a septiembre del 2015 del costo unitario de la potencia eléctrica (kW). Un comportamiento semejante se observa en el costo de la energía en kWh en la tarifa general de Media Tensión HM.



Gráfica 1-1. Evolución del costo por consumo de EE y por demanda de potencia (EMPRESA, 2015)

Muy probablemente, para el sector industrial el impacto de costos de la energía eléctrica será cada día mayor. Por ello, los proyectos de ahorro de energía son hoy en día de vital importancia. Cada unidad de energía que pueda ahorrarse y no se tome en cuenta se pagará a un costo mayor, repercutiendo negativamente en el global de los costos de producción.

El efecto del aumento en el precio de la energía eléctrica implica un aumento en los costos de producción de toda empresa. El efecto del incremento para una demanda máxima de 812 kW (promedio registrado en 2011 en la PTAR Atapaneo) se aprecia en la Gráfica 1-2. Como lo demuestran los valores registrados el aumento del precio del 2007 (año de inicio de operación de la PTAR) a Septiembre de 2015 ha sido del 41.8 %.



Gráfica 1-2. Evolución del costo de la demanda de potencia (EMPRESA, 2015)

Con esta tendencia el ahorro de energía se convierte en una estrategia fundamental para el control de gastos y mantener la competitividad de una empresa. En esta investigación se tomará como estudio de caso una planta específica ubicada en Atapaneo, Michoacán, México.

1.2. Objetivos

Los objetivos de esta investigación obtenida a partir de la práctica profesional son los siguientes:

1.2.1. General

Proponer una estrategia para el mejoramiento económico en las PTAR que implementen medidas de ahorro en el consumo eléctrico

1.2.2. Específicos

Proponer una metodología de análisis e implementación de actividades para la optimización del uso de un recurso, energía eléctrica (EE), que en este tipo de PTAR representa un costo operativo de alrededor del 40 al 60% de lo que se tiene que pagar periódicamente.

Involucrar al personal operativo de las PTAR a través de su capacitación y entrenamiento, para que su participación sea productiva y contribuya al uso eficiente de la EE.

Dar los elementos necesarios a través de este informe a los interesados, para que valoren e identifiquen las principales oportunidades de ahorro y conservación de la energía en términos energéticos y financieros.

1.3. Alcances

Estos beneficios, en una primera instancia, serían registrados por la compañía operadora debiendo, en una condición ideal, extenderse a la comunidad a la que le da servicio reduciendo las tarifas de costo de tratamiento del agua. Al aplicar la propuesta se lograría como resultado un ahorro económico.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Uso de la energía eléctrica en plantas de tratamiento de aguas residuales

En la recopilación de información para optimizar una PTAR es necesario registrar el comportamiento de ingreso del agua de influente a la planta para adecuar el tratamiento principalmente el biológico a las actividades operativas (en los casos que aplique).

Para la **Comisión Federal Electricidad (CFE)** de México la demanda de EE es un factor clave para su operación. Se tiene implementado el otorgar financiamiento para que las instalaciones sean modernizadas y puedan disfrutar de un apoyo económico para concretar proyectos inmersos en el ahorro.

Otro factor a considerar, en la Tarifa de media tensión HM, es el horario de la CFE en función a sus definiciones y tarifas (demanda facturable, tarifa base, intermedia y punta) relacionándolas con las actividades a realizar en la planta y que se pueden mover de acuerdo con la optimización de los recursos.

Los factores a tomar en cuenta para la optimización operativa que impactarán en el ahorro energético son los siguientes:

- **Control de demanda de potencia eléctrica**
- **Control del consumo de energía**
- **Cambio a motores eléctricos de alta eficiencia**
- **Eficiencia operativa global**

Es evidente que ante el incremento acelerado de los costos de la energía eléctrica es prioritaria la necesidad de reducir su impacto en los costos operativos. Una de las opciones más adecuadas para lograrlo es controlar la demanda máxima de potencia eléctrica.

El conocimiento de la curva de demanda de potencia es de gran utilidad para definir las posibilidades de controlarla y mantener a su nivel mínimo la facturación mensual por el servicio eléctrico y, por otra parte, para utilizar las posibilidades de ahorrar energía eléctrica cuando se tienen desperdicios de la misma.

Las observaciones sobre la facturación eléctrica y del proceso productivo permiten inferir oportunidades de ahorro. Sin embargo, para controlar la demanda máxima es importante conocer cuáles son las cargas o equipos básicos para el desarrollo de las actividades en el proceso o trabajo, y aquellas que operan de forma periódica o esporádica. Por otro lado, debe medirse la potencia que aporta cada una de estas cargas a la demanda máxima de facturación.

En el control de demanda es importante asignar prioridades a las actividades que deben realizarse. Por ejemplo, un equipo en términos de la productividad da lo mismo que opere a las 8:00 h, o a las 17:00 h o tal vez por la madrugada. No obstante, para el costo energético no es lo mismo, ya que operar en horas punta el costo de la EE es mayor que en horas base o intermedias. Igualmente, agregar cargas no prioritarias en el momento de máxima demanda eléctrica implica incrementar en forma considerable el costo pagado por electricidad.

Los motores eléctricos son los usuarios de mayor consumo de energía eléctrica en la planta. Los principales consumidores de la planta corresponden a los motores de las bombas y a los motores de los soplores, principalmente. La eficiencia de un motor es la relación entre la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada. Se puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia mecánica de salida}}{\text{Potencia eléctrica de entrada}} \quad (2-1)$$

Para mejorar la eficiencia se deben disminuir las pérdidas en el motor. Esto se logra con el cambio de diseño, materiales de alta calidad y un mejor proceso de fabricación. Los motores de alta eficiencia a determinada carga entregan mayor o igual cantidad de trabajo con menor consumo de energía que un motor estándar.

Ejemplificando, un motor es de alta eficiencia (Figuras 2-1, 2-2):

- Sí el **ventilador** es ligero y sí su diseño es aerodinámico se tienen bajas pérdidas debidas a la fricción.
- Sí es de **acero al silicio** se reducen las corrientes de Eddy, reduciendo las pérdidas del campo magnético.

- a) La circulación de corriente eléctrica a través de un embobinado genera un campo magnético alrededor de la bobina. Cuando la bobina está cerca de un material eléctricamente conductor, se inducen corrientes de Eddy en el material.

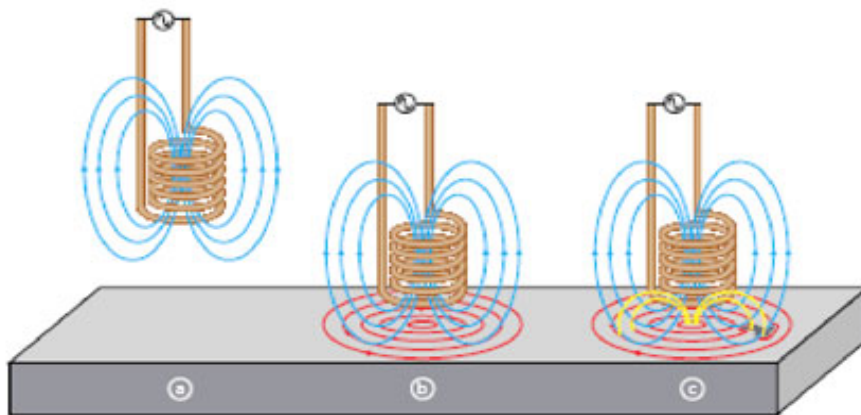


Figura 2-1. Inducción de corrientes de Eddy (Anónimo, 2015a)

- b) Sí una falla en el material conductivo perturba la circulación de la corriente Eddy, el campo magnético asociado es cambiado y una señal defectuosa se puede leer al medir la impedancia del embobinado.

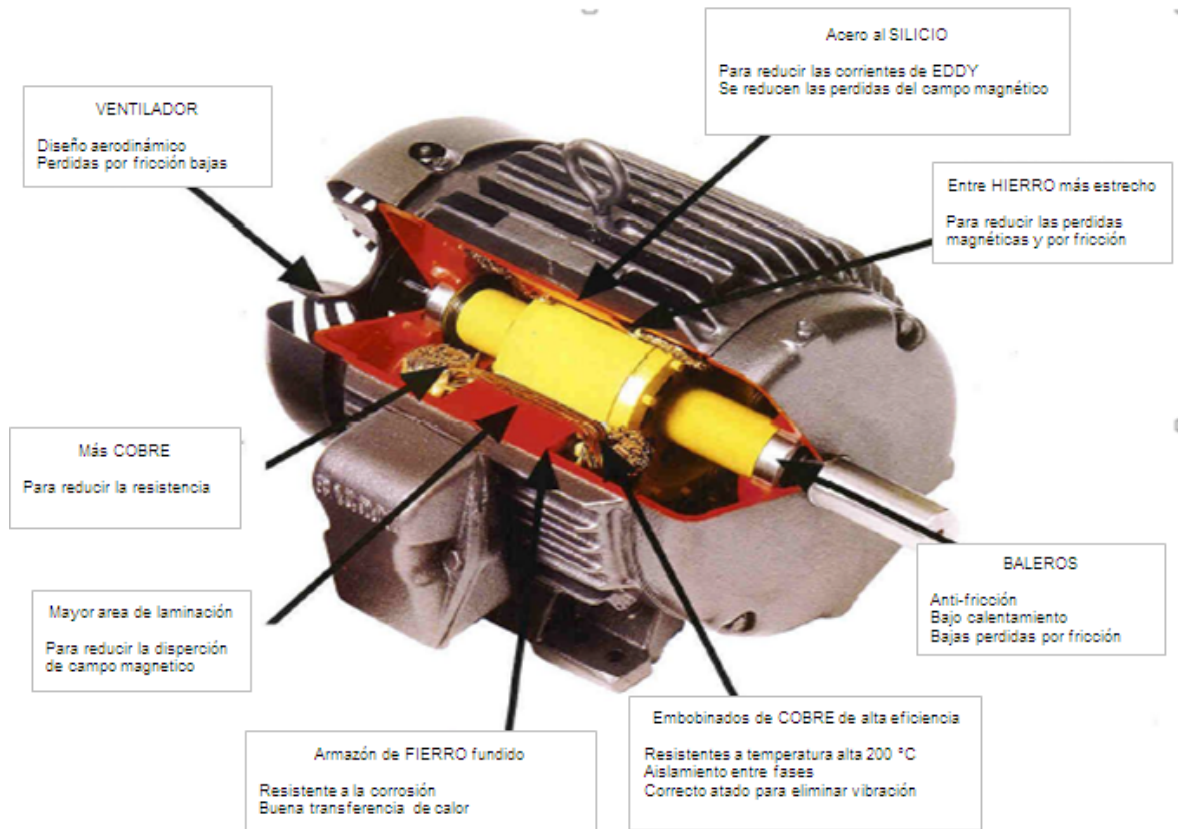


Figura 2-2. Motor de alta eficiencia (Anónimo, 2015b)

- **Entrehierro más estrecho.** Reduce las pérdidas magnéticas y por fricción.
- **Más cobre.** Más cobre reduce la resistencia a la corriente al reducir las pérdidas por flujo de corriente.
- **Mayor área de laminación.** Con esto se reduce la dispersión de campo.
- **Armazón de hierro fundido.** Resistente a la corrosión, excelente disipación, acabado preciso para mejorar la transferencia de calor.
- **Embobinados de cobre de alta eficiencia.** Resistentes a la temperatura hasta 200 °C. Correcto aislamiento entre las fases. Atado de cabezas para eliminar vibraciones.

- **Baleros antifricción.** Bajo calentamiento. Bajo ruido. Pocas pérdidas por fricción.

2.2. Operación de la planta de tratamiento de aguas residuales usada como ejemplo

La PTAR Atapaneo opera mediante el proceso convencional de lodos activados (Durán-de-Bazúa, 1994). El corazón de esta planta es el reactor bioquímico, el cual se compone de cinco elementos:

- El tanque de aeración (conceptualizado como reactor perfectamente agitado),
- El sistema de aeración,
- El sedimentador llamado secundario,
- La línea de recirculación de lodos o microorganismos activos,
- La línea de purga del exceso de lodos o microorganismos activos.

El agua residual libre de grasas, sólidos gruesos, finos y arenas, conteniendo solamente contaminantes disueltos y en forma coloidal que no pudieron ser separados físicamente, entra al tanque de aireación donde se pone en contacto con los microorganismos y el aire con objeto de lograr una transformación de los contaminantes disueltos y coloidales en nueva biomasa de microorganismos que puedan precipitarse y separarse del agua residual en el sedimentador secundario. A la mezcla de microorganismos con el agua residual en tratamiento se le conoce como licor mezclado.

El proceso de los lodos activados para el tratamiento de aguas residuales está basado en proporcionar un contacto íntimo entre los contaminantes y los lodos biológicamente activos. Los lodos se desarrollan inicialmente por una aireación prolongada bajo condiciones que favorecen el desarrollo de organismos que tienen la habilidad especial de oxidar aerobiamente la materia orgánica biodegradable.

Los microorganismos aprovechan la materia inerte y los restos de células muertas y uniéndose principalmente por medio de exopolímeros formados por carbohidratos

(mananas y glucanas principalmente), forman pequeñas unidades con diámetros que van de 0.5 a 3.0 mm conocidas como “flóculos” o “flocs” los cuales en realidad son “consorcios” microbianos y que, a su vez, realizan un fenómeno de absorción de la materia contaminante y la degradan en su interior. Al mismo tiempo realizan la adsorción sobre las partículas en suspensión y los coloides que tienden a coagularse. Una vez que se suspende el mezclado para permitir formar un precipitado más denso que el agua permite que se sedimente con bastante rapidez (Durán-de-Bazúa, 1994; Metcalf & Eddy®, 2003; Tchobanoglous, 2003).

Es necesario un control de operación que permita asegurar un suministro suficiente de oxígeno, que exista un contacto íntimo y un mezclado continuo de las aguas residuales y de los lodos (microorganismos) y que la relación del volumen de los lodos activados agregados al volumen de aguas residuales que están bajo tratamiento se mantenga prácticamente constante. Existen muchas variantes de este proceso, pero en esencia todas contienen estos cinco elementos. Las diferencias están dadas por la forma en la que se alimenta el agua residual y se recirculan y se purgan los lodos. La Figura 2-3 muestra un ejemplo de este proceso.

En la Tabla 2-1 se observan los intervalos promedio de remoción de contaminantes en aguas residuales de origen municipal de este tipo de tecnología (Metcalf & Eddy®, 2003; Tchobanoglous, 2003).

Los microorganismos que contiene este lodo activado degradan la materia orgánica del proceso para terminar con el tratamiento del agua residual. Estos microorganismos necesitan tener ciertas condiciones ambientales para trabajar de manera óptima, necesitan tener oxígeno, una temperatura tibia y un pH ligeramente alcalino (Figura 2-4). Este lodo activado logra la degradación de la materia orgánica disuelta por medio de reacciones que tienen como principal motor el oxígeno.

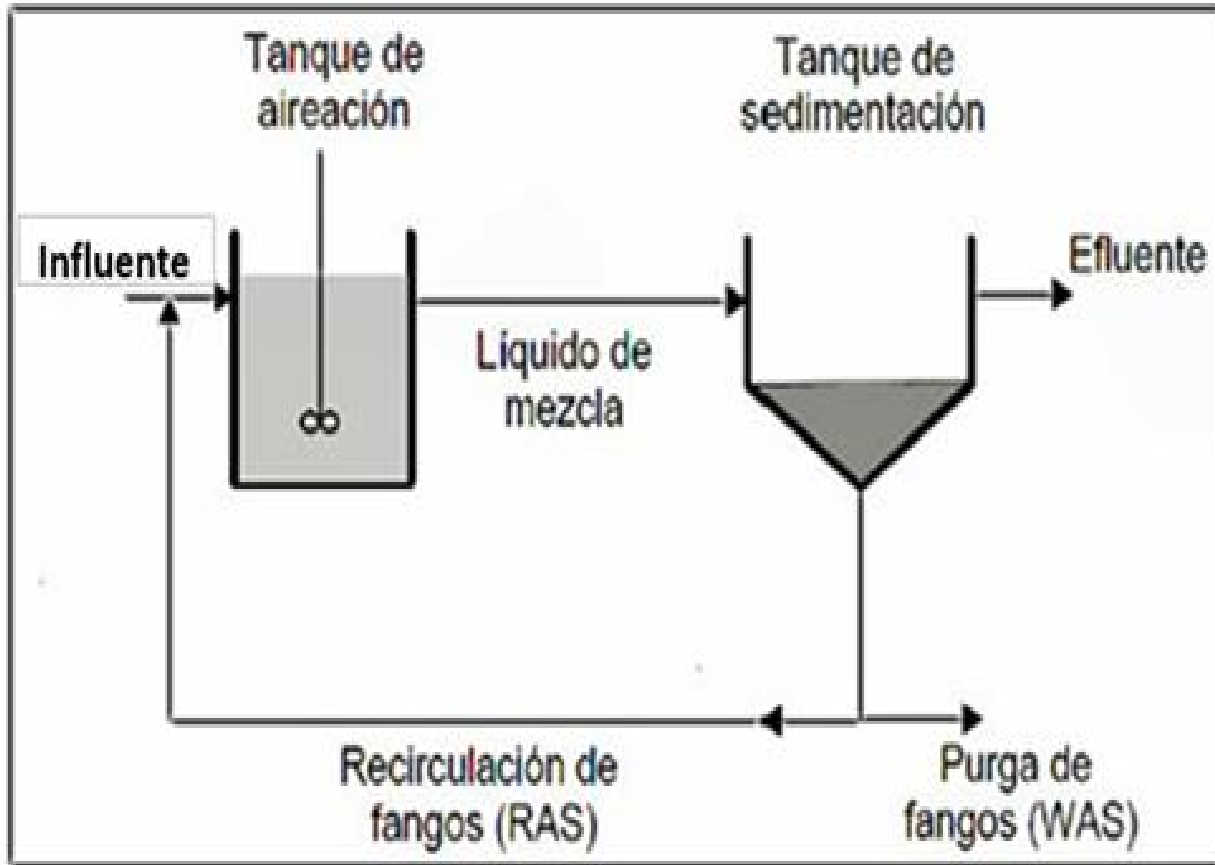


Figura 2-3. Esquema del proceso convencional de lodos activados (Anónimo, 2015c)

Tabla 2-1. Intervalos de remoción promedio del proceso de lodos activados (Metcalf & Eddy®, 2003; Tchobanoglous, 2003)

Demanda bioquímica de oxígeno, DBO_5	90-95%
Sólidos suspendidos totales, SST	85-95%
Nitrógeno total	15-30% tratamiento secundario
	70-90% con desnitrificación
Fósforo	10-25% tratamiento secundario
	70-90% Incluyendo remoción adicional de N y P
Coliformes fecales	60-90%

En la Figura 2-4 se presentan las reacciones principales que se llevan a cabo dentro de un sistema de lodos activados. La microbiología de esta parte del proceso presenta principalmente bacterias y protozoarios como agentes descontaminantes del agua.

Dentro de ellos se tienen grupos de microorganismos rotíferos, ciliados y filamentosos (Metcalf & Eddy®, 2003; Tchobanoglous, 2003). En la Figura 2-5 se presentan algunas microfotografías de la literatura (Anónimo, 2015d). Este proceso presenta las siguientes ventajas y desventajas.

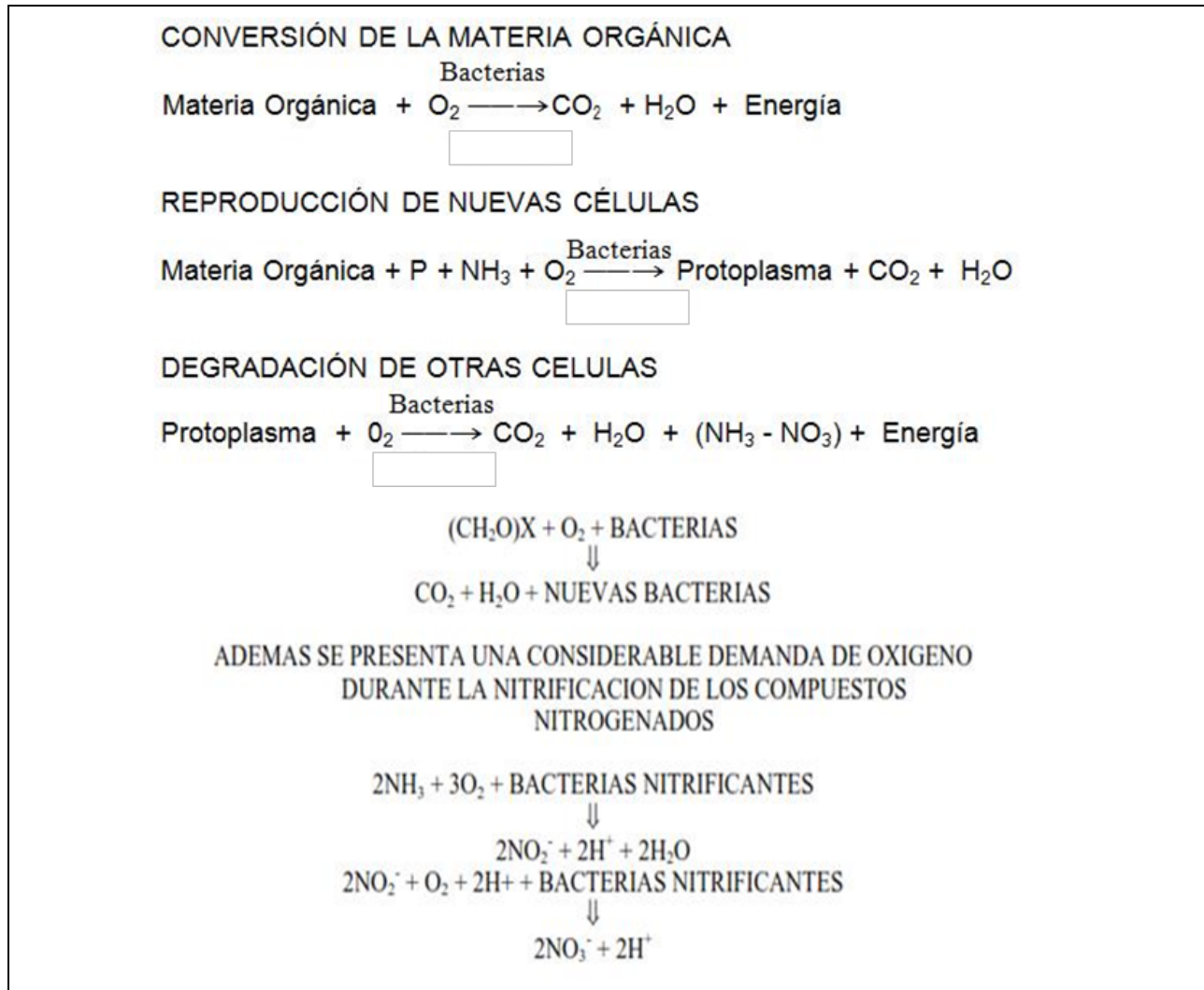


Figura 2-4. Microorganismos principales en un sistema de lodos activados (Jenkins y col., 1993)

Ventajas:

- Costos de inversión inicial menores que otros tipos de tratamientos biológicos.
- Su confiabilidad es alta y remueve altas concentraciones de material orgánico biodegradable disuelto y coloidal incluidos compuestos volátiles y sólidos

disueltos totales medido como demanda bioquímica de oxígeno, DBO₅.

- Remueve adicionalmente nitrógeno y fósforo.

Desventajas:

- La capacidad de carga orgánica es limitada.
- Requiere de una aireación continua, lo que se traduce en altos costos de operación por concepto de energía eléctrica.
- Existe la alta probabilidad de que se formen aerosoles por la aireación que transportan a la atmósfera contaminante peligrosos, especialmente si el agua residual contiene organismos patógenos y el reactor se encuentra abierto a la atmósfera, como comúnmente ocurre.

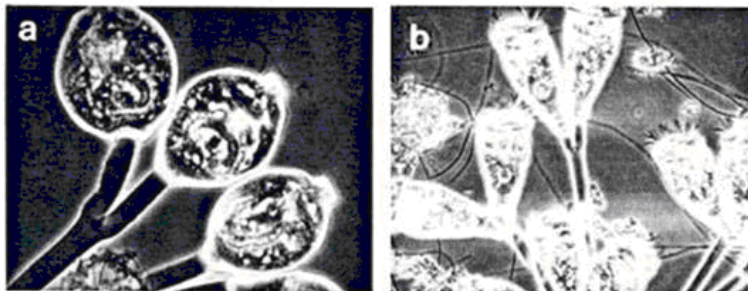


Figura 2-5. Microfotografías de los principales organismos invertebrados encontrados comúnmente en el lodo activado (a y b, rotíferos; c, nematodos) y de los ciliados encontrados comúnmente en el lodo activado (a, Opercularia spp.; b, Epistylis spp.) (Anónimo, 2015d)

A continuación, en el siguiente capítulo se presenta la metodología seguida en este Informe de la práctica profesional.

Capítulo 3

Metodología

3.1. Antecedentes

Desde el inicio de su operación, el servicio de energía eléctrica para la PTAR Atapaneo, ha sido suministrado por la **Comisión Federal de Electricidad, CFE**.

Se cuenta con una acometida de 13,200 V en media tensión para alimentar al transformador y este mismo la reduce a 480/277 V en baja tensión para hacer la distribución de energía a los equipos en operación. Dado que se desea proponer una metodología de análisis, diagnóstico e implementación de actividades para optimizar el uso de la energía eléctrica que, en este tipo de PTAR, representa un costo operativo de alrededor del 40 al 60% de lo que se tiene que invertir es importante que, adicionalmente, se considere el rubro de mantener entrenados a los operadores de este tipo de PTAR para que su participación sea productiva y contribuya al uso eficiente de la EE.

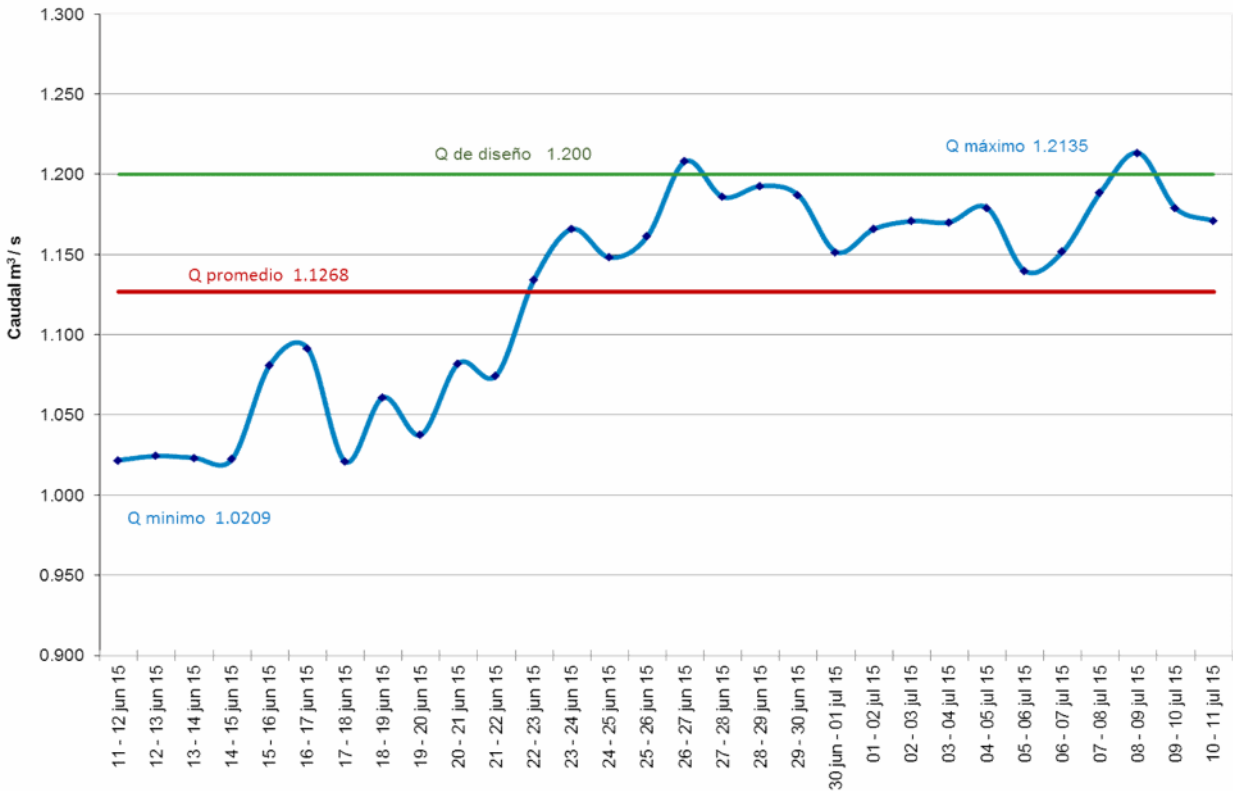
En la recopilación de información para optimizar una PTAR es necesario registrar el caudal así como las características físico - químicas y microbiológicas de ingreso del agua residual (influyente a la planta), para adecuar el tratamiento biológico a las actividades operativas. Y cumplir con la calidad comprometida en el efluente de la planta. La Tabla 3-1 presenta los parámetros principales de calidad a seguir comparándolos con los valores de licitación especificados en el **Contrato de Prestación de Servicios CPS**. También se puede observar el comportamiento de la eficiencia en el % de remoción de contaminantes medidos como DBO₅, SST, N₂ tot, DQO y P tot. Y la Gráfica 3-1 muestra el comportamiento típico de un periodo de 30 d, en el caudal del efluente de la PTAR, comparándolo con el caudal de diseño que es de 1.2 m³/d.

Tabla 3-1. Calidad en el influente y efluente

EFICIENCIA EN CALIDAD DE AGUA TRATADA										
DATOS DE LABORATORIO EXTERNO ACREDITADO ANTE EMA		I N F L U E N T E								VALORES DE LICITACIÓN
DBO5	mg / L	148.5	104.8	47.4	80.8	115.0	133.5	85.3	102	300
DQO	mg / L	301.8	247.5	295.0	184.3	261.7	185.0	160.7	234	500
SST	mg / L	134.4	145.5	117.1	131.8	113.3	102.5	67.7	116	355
FÓSFORO	mg / L	4.7	4.6	4.4	2.5	5.0	3.8	3.8	4	20
NITRÓGENO	mg / L	42.6	39.2	32.7	21.0	32.5	23.1	24.8	31	48
DATOS DE LABORATORIO EXTERNO ACREDITADO ANTE EMA		E F L U E N T E								L.M.P. DE ACUERDO AL CPS
DBO5	mg / L	8.4	8.4	6.1	2.3	2.1	14.4	2.9	6	75
DQO	mg / L	34.7	23.5	32.9	27.3	22.4	33.2	25.6	29	100
SST	mg / L	11.0	6.0	8.5	15.0	10.5	10.5	12.5	11	75
FÓSFORO	mg / L	0.9	0.5	2.2	0.4	0.7	0.3	0.4	1	20
NITRÓGENO	mg / L	7.7	5.9	15.2	6.7	9.7	3.7	5.1	8	40
EFICIENCIAS REMOCIÓN Y CUMPLIMIENTO CPS		E F I C I E N C I A S D E C A L I D A D								MINIMO REC.
DBO5	%	94.4%	92.0%	87.2%	97.2%	98.1%	89.2%	96.6%	93.5%	80%
DQO	%	88.5%	90.5%	88.8%	85.2%	91.4%	82.1%	84.1%	87.2%	80%
SST	%	91.8%	95.9%	92.7%	88.6%	90.7%	89.8%	81.5%	90.2%	80%
FÓSFORO	%	81.8%	88.6%	49.5%	83.7%	85.4%	91.5%	89.3%	81.4%	80%
NITRÓGENO	%	81.9%	85.0%	53.4%	68.1%	70.3%	84.2%	79.4%	74.6%	80%

Como ya se mencionó, otro factor a considerar son los horarios establecidos por la CFE en función a sus definiciones y tarifas (demanda de potencia facturable, base, intermedia y punta,) de la tarifa HM en media tensión, para relacionarlas a las actividades de la planta para que puedan moverse de horario buscando mejorar la economía del presupuesto.

Para la CFE, la demanda de potencia de EE es un factor clave para su operación, por lo que se tienen implementados financiamientos para que las instalaciones sean modernizadas y que disfruten de un apoyo económico para concretar proyectos inmersos en el ahorro. La Tabla 3-2 muestra los costos del 2007 al 2015 para las tarifas para la demanda facturable, \$ / kW y para los consumos de EE en los horarios punta, intermedio y base, \$ / kWh. Y la Tabla 3-3 indica los horarios punta, intermedio y base para la Tarifa HM de la CFE.



Gráfica 3-1. Ejemplo del caudal de agua residual tratada (en el lapso del 11 de junio al 10 de julio de 2015 en la planta en estudio)

La Gráfica 3-2 representa el caudal tratado por día en donde podemos observar el rango en que se mueve el flujo de su mínimo a su máximo.

La Gráfica 3-3 muestra el caudal tratado con el costo de la EE para el periodo del 2007 al 2015. En ellas se observa un aumento del caudal del efluente y también un incremento en el costo de la EE, excepto para lo que va del 2015, que es un comportamiento atípico en la EE con respecto al histórico y para el caudal por mantenimiento en reactores.

Tabla 3-2. Costo de potencia y consumo de EE

		Costo			
		Potencia	Consumo EE		
		Demanda Facturable	Punta	Intermedia	Base
		kW	kWh		
Septiembre	2007	\$134.8600	\$2.4958	\$0.7791	\$0.6478
	2008	\$153.7000	\$1.8955	\$1.2898	\$1.0728
	2009	\$153.7200	\$1.5524	\$0.8039	\$0.6688
	2010	\$161.9700	\$1.7814	\$1.0081	\$0.8388
	2011	\$169.3100	\$1.9612	\$1.1705	\$0.9740
	2012	\$178.6700	\$1.9945	\$1.1360	\$0.9452
	2013	\$176.4400	\$2.0182	\$1.1778	\$0.9799
	2014	\$180.2900	\$2.1287	\$1.2841	\$1.0684
	2015	\$191.2700	\$1.8748	\$0.8993	\$0.7482

3.2. Aplicación de la metodología

Preparar la siguiente información:

*** Descripción de la PTAR objeto de estudio**

- I. Operaciones unitarias del proceso, equipos implicados, funcionamiento y consumo energético.
- II. Establecimiento del programa de operación de equipos basado en:
 - a) Del caudal de influente (agua residual);
 - b) De la necesidades de oxígeno en el reactor aerobio;
 - c) De la disminución de la demanda de potencia energética en horario punta (definido por CFE), proponiendo reprogramar actividades en horario base o intermedio preferentemente.

Tabla 3-3. Horarios Base, Intermedio y Punta para la tarifa en media tensión HM

Regiones Central, Noreste, Noroeste, Norte, Peninsular y Sur

Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre

DÍA DE LA SEMANA	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 20:00 22:00 - 24:00	20:00 - 22:00
sábado	0:00 - 7:00	7:00 - 24:00	
domingo y festivo	0:00 - 19:00	19:00 - 24:00	

Del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril

DÍA DE LA SEMANA	BASE	INTERMEDIO	PUNTA
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00
sábado	0:00 - 8:00	8:00 - 19:00 21:00 - 24:00	19:00 - 21:00
domingo y festivo	0:00 - 18:00	18:00 - 24:00	

* Elaboración de un diagnóstico energético

Incluye el establecimiento de la lista de equipos instalados en la PTAR, la cantidad de equipos, la demanda de potencia y el consumo eléctrico de cada uno.

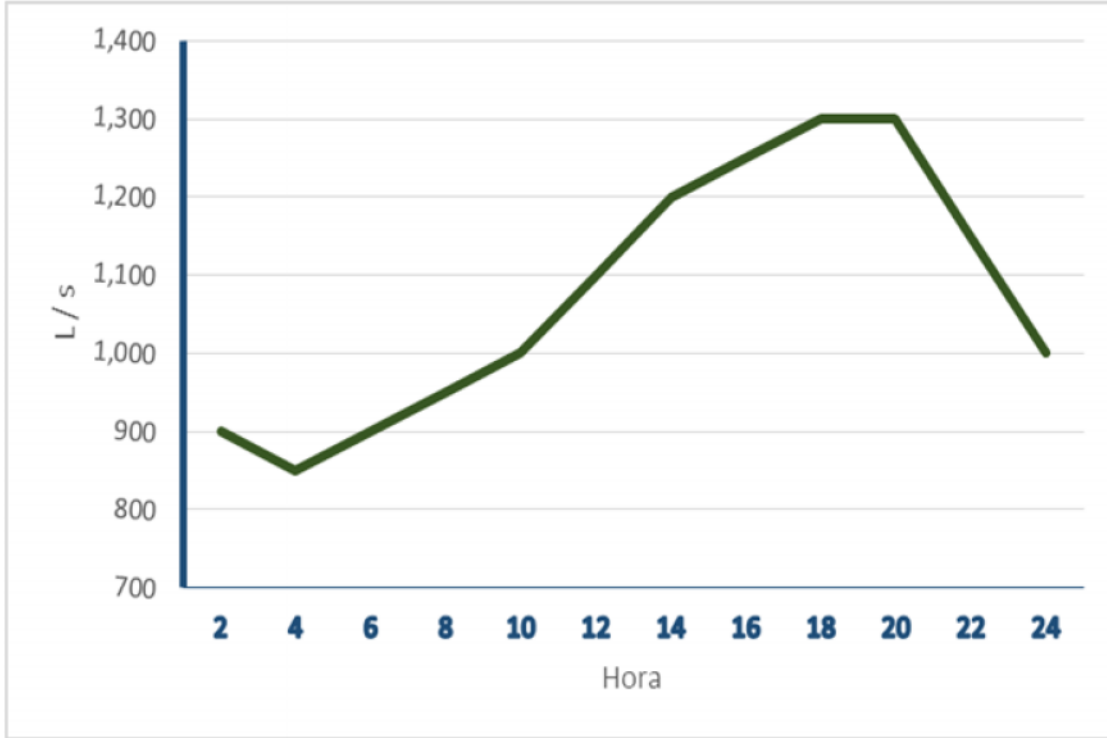
* Cálculos para determinar consumo y costo de EE

Tabla con la lista de equipos usuarios de:

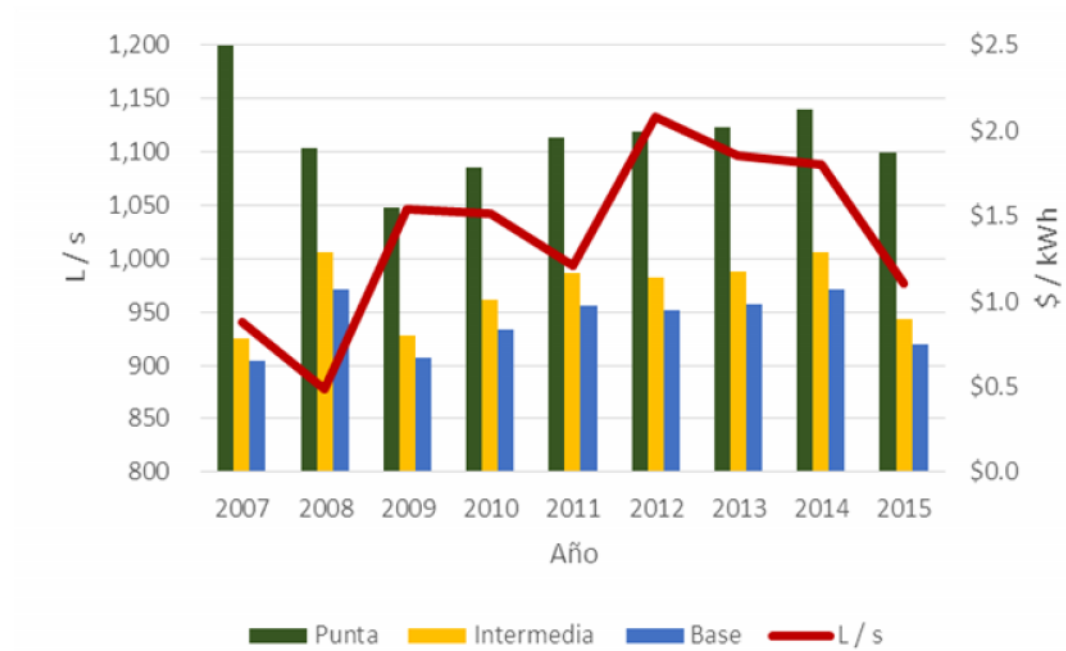
- I. Demanda de potencia, kW. Cálculo que está en función de los equipos en operación al mismo tiempo.
- II. Consumo de energía eléctrica, kWh. Cálculo que está en función del tiempo de operación de los equipos.

Se tienen columnas que indican:

- a) Equipo instalado por diseño
- b) Equipo en operación para cumplimiento de proceso



Gráfica 3-2. Caudal diario en la PTAR Morelia, Atapaneo, México



Gráfica 3-3. Caudal y costo de EE unitario en la PTAR Morelia, Atapaneo, México

- d) Equipo en operación óptimo
- e) Equipo en operación después del cambio de equipo de alta eficiencia y/o tecnología

*** Tabla del tiempo disponible para demanda de potencia y consumo de energía eléctrica en función de los horarios Punta, Intermedio y Base definidos por la CFE para sus tarifas en media tensión HM.**

Indicando:

- + Tiempo de consumo de EE semanal.
- + Tiempo de consumo de EE anual.
- + Tabla de horarios Punta, Intermedio y Base.

Para los dos periodos:

- + Uno de abril a octubre (7 meses) y
- + El otro de noviembre a marzo (5 meses).

*** Tabla de tarifas promedio en función de los horarios (P, I, B).**

*** Tabla del costo por kWh.**

*** Tabla indicando demanda de potencia, consumo de energía eléctrica y su costo con columnas para:**

I. Equipo en operación de diseño para cumplimiento de proceso.

II. Equipo en operación óptimo.

III. Equipo en operación después del cambio de equipo de alta eficiencia y / o tecnología.

*** Tabla de resultados comparando ahorros (kWh, y \$kWh).**

3.2.1. Descripción de la PTAR objeto de estudio

En la PTAR Atapaneo se tiene un proceso convencional de lodos activados tipo aerobio modificado (ver Figura 3-1), el cual se describe brevemente a continuación. El agua residual llega por un colector a la PTAR, en el pretratamiento se eliminan basuras gruesas, arenas y del cárcamo de bombeo de influente se pasan por el cribado fino.

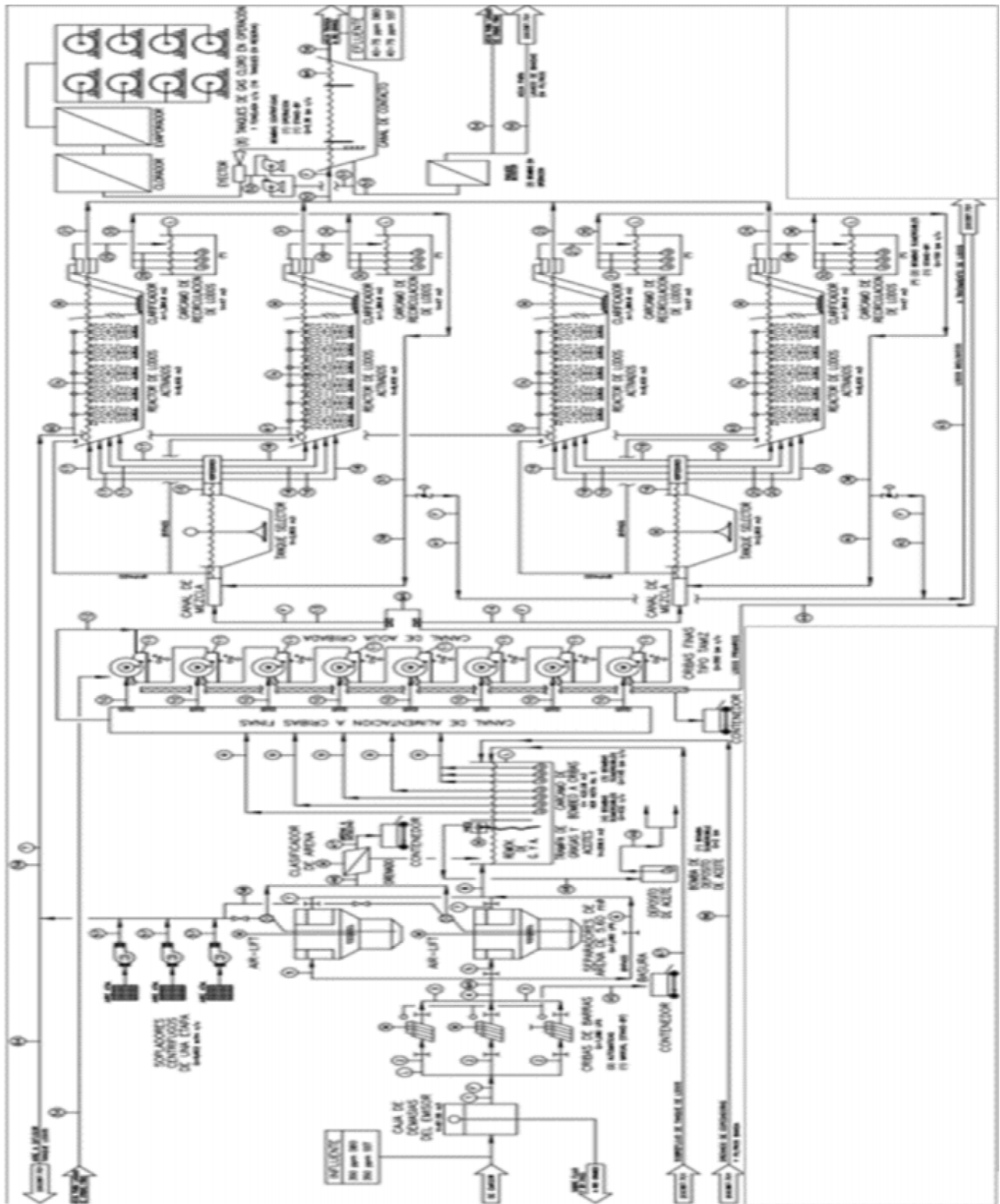


Figura 3-1. Proceso de lodos convencionales PTAR Morelia, Atapaneo, México

Posteriormente se ingresa el agua a los tanques anoxicos para pasar por los tanques de aireación, en los clarificadores se separa el agua clarificada para su desinfección y vertido al Rio Grande de Morelia. Los biosólidos sedimentados en el clarificador se recirculan al inicio del tratamiento biológico, separando el exceso de biomasa para su purgado, estabilización y deshidratado.

La PTAR motivo de este análisis tiene como operaciones de tratamiento las que se detallan abajo:

- 3.2.1.1. Pretratamiento.
 - Cribado grueso.
 - Cribado medio.
 - Cribado fino.
 - Desarenado.
- 3.2.1.2. Tratamiento biológico.
- 3.2.1.3. Tratamiento de desinfección.
- 3.2.1.4. Tratamiento de biosólidos (lodos)
 - Deshidratación de biosólidos (lodos)
 - Estabilización química.

Su descripción breve de funcionamiento y consumo energético se señalan a continuación.

3.2.2. Descripción del proceso en la PTAR Atapaneo

3.2.2.1. Pretratamiento

Consta principalmente de equipos que eliminan: Basuras, arenas y partículas finas (Figura 3-2). Se compone principalmente de los siguientes equipos:

- Cribado grueso: Se trata de un equipo de rejillas gruesas manuales instaladas en el canal del influentes antes de llegar al cárcamo de bombeo, su función es la de

eliminar basuras grandes, su limpieza se realiza de forma manual por lo que no consumen EE.

- Cribado medio: Se trata de equipos con rejillas (2) automáticas y (1) manual, su función es separar basuras de tamaño medio, la eliminación de estas se efectúa de forma de diseño incluyendo el transportador.
- Cribado fino: Se trata de un equipo rotatorio tipo tambor. Su función es la de remover sólidos finos mayores a 1mm. En este tipo de cribas automáticas se separan los residuos, tienen un tambor rotatorio en el que se retiene los sólidos que después son removidos por medio de agua a presión, los residuos son transportados mecánicamente a un contenedor para su almacenamiento temporal, después de su estabilización química, quedando preparados para su posterior disposición; se depositan en un contenedor. La Figura 3-3 ilustra este tipo de funcionamiento. Su consumo de EE es de 8.8 kWh / d. Se tienen instalados 8 cribas con una propuesta operativa de 4 en operación y 4 en reserva. El agua se vierte hacia un canal donde se envía a su tratamiento biológico.
- Desarenado: Desarenador Vortex (Figura 3-3). Este tipo de desarenadores trabaja con un flujo tipo vórtice y aprovecha las fuerzas centrífuga y gravitacional. El agua a tratar se introduce en forma tangencial y sale a través de la abertura en la parte superior del tanque. Su función es la de eliminar las partículas sólidas inorgánicas principalmente. Los sistemas para desarenar del tipo vórtice se basan en la formación de un remolino inducido mecánicamente, que captura los sólidos en la tolva central de un tanque circular. Este sistema de desarenador por vórtice incluye:
 - Cámara con un fondo inclinado y
 - Una abertura grande que lleva a la tolva.

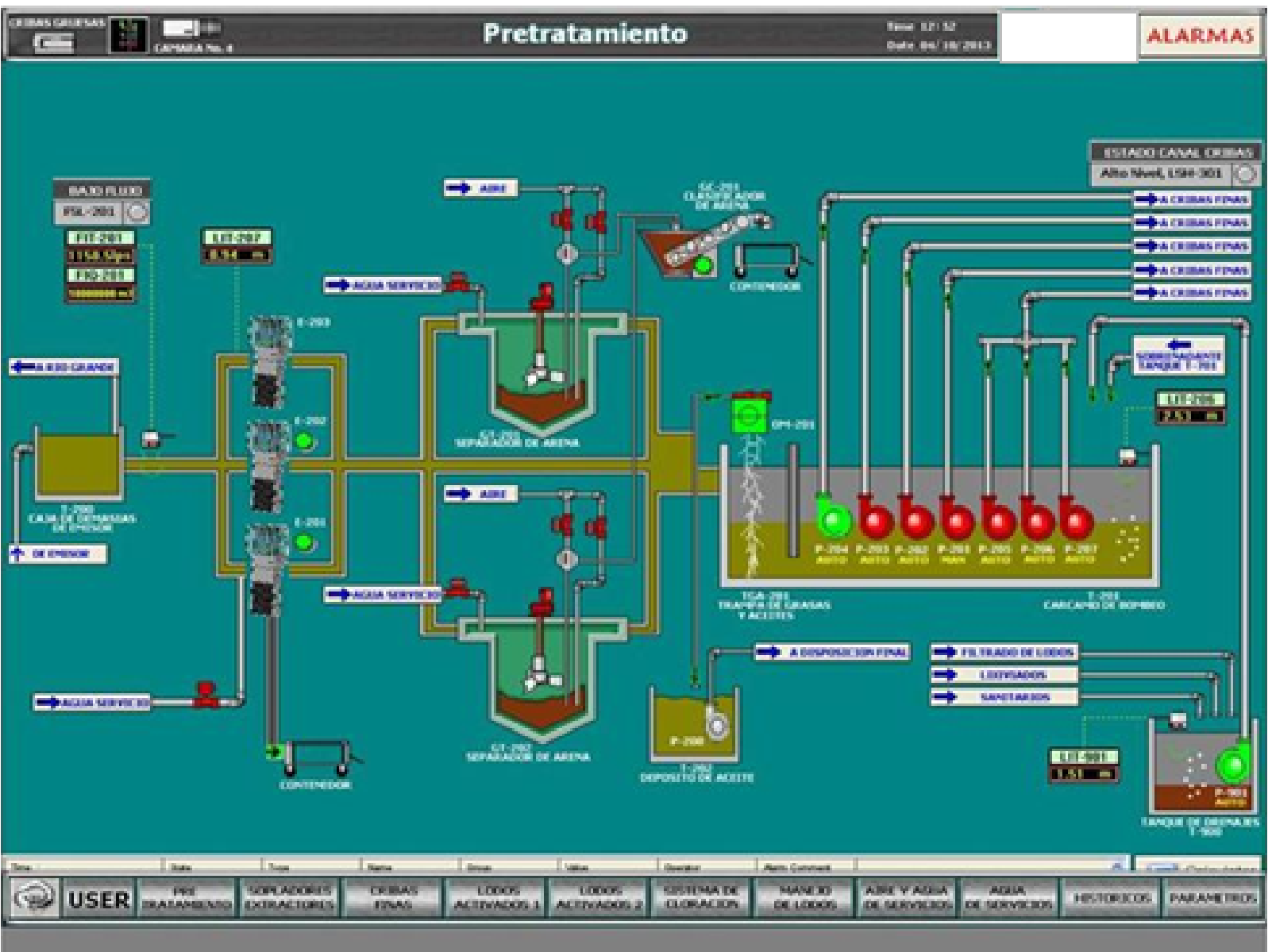


Figura 3-2. Pretratamiento en la PTAR Morelia, Atapameo (Cribado medio y desarenado)

A medida que el vórtice dirige los sólidos hacia el centro, unas paletas rotativas aumentan la velocidad lo suficiente para levantar el material orgánico más liviano y de ese modo retornarlo al flujo que pasa a través de la cámara de arena.

La Tabla 3-4 presenta, como ejemplo, los parámetros de operación de los desarenadores. Su consumo energético es de 4.4 kWh / d.

La Figura 3-4a muestra de forma esquemática el funcionamiento interno de la criba fina para separar los residuos finos y la Figura 3-4b presenta el estado de operación de las 8 cribas finas con sus válvulas de apertura indicando si están e reserva o en funcionamiento.

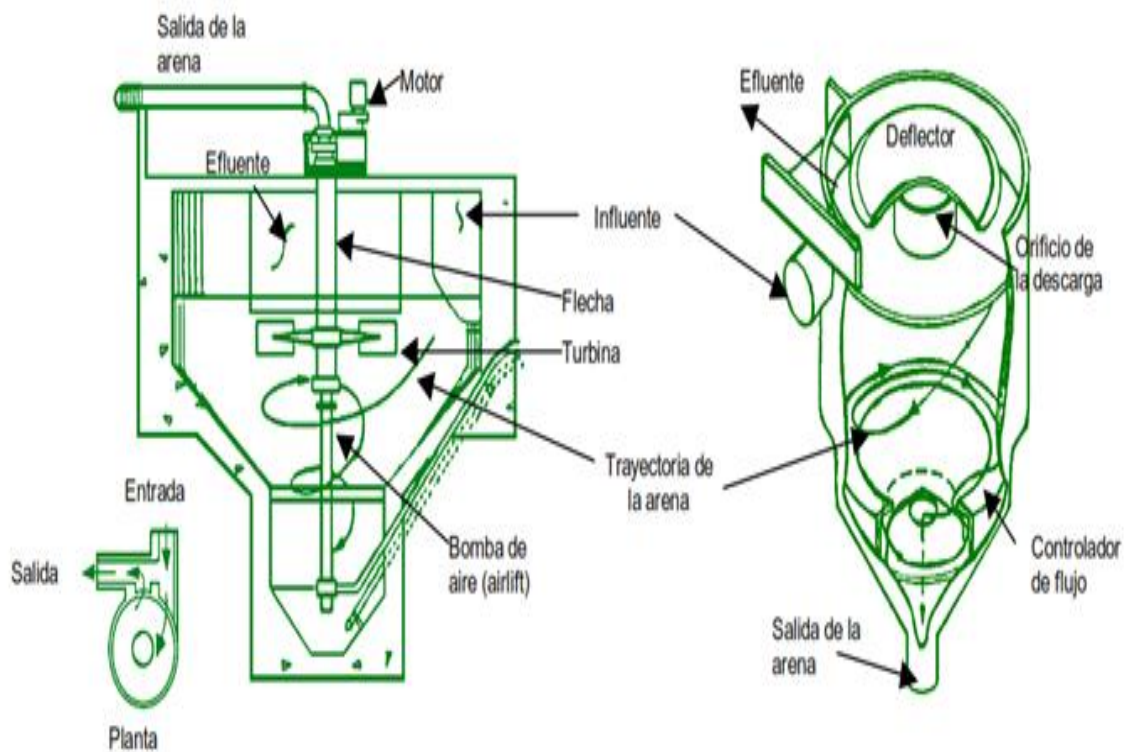


Figura 3-3. Desarenador tipo vórtice

Tabla 3-4. Parámetros de operación de los desarenadores

Parámetro	Valor	
	Intervalo	Valor
No aireados		
Carga hidráulica		<70 m ³ /m ² /hora (a Q _{máx})
Velocidad horizontal	0,24-0,40	0,3 m/s
Tiempo de retención	45-90 s	60s
Longitud	20-25 veces la altura de la lámina de agua	
Circulares		
Carga hidráulica	<70 m ³ /m ² /hora (a Q _{máx})	
Velocidad periférica media	0,3 - 0,4 m/s	
Tiempo de retención	0,5 -1 min (a Q _{máx})	
Aireados		
Carga hidráulica		<70 m ³ /m ² /hora (a Q _{máx})
Velocidad horizontal		<0,15 m/seg
Tiempo de retención a caudal punta	2 - 5 min	3
Relación longitud anchura	3:1 a 5:1	4:1
Profundidad	2 - 5 m	
Relación anchura-profundidad	1:1 a 5:1	1,5:1
Longitud	7,5 a 20 m	
Anchura	2,5 a 7 m	
Suministro de aire	0,20-0,60 m ³ /min	0,5

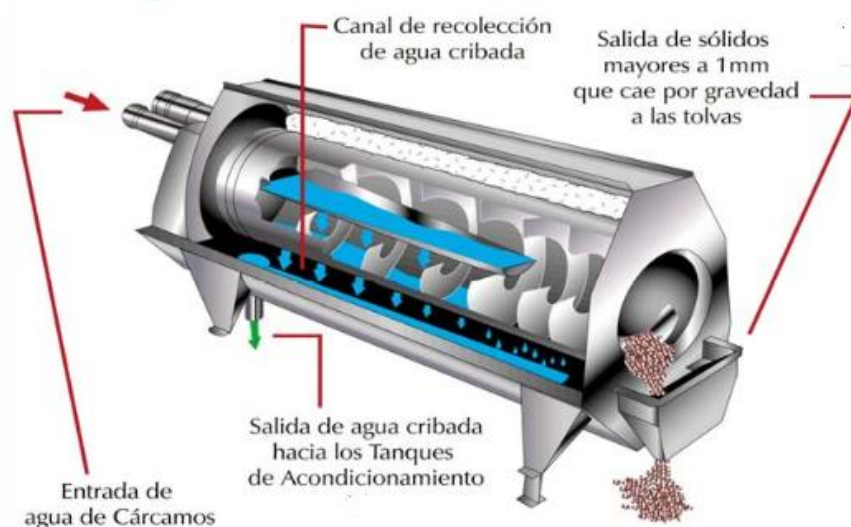


Figura 3-4a. Criba rotatoria de acero inoxidable para partículas finas



Figura 3-4b. Pretratamiento cribado fino en la PTAR Morelia, Atapameo

3.2.2.2. Tratamiento biológico

Se trata de un sistema de lodos activados de diseño propio que puede observarse en las Figura 3-5 y 3-6.

- Tanque selector o anóxico: En este reactor una fracción que va del 40 al 60% de los lodos sedimentados son recirculados (RAS "Return Activated Sludge"). Aquí se mezclan con el agua cruda proveniente del pretratamiento por medio de un agitador hiperboloide de 20.0 hp; lo que favorece la desnitrificación y defosforación. Su consumo de EE es de 29.8 kWh / d.
- Tanques de lodos activados: El licor mezclado proveniente del tanque anóxico entra a los tanques de aireación con un tiempo de residencia hidráulica (TRH) de 4 a 6 horas aquí es donde se alimenta aire por medio de sopladores centrífugos (3) de 450 Hp, para mantener una concentración de oxígeno disuelto de 0.8 a 1.5 mgO₂ / L. En esta parte del proceso se tiene una remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) del alrededor del 90%. En esta parte del proceso la mezcla de microorganismos conocida como lodos aerobios o lodos activados que contienen bacterias, algas y protozoarios principalmente, en presencia de oxígeno, desdoblan la materia orgánica que no se consumió y la convierten a nuevo material celular (lodos aerobios), dióxido de carbono y agua.
- Clarificadores: Se trata de una estructura de acero inoxidable, móvil por medio de rastras flotantes arrastradas por un motor de 0.8 hp; en donde se decantan los sólidos generados en los reactores biológicos separándolos del agua clarificada, los sólidos sedimentados se extraen por medio de vacío generado por un aspirador neumático hacia un cárcamo de bombeo. El excedente de los lodos generados es purgado del tratamiento biológico (*WAS "Waste Activated Sludge"*), el rango de la purga va de un 40 a un 60% del lodo recirculado, según las necesidades de equilibrio de la planta, se bombea por medio de tres bombas sumergibles cada una de 15.0 Hp, para su deshidratación, estabilización y disposición.

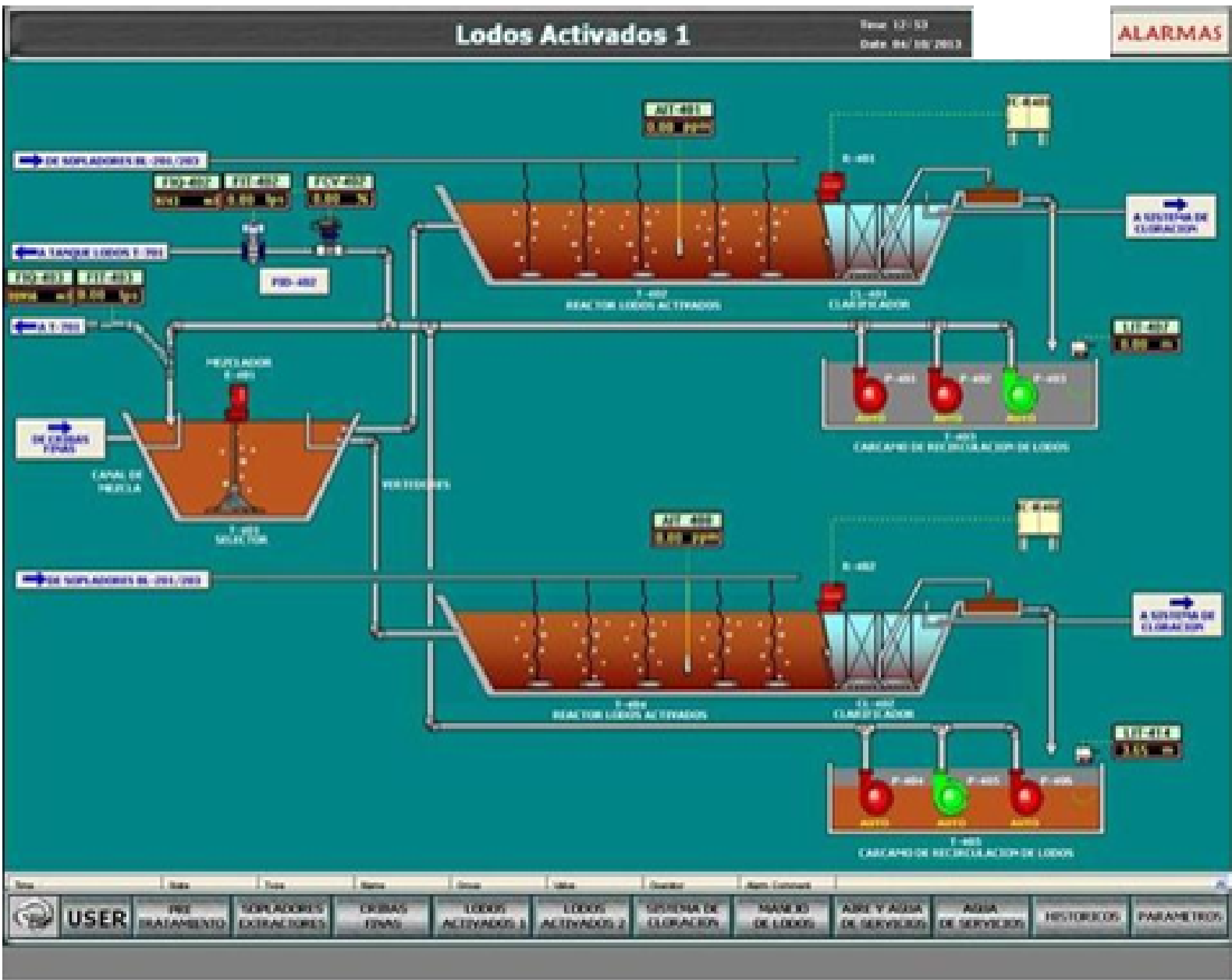


Figura 3-5. Tratamiento secundario en la PTAR Atapameo (Tanque selector, tanques de lodos activados y clarificadores)

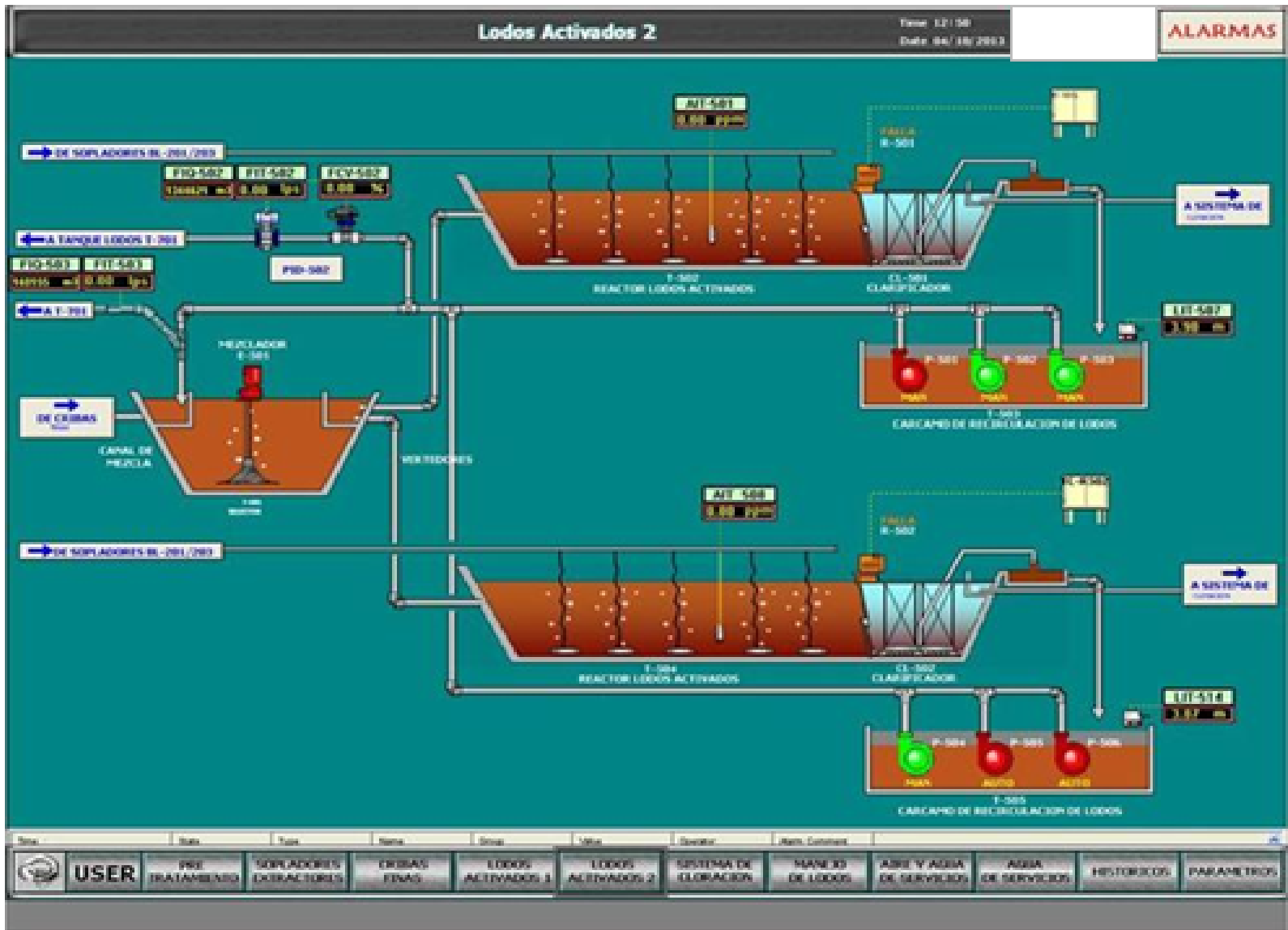


Figura 3-6. Tratamiento secundario en la PTAR Atapaneco (Tanque selector, tanques de lodos activados y clarificadores)

El agua clarificada se recoge por medio de un vertedero y una línea de tubería que la transporta a su desinfección y descarga final al Río Grande de Morelia. Su consumo de EE es de 90 kWh / d. En la Figura 3-7 se muestran los sopladores que son los equipos que suministran el aire necesario para mantener en actividad a los microorganismos que degradan la materia orgánica en los reactores biológicos su consumo es de 335.6 kWh / d.

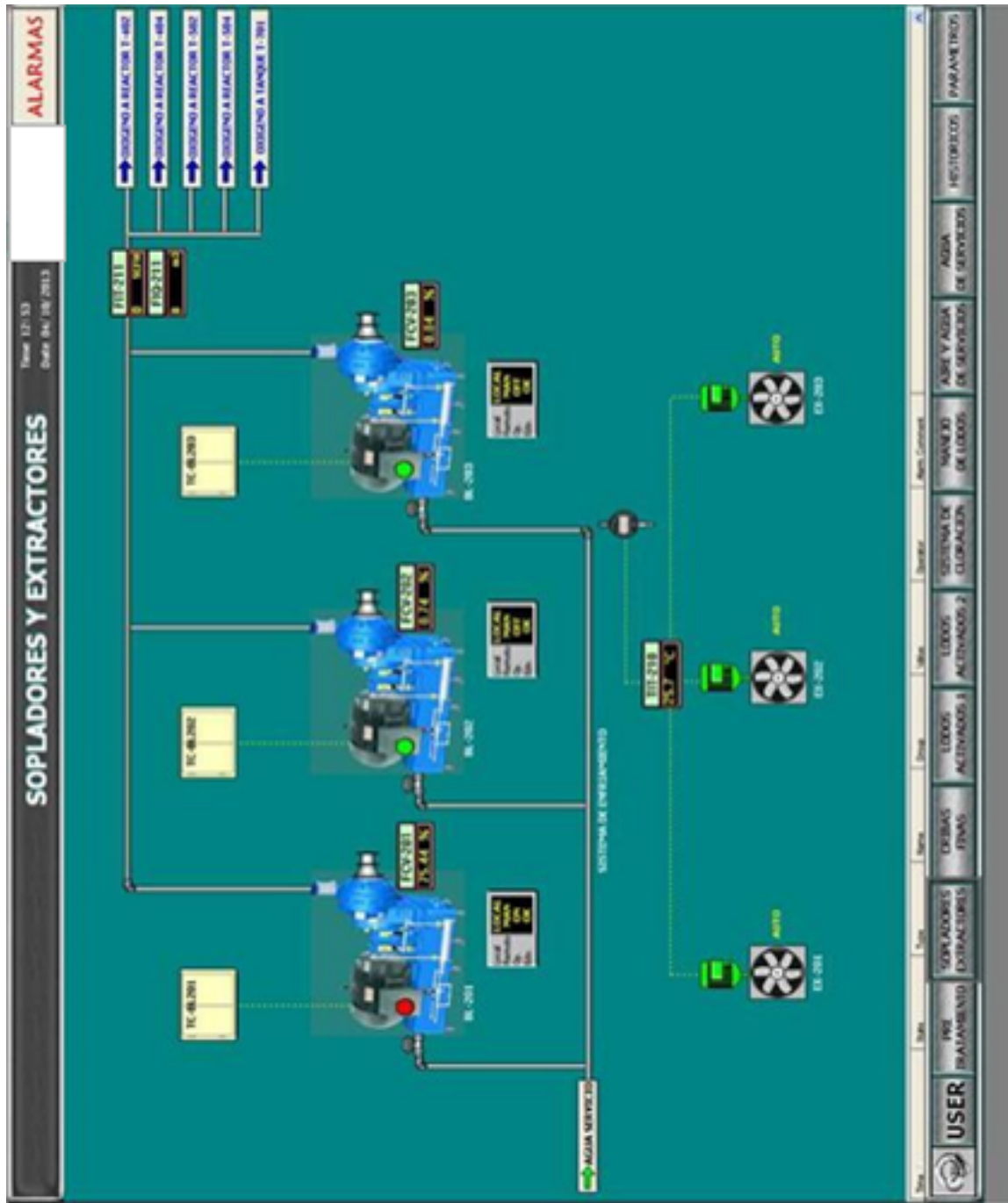


Figura 3-7. Tratamiento secundario en la PTAR Atapaneo. Sopladores (3)

3.2.2.3. Desinfección

- Se cuenta con un equipo dosificador de cloro gas (Cl_2) para lograr una concentración de alrededor de $2.0 \text{ mgCl}_2/\text{l}$, en el agua clarificada. Se tienen instaladas dos bombas centrífugas de 15.0 hp, para incorporar la solución de cloro al agua tratada. La función del Cloro es eliminar los microorganismos patógenos que están en el agua antes de su descarga (Figura 3-8). Su consumo de EE es de 11.2 kWh / d .

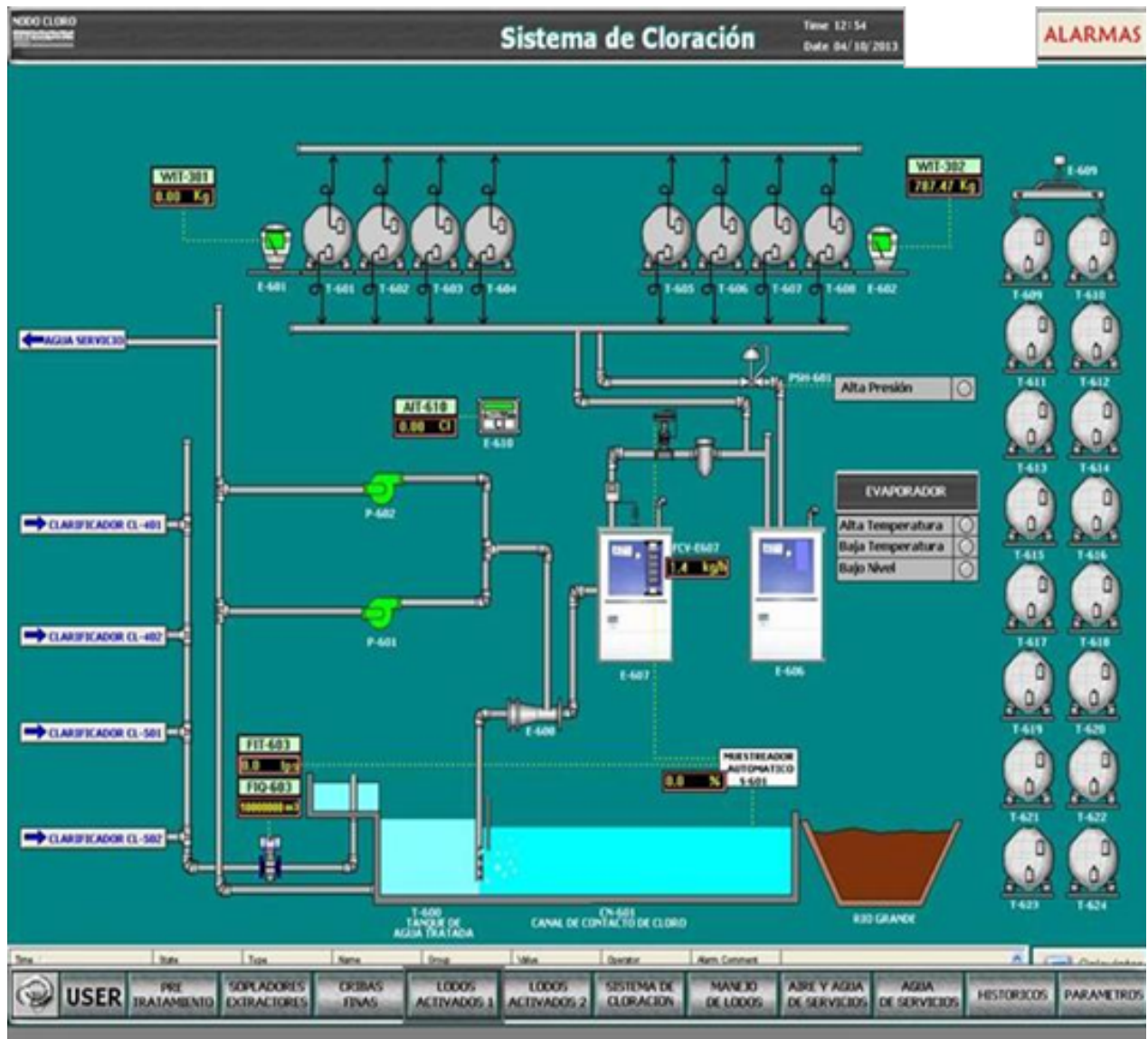


Figura 3-8. Tratamiento terciario en la PTAR Atapaneo (desinfección por cloración)

3.2.2.4. Tratamiento de biosólidos (lodos de purga)

- Se trata de un proceso en el que se mezcla polímero catiónico diluido con el lodo de purga (o WAS) para aprovechar la naturaleza aniónica de los “flóculos de los lodos activados”, por medio de un mezclador estático en línea y así formar conglomerados de 1.0 a 1.5 cm de diámetro que puedan ser filtrados fácilmente por medio de filtros banda de 3-0 Hp. Quedando un deshidratado entre 70 a 85 % de humedad con un consumo de polímero de entre 4.0 a 8.0 kg polímero / Ton SST (Figura 3-9).

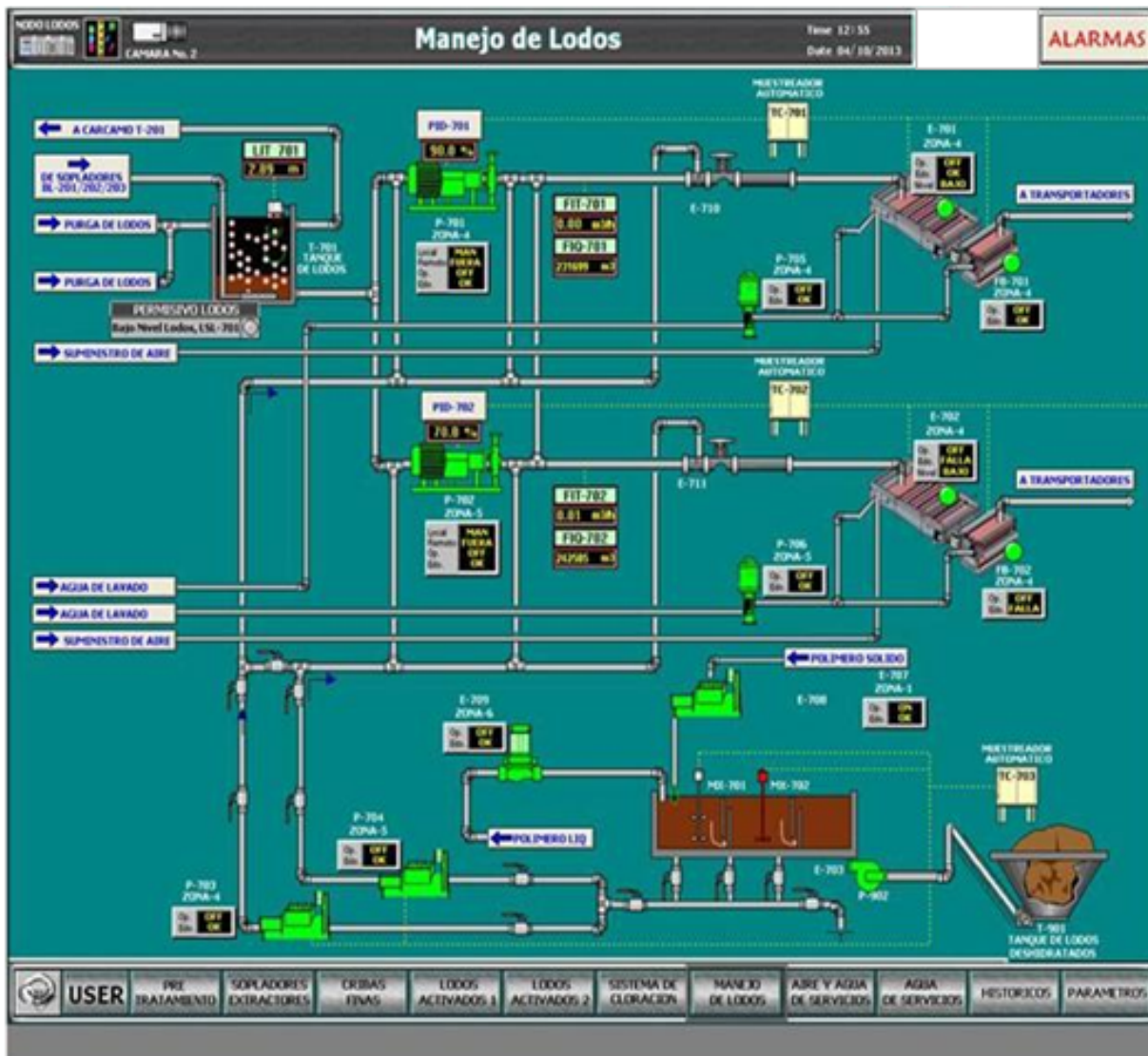


Figura 3-9. Tratamiento de lodos activados de purga en la PTAR Atapane

3.2.2.5. Estabilización química

Se trata un sistema de estabilización por medio de óxido de calcio, CaO (Figura 3-10), el cual suministra el reactivo oxidante en polvo por un transportador de tornillo de 0.8 hp, un inyector de cal de 1.5 hp, en el mezclador (malaxador) se incorpora a los biosólidos el óxido de calcio.

- Malaxador (mezclador) Se trata de un equipo donde la purga deshidratada (WAS) se mezcla con la cal por medio un motor y aspasa usa un motor de 10 hp, para lograr una mezcla arriba del 12% de óxido de calcio, con lodo base húmeda.
- El consumo de EE para la desinfección es de 40 kW / d.

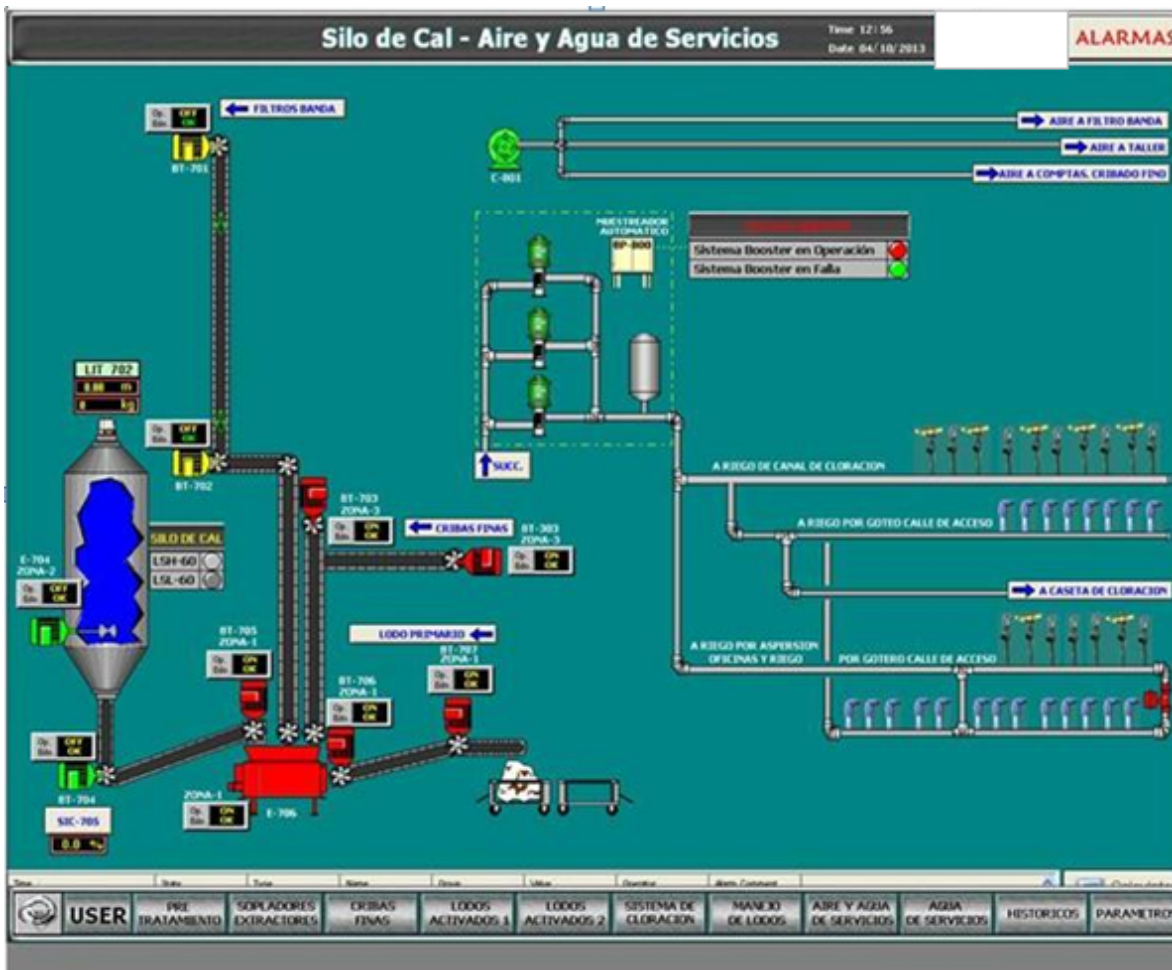


Figura 3-10. Estabilización química con cal “viva” (CaO, óxido de calcio), de los lodos activados de purga en la PTAR Atapaneco

- Agua de servicios, se usa agua tratada la que se distribuye por medio de una red de tuberías, a los diferentes puntos de uso (Figura 3-11):
 - Pretratamiento para limpieza
 - Cribas finas para limpieza por medio de espreas
 - Filtros banda para limpieza por medio de agua a presión
 - Edificio de operación para actividades de limpieza
 - Sistema de riego

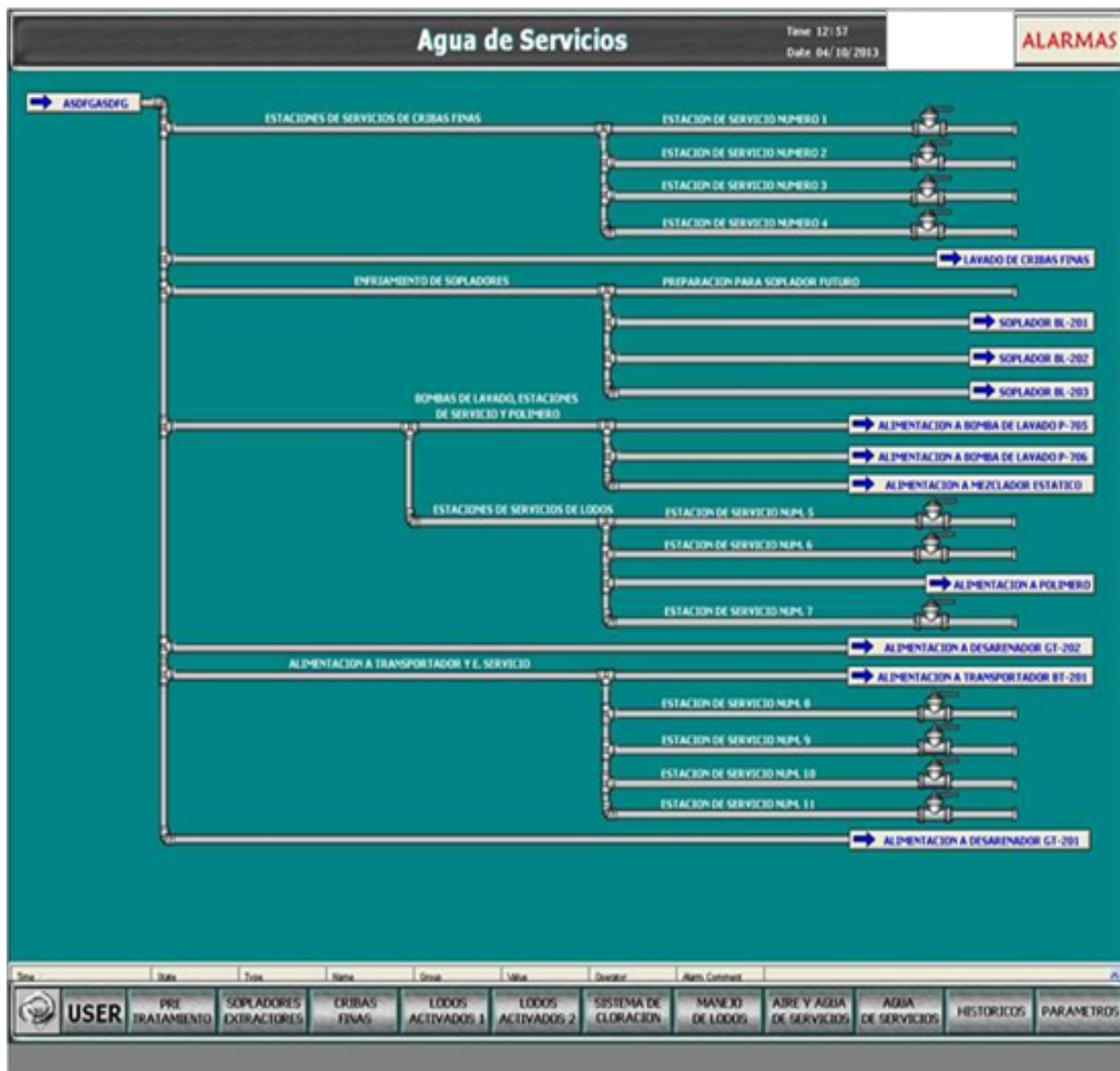


Figura 3-11. Agua de servicios en la PTAR Atapaneo

3.3. Elaboración del diagnóstico energético

3.3.1. Ahorro de energía eléctrica, EE

El ahorro de EE se logra si se controla:

- a) La demanda de potencia máxima medida en kW.
- b) El consumo de EE medido en kWh / mes.
- c) El cambio a motores eléctricos de alta eficiencia.
- d) La eficiencia operativa global.

La tarifa para la demanda de potencia facturable y las 3 tarifas de hora punta, base e intermedia las actualiza CFE mensualmente. La primera aplica para calcular el costo por demanda potencia máxima y las otras 3 tarifas se usan para determinar el costo por consumo de EE.

Optimización de costos:

- a) Demanda de potencia máxima, en kW.
 - o Conocer los equipos que requieren EE para su funcionamiento. Para determinar la demanda de potencia instalada en kW.
 - o Conocer la demanda de potencia contratada ante CFE. Revisar recibo.
 - o Revisar la propuesta de diseño de los equipos a funcionar al mismo tiempo para determinar la demanda de potencia en operación de diseño.
 - o Operar con base en las condiciones de:
 - Calidad del influente
 - Carga orgánica a remover en reactor biológico aerobio
 - Caudal del influente
 - Programa de actividades
 - Definir actividades prioritarias y continuas
 - Determinar actividades discontinuas y ubicarlas solo en el horario base e intermedio como:
 - o Deshidratado de biosólidos.
 - o Riego de áreas verdes.

- Limpieza de áreas ubicándolas en horario base o intermedio.
 - Disminución de suministro de aire siempre y cuando esta actividad no ponga en riesgo el tratamiento biológico.
 - Disminución del % de recirculación dejando 1 bomba para esta actividad y observar el comportamiento biológico en los reactores.
 - Disminución del uso de luminarias de la vialidad.
 - Apagado de luminarias en áreas en donde no se requieran.
- Dejar de hacer actividades que no son imprescindibles en la hora punta. Establecer el usar al mínimo la EE dentro del horario punta, ya que en este la tarifa por kWh consumido es la más alta.
- Entrenar al personal operativo para que esté consciente de que su participación en el proyecto de ahorro energético es muy importante para el logro de la meta de reducción de costos.
 - Determinar la demanda de potencia máxima en condiciones óptimas de operación.
 - Fijar las demandas de potencia máxima en función de los horarios base intermedio y punta.
 - Registrar la demanda de potencia máxima para poder pronosticar el costo por demanda a pagar.
 - Verificar ahorro por este concepto.

b) Consumo de EE, en kWh / mes.

- Revisar la propuesta de diseño de los equipos a funcionar con su tiempo de servicio para determinar su consumo, en kWh / mes.
- En base al programa de actividades optimizado registrar el consumo de EE.

- Verificar el ahorro de EE por concepto de ahorro.
- Considerar sustitución de equipos por otros de mayor eficiencia energética. En el caso de Atapaneo se proponen cambiar 7 bombas sumergibles, 4 de 15 hp y 3 de 90 hp.
- Revisar la posibilidad de incorporar equipos que aumentan la eficiencia energética. En este caso se adicionan 6 variadores de frecuencia. 4 para los motores de 15 hp y 2 para los motores de 90 hp.
- Sustitución de luminarias por otras que usan una tecnología más eficiente. En la planta se sustituirán 171 luminarias por otras que su tecnología es de LED.

3.3.2 Situación actual de la PTAR

Uno de los primeros pasos para valorar el estado energético actual, es el análisis del impacto económico que tiene cada uno de los recursos energéticos utilizados en la planta. Se cuenta con una acometida a 13.2 kV y un transformador de 2,000 kVA a 440 V para hacer la distribución de energía a los equipos de producción. En la Tabla 3-5 se indica el tiempo disponible de uso de EE definido en los horarios punta, intermedio y base. Y en la Tabla 3-6 se muestran las tarifas de los respectivos horarios.

3.3.3. Cálculos para determinar consumo y costo de EE

Listado de equipos en la PTAR Atapaneo

Se elaboró la lista de los equipos con su potencia. Se muestra en la Tabla 3-7. Para llevar a cabo este diagnóstico, se realizaron recorridos en planta y mediciones que permitieron observar el estado energético actual e identificar las medidas prioritarias para ahorro de energía eléctrica.

Tabla 3-5. Tiempo disponible por los dos periodos de CFE y sus horarios

Tiempo disponible por periodo (horarios punta, intermedio y base)

Abril a Octubre (7 meses)												
Día				Mes				7 meses				
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	
h			24	h			730	h			5,110	
Lun a Vie	2	16	6	60.8	486.7	182.5		426	3,407	1,278		
Sab	0	17	7	0.0	517.1	212.9		0	3,620	1,490		
Dom	0	5	19	0.0	152.1	577.9		0	1,065	4,045		
Noviembre a Marzo (5 meses)												
Día				Mes				5 meses				
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	
h			24	h			730	h			3,650	
Lun a Vie	4	14	6	121.7	425.8	182.5		608	2,129	913		
Sab	2	14	8	60.8	425.8	243.3		304	2,129	1,217		
Dom	0	18	6	0.0	547.5	182.5		0	2,738	913		
Tiempo:										8,760 h / año		

Tabla 3-6. Tarifas en función de los horarios punta, intermedio y base (promedio del 2012 al 2015)

Costo			
Potencia	Consumo EE		
Demanda Facturable	Punta	Intermedia	Base
\$ / kW	\$ / kWh		
Promedio del 2012 al 2015			
181.67	2.0041	1.1243	0.9354

3.3.3.1 Medidas de ahorro eléctrico para la propuesta con financiamiento en:

- Sistema de Iluminación con implementación de tecnología de diodos emisores de luz (*LED*, por sus siglas en inglés)
- Sistema de bombeo de alta eficiencia incluyendo convertidores de frecuencia variable para el influente.
- variable para la recirculación.

3.3.3.2. Sistema de iluminación con tecnología LED

Las 171 luminarias que están instaladas actualmente, se cambiarán por otras de la tecnología conocida como de diodos emisores de luz (*LED*, por sus siglas en inglés).

Tabla 3-7. Inventario de equipos que componen la PTAR Atapaneo

Lista de Equipo y Potencia				
Equipo	Estado		Potencia	
	Instalado	Operación	hp	kW
Criba Gruesa	1	1	0.8	0.6
Criba Gruesa	1	1	0.8	0.6
Transportador de Cribado Grueso	1	1	3	2.2
Separador de arena	1	1	3	2.2
Separador de arena	1	1	3	2.2
Clasificador de arena	1	1	0.8	0.6
Bomba 100 hp Influyente	1	1	100	74.6
Bomba 100 hp Influyente	1	1	100	74.6
Bomba 100 hp Influyente	1	1	100	74.6
Bomba 100 hp Influyente	1	1	100	74.6
Bomba 40 hp Influyente	1	1	40	29.8
Bomba 40 hp Influyente	1	1	40	29.8
Bomba 40 hp Influyente	1	1	40	29.8
Soplador Centrifugo	1	1	450	335.6
Soplador Centrifugo	1	1	450	335.6
Soplador Centrifugo	1	0	450	335.6
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	0	3	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	0	3	2.2
Transportador de residuo de criba fina	1	1	8	5.6
Transportador de residuo de criba fina	1	1	8	5.6
Transportador de residuo de Criba Fina, en deshidratación de	1	1	5	3.7
Mezclador Hiperboloide Selector	1	1	2.0	14.9
Mezclador Hiperboloide Selector	1	1	2.0	14.9
Rastra de clarificador	1	1	0.8	0.6
Rastra de clarificador	1	1	0.8	0.6
Rastra de clarificador	1	1	0.8	0.6
Rastra de clarificador	1	1	0.8	0.6
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	0	15	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	0	15	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	0	15	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	0	15	11.2
Báscula Hidraulica en cloración	1	1	0.01	0.007
Báscula Hidraulica en cloración	1	1	0.01	0.007
Resistencia eléctrica en cloración	1	1	0.10	0.07
Resistencia eléctrica en cloración	1	1	0.10	0.07
Regulador de vacio en cloración	1	1	0.04	0.03
Evaporador en caseta de cloración	1	0	20	14.9
Polipasto eléctrico en caseta de cloración	1	1	1	0.7
Bomba para Eyector (cloración)	1	1	15	11.2
Bomba para Eyector (cloración)	1	0	15	11.2
Bomba de purga a mesa espesadora	1	1	20	14.9
Bomba de purga a mesa espesadora	1	0	20	14.9
Mesa espesadora de biosolido	1	1	1.5	1.1
Mesa espesadora de biosolido	1	0	1.5	1.1
Filtros Banda	1	1	1.5	1.1
Filtros Banda	1	0	1.5	1.1
Agitador de Polímero	1	1	0.8	0.6
Agitador de Polímero	1	0	0.8	0.6
Dosificador de Polímero Sólido	1	1	0.2	0.1
Bomba dosificadora de polímero	1	1	0.8	0.6
Bomba dosificadora de polímero	1	0	0.8	0.6
Bomba de lavado de bandas	1	1	10	7.5
Bomba de lavado de bandas	1	0	10	7.5
Transportador de biosolido deshidratado	1	1	5	3.7
Transportador de residuo de criba fina compactado	1	1	5	3.7
Compactador de residuo de cribado fino	1	1	3	2.2
Segregador de cal	1	1	0.8	0.6
Inyector de cal	1	1	1.5	1.1
Malaxador	1	1	10	7.5
Transportador de cal	1	1	0.5	0.4
Transportador de biosolidos con cal	1	1	10	7.5
Transportador a contenedores	1	1	5	3.7
Compresor de aire	1	1	30	22.4
Compresor de aire	1	1	2	1.5
Sistema de alta presión	1	1	10	7.5
Bomba de Riego	1	1	15	11.2
Bomba de Drenajes	1	1	10	7.5
Bomba de lixiviado	1	1	0.8	0.6
Luminarias	127	127	0.13	12.7
Luminarias vialidad	44	44	0.6	19.6
Potencia Instalada:			1,805	kW

Sistema de iluminación actual

Actualmente, en la PTAR Atapaneo, se cuenta con equipo de iluminación ahorrador y convencional. Se aceptó sustituir la iluminación actual por lámparas de diodos emisores de luz (LED), las cuales ofrecen menor consumo eléctrico, menor costo por mantenimiento, menor depreciación luminosa y más horas de vida útil.

Actualmente en la planta se emplean los siguientes sistemas de luminarias:

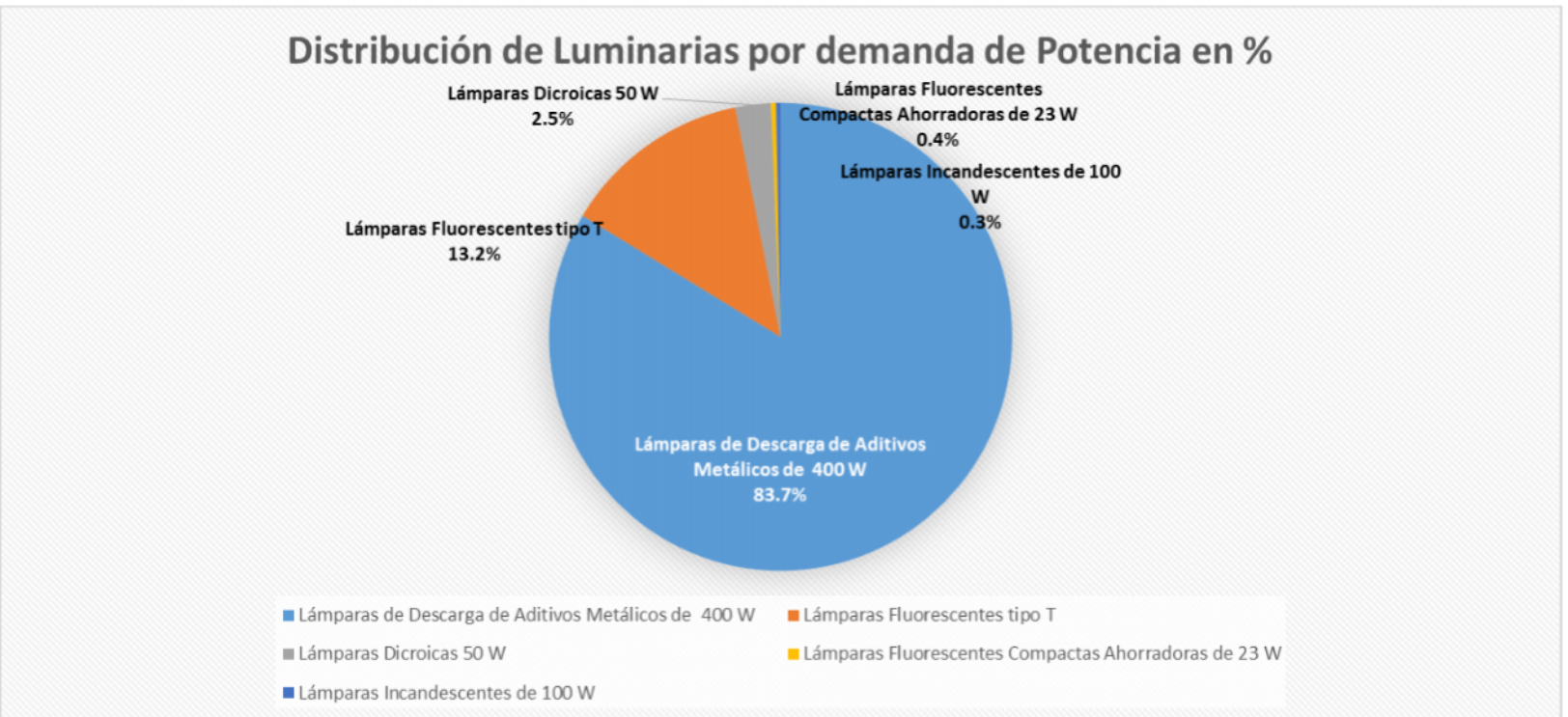
- Lámparas fluorescentes tipo T - 12 de 1 x 39 W;
- Lámparas fluorescentes tipo T - 8 de 2 x 32 W y de 1 x 32 W;
- Lámparas fluorescentes compactas ahorradoras de 23 W;
- Lámparas de descarga de aditivos metálicos de 70 W y de 400 W;
- Lámparas dicróicas 50 W y
- Lámparas incandescentes de 100 W.

El tipo de luminarias instaladas son:

- Para fluorescentes son del tipo empotrada, de sobreponer y colgante.
- Para las lámparas de descarga son del tipo campana, reflector y suburbana.
- Para lámparas dicróicas son de tipo riel y
- Para lámparas incandescentes son de tipo socket.

A continuación, en la Gráfica 3-4, se presenta el porcentaje por demanda de potencia de las luminarias actuales.

En las Tablas A1.1 a la A1.10 (**Anexo 1**) se indica para las condiciones de **diseño**, el inventario de las luminarias, la demanda de potencia, el consumo de diseño, los tiempos de consumo de EE y su costo anual. Separando las luminarias instaladas en tres áreas de la PTAR:



Gráfica 3-4. Distribución de demanda de potencia por sistema de Iluminación en (%), para los 171 equipos instalados

- Edificio de Oficinas (Tablas A1.2 a A1.4)
- Edificio de Operación y (Tablas A1.5 a A1.7)
- Exteriores (Tablas A1.8 a A1.10)

En las Tablas A2.1 a la A2.10 (**Anexo 2**) se indica para las condiciones de operación **óptimas**, el inventario de las luminarias, la demanda de potencia, el consumo de diseño, los tiempos de consumo de EE y su costo anual. Separando las luminarias instaladas en tres áreas de la PTAR:

- Edificio de Oficinas (Tablas A2.2 a A2.4)
- Edificio de Operación y (Tablas A2.5 a A2.7)
- Exteriores (Tablas A2.8 a A2.10)

En las Tablas A3.1 a la A3.10 (**Anexo 3**) se indica, para las condiciones de la propuesta con financiamiento para el **cambio de equipo**, la inclusión de motores de alta eficiencia y luminarias con tecnología *LED*, el inventario del equipo nuevo, la demanda de potencia, el consumo de diseño, los tiempos de consumo de EE y su costo anual separando las luminarias instaladas en tres áreas de la PTAR:

- Edificio de Oficinas (Tablas A3.2 a A3.4)
- Edificio de Operación y (Tablas A3.5 a A3.7)
- Exteriores (Tablas A3.8 a A3.10)

Las alternativas de ahorro observadas para el cambio de tecnología consisten en:

- Sustitución de lámparas fluorescentes T - 8 por luminaria *LED* de **36 W**.
- Sustitución de aditivo metálico de 400 W por luminaria *LED* de **130 W**.

3.3.3.3. Sistema de bombeo de alta eficiencia incluyendo convertidores de frecuencia variable para el influente y para la recirculación

Los motores eléctricos tienen la máxima eficiencia, cuando las pérdidas permanentes o fijas son casi iguales a las pérdidas variables.

Sustitución de un motor estándar por otro de alta eficiencia.

La potencia eléctrica que demande un motor está totalmente relacionada con la eficiencia del mismo y con el factor de carga.

$$\text{Potencia eléctrica demandada} = \frac{\text{Potencia mecánica de salida}}{\text{Eficiencia}} \quad (3-1)$$

De esta manera, al mejorar la eficiencia del motor la demanda eléctrica para la misma operación disminuye. Es factible sustituir motores estándar por motores de alta eficiencia bajo las siguientes circunstancias:

- Aplicación de motores de alta eficiencia de menor tamaño. Cuando el motor estándar está trabajando con bajo factor de carga.
- Aplicación de motores de alta eficiencia del mismo tamaño. Cuando el motor estándar está trabajando con un factor de carga entre 60 y 90%.
- Aplicación de motores de alta eficiencia de mayor tamaño. Cuando el motor estándar está trabajando con un factor de carga mayor al 95%.

En todos los casos de sustitución deben tomarse muy en serio las condiciones de arranque y tipo de motor requerido. Por otro lado, la sustitución debe estar avalada por un estudio minucioso de las condiciones de operación del motor, en el que se investigue sobre todos los parámetros eléctricos que alimentan al motor.

Sistema de bombeo de alta eficiencia

La mayoría de los procesos en las industrias incluyen la conducción de líquidos o transferencia de un valor de presión o de energía estática a otro. La bomba es el medio mecánico para obtener esta conducción o transferencia y por ello es parte esencial de todos los procesos. Las bombas centrífugas constituyen no menos del 80% de la producción mundial de bombas. Así mismo, casi la totalidad de las industrias mexicanas posee al menos una bomba centrífuga (Figura 3-12).



Figura 3-12. Bomba centrífuga (marca Pedrollo)

Las bombas centrífugas son aquellas en que se aplica la energía al líquido que se bombea con un impulsor o una hélice que gira en su eje. La energía de velocidad aplicada al fluido por el impulsor se convierte en energía de presión cuando el líquido sale del impulsor y avanza a lo largo de una voluta o carcasa de difusor estacionarias.

El convertidor de frecuencia variable es un control electrónico que permite controlar la velocidad del motor de inducción tipo jaula de ardilla, que es el motor más económico, sencillo, robusto y de mayor uso en la industria.

Optimización del sistema de bombeo

Considerando el consumo energético de las bombas del influente y las de recirculación de lodos en los reactores, el sistema de bombeo de esas dos áreas constituye un costo de operación anual de \$3,491,272.22.

Las acciones de mejora consisten en:

1. Sustituir las bombas de 100 HP y 40 HP del área de cribas por 3 bombas de 90HP y 2 convertidores de frecuencia, por lo que en todo momento una de las bombas de 90 HP estará entregando el 100% de flujo mientras que las otras dos estarán operando a diferente velocidad según se requiera en función al caudal del influente.
2. Sustituir las dos bombas de 15 hp que actualmente recirculan los lodos de cada reactor por unas bombas de 15 hp de Alta Eficiencia que operen con un convertidor de frecuencia para reducir el caudal durante el periodo punta.

3.3.4. Entrenamiento de personal

Un rubro muy importante para el logro del objetivo propuesto es el involucramiento del personal operativo a través de su capacitación y entrenamiento. El operador será productivo y contribuirá al uso eficiente de la EE en la medida en que se le haga participe en sus actividades.

El programa de operación de equipos está en función:

- a) Del caudal y calidad del influente (agua residual);
- b) De la necesidades de oxígeno en el reactor aerobio que esta relacionada a la carga orgánica a remover;
- c) De la disminución de la demanda de potencia energética en horario punta (definido por CFE), proponiendo reprogramar actividades en horario base o intermedio preferentemente.

- d) De la definición de actividades prioritarias y continuas.
- e) De la determinación de actividades discontinuas y ubicación de ellas solamente en el horario base e intermedio como:
- Deshidratado de biosólidos.
 - Riego de áreas verdes.
 - Limpieza de áreas ubicándolas en horario base o intermedio.
 - Disminución de suministro de aire siempre y cuando esta actividad no ponga en riesgo el tratamiento biológico.
 - Disminución del % de recirculación dejando 1 bomba para esta actividad y observar el comportamiento biológico en los reactores.
 - Disminución del uso de luminarias de la vialidad.
 - Apagado de luminarias en áreas en donde no se requieran.
- f) Del registro de la demanda de potencia máxima para poder pronosticar el costo por demanda a pagar.
- g) De la verificación del ahorro por este concepto.

A continuación se presenta el capítulo de resultados y discusión.

Capítulo 4

Resultados y discusión

4.1 Resultados

En la Gráfica 4-1 se muestran los resultados de la evolución de la demanda de potencia.

La Gráfica 4-2 tiene la información sobre el ahorro por control en la demanda de potencia.

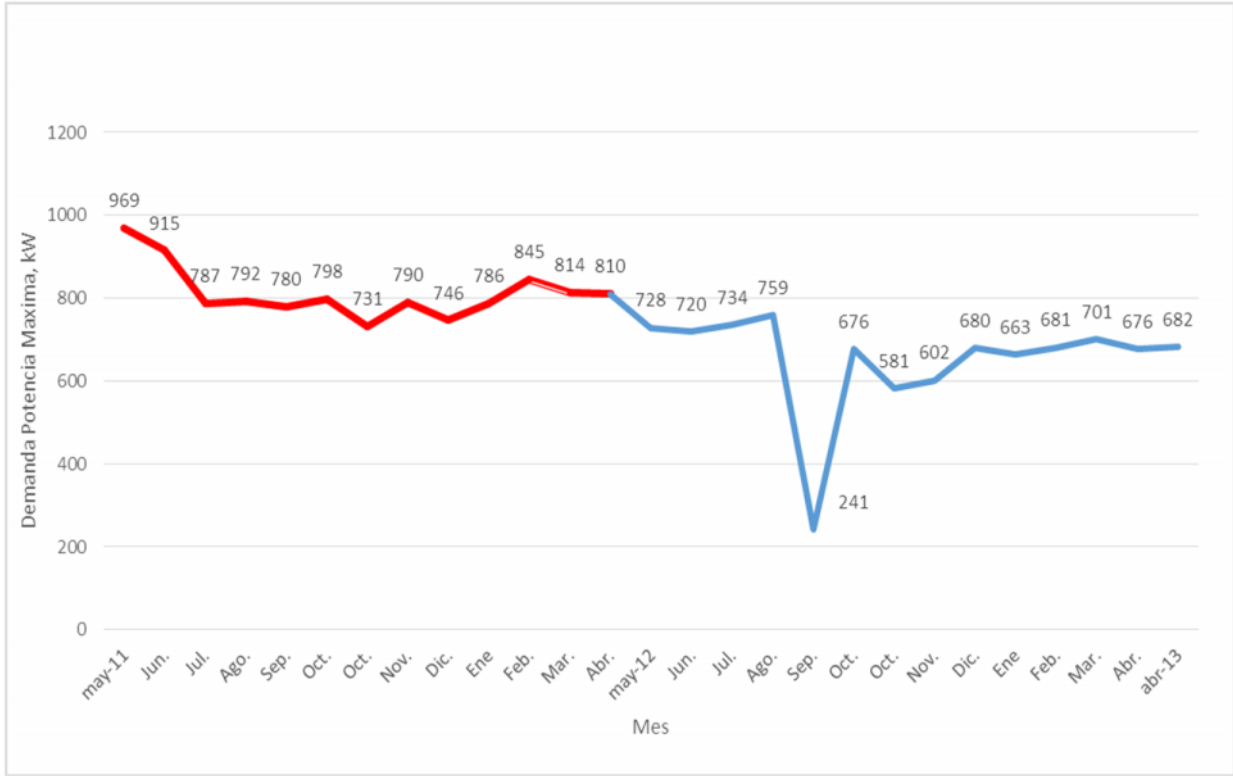
En la Tabla 4-1 se muestra el consumo de EE para cada uno de los equipos en operación según la información de diseño y en la Tabla 4-2 sin medidas de ahorro.

En la Tabla 4-3 se presentan los consumos del equipo en operación óptima.

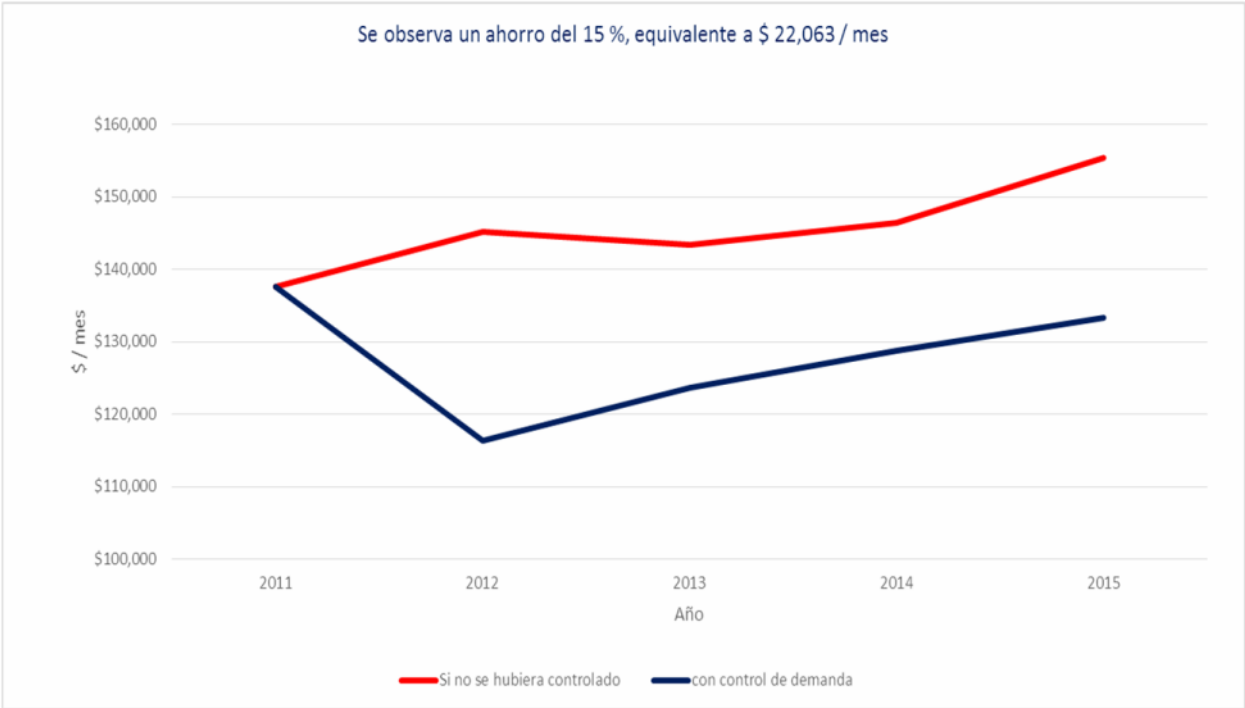
La Tabla 4-4 indica los consumos de EE del equipo considerando cambio por motores de alta eficiencia e incorporando variadores de frecuencia.

Se tiene un consumo eléctrico promedio después de optimizar la operación de 490,405 kWh / mes, con una demanda eléctrica de entre 625 kW y hasta 845 kW en promedio la planta eroga \$815,419.43 al mes por el pago de energía eléctrica.

La Tabla 4-5 muestra el ahorro en % de consumo y costo anual.



Gráfica 4-1. Evolución de la demanda de potencia



Gráfica 4-2. Ahorro por control en la demanda de potencia

Tabla 4-1. Consumo de EE del equipo en operación (diseño)

Lista de Equipo y Potencia					Consumo EE Diseño (1,200 L / s)		
Equipo	Estado		Potencia		Tiempo uso		Consumo EE
	Instalado	Operación	hp	kW	min / h	h	
Criba Gruesa	1	1	0.8	0.6	45	0.8	0.4
Criba Gruesa	1	1	0.8	0.6	45	0.8	0.4
Transportador de Cribado Grueso	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Separador de arena	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Separador de arena	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Clasificador de arena	1	1	0.8	0.6	45	0.8	0.4
Bomba 100 hp Influyente	1	1	100	74.6	60	1.0	74.6
Bomba 100 hp Influyente	1	1	100	74.6	60	1.0	74.6
Bomba 100 hp Influyente	1	1	100	74.6	45	0.8	55.9
Bomba 100 hp Influyente	1	1	100	74.6	0	0.0	0.0
Bomba 40 hp Influyente	1	1	40	29.8	30	0.5	14.9
Bomba 40 hp Influyente	1	1	40	29.8	0	0.0	0.0
Bomba 40 hp Influyente	1	1	40	29.8	0	0.0	0.0
Soplador Centrifugo	1	1	450	335.6	60	1.0	335.6
Soplador Centrifugo	1	1	450	335.6	45	0.8	251.7
Soplador Centrifugo	1	0	450	335.6	0	0.0	0.0
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	45	0.8	1.7
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	45	0.8	1.7
Criba Fina Rotatoria	1	0	3	2.2	45	0.8	1.7
Criba Fina Rotatoria	1	0	3	2.2	45	0.8	1.7
Transportador de residuo de criba fina	1	1	8	5.6	60	1.0	5.6
Transportador de residuo de criba fina	1	1	8	5.6	60	1.0	5.6
Transportador de residuo de Criba Fina, en deshidratación de	1	1	5	3.7	60	1.0	3.7
Mezclador Hiperboloide Selector	1	1	20	14.9	60	1.0	14.9
Mezclador Hiperboloide Selector	1	1	20	14.9	60	1.0	14.9
Rastra de clarificador	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
Rastra de clarificador	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
Rastra de clarificador	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
Rastra de clarificador	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	60	1.0	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	60	1.0	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	0	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	60	1.0	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	60	1.0	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	0	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	60	1.0	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	60	1.0	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	0	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	60	1.0	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	60	1.0	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	0	15	11.2	0	0.0	0.0
Báscula Hidraulica en cloración	1	1	0.01	0.007	60	1.0	0.0
Báscula Hidraulica en cloración	1	1	0.01	0.007	60	1.0	0.0
Resistencia eléctrica en cloración	1	1	0.10	0.07	60	1.0	0.1
Resistencia eléctrica en cloración	1	1	0.10	0.07	60	1.0	0.1
Regulador de vacio en cloración	1	1	0.04	0.03	60	1.0	0.0
Evaporador en caseta de cloración	1	0	20	14.9	30	0.5	7.5
Polipasto eléctrico en caseta de cloración	1	1	1	0.7	6	0.1	0.1
Bomba para Eyector (cloración)	1	1	15	11.2	60	1.0	11.2
Bomba para Eyector (cloración)	1	0	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de purga a mesa espesadora	1	1	20	14.9	50	0.8	12.4
Bomba de purga a mesa espesadora	1	0	20	14.9	0	0.0	0.0
Mesa espesadora de biosolido	1	1	1.5	1.1	50	0.8	0.9
Mesa espesadora de biosolido	1	0	1.5	1.1	0	0.0	0.0
Filtros Banda	1	1	1.5	1.1	50	0.8	0.9
Filtros Banda	1	0	1.5	1.1	0	0.0	0.0
Agitador de Polimero	1	1	0.8	0.6	50	0.8	0.5
Agitador de Polimero	1	0	0.8	0.6	0	0.0	0.0
Dosificador de Polimero Sólido	1	1	0.2	0.1	10	0.2	0.0
Bomba dosificadora de polimero	1	1	0.8	0.6	50	0.8	0.5
Bomba dosificadora de polimero	1	0	0.8	0.6	0	0.0	0.0
Bomba de lavado de bandas	1	1	10	7.5	50	0.8	6.2
Bomba de lavado de bandas	1	0	10	7.5	0	0.0	0.0
Transportador de biosolido deshidratado	1	1	5	3.7	50	0.8	3.1
Transportador de residuo de criba fina compactado	1	1	5	3.7	60	1.0	3.7
Compactador de residuo de cribado fino	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Segregador de cal	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
inyector de cal	1	1	1.5	1.1	60	1.0	1.1
Malaxador	1	1	10	7.5	60	1.0	7.5
Transportador de cal	1	1	0.5	0.4	60	1.0	0.4
Transportador de biosólidos con cal	1	1	10	7.5	60	1.0	7.5
Transportador a contenedores	1	1	5	3.7	60	1.0	3.7
Compresor de aire	1	1	30	22.4	40	0.7	14.9
Compresor de aire	1	1	2	1.5	10	0.2	0.2
Sistema de alta presión	1	1	10	7.5	60	1.0	7.5
Bomba de Riego	1	1	15	11.2	30	0.5	5.6
Bomba de Drenajes	1	1	10	7.5	40	0.7	5.0
Bomba de lixiviado	1	1	0.8	0.6	40	0.7	0.4
Luminarias	127	127	0.13	12.7	40	0.7	8.5
Luminarias vialidad	44	44	0.6	19.6	30	0.5	9.8

Potencia Instalada: 1,805 kW

Consumo EE Diseño (1,200 L / s)

794,759 kWh
m

Tabla 4-2. Consumo de EE del equipo en operación sin medidas de ahorro

Lista de Equipo y Potencia				Consumo EE Operación, sin medidas de Ahorro			
Equipo	Estado		Potencia		Tiempo uso		Consumo EE kWh
	Instalado	Operación	hp	kW	min / h	h	
Criba Gruesa	1	1	0.8	0.6	10	0.2	0.1
Criba Gruesa	1	1	0.8	0.6	10	0.2	0.1
Transportador de Cribado Grueso	1	1	3	2.2	30	0.5	1.1
Separador de arena	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Separador de arena	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Clasificador de arena	1	1	0.8	0.6	30	0.5	0.3
Bomba 100 hp Influyente	1	1	100	74.6	60	1.0	74.6
Bomba 100 hp Influyente	1	1	100	74.6	60	1.0	74.6
Bomba 100 hp Influyente	1	1	100	74.6	60	1.0	74.6
Bomba 100 hp Influyente	1	1	100	74.6	10	0.2	12.4
Bomba 40 hp Influyente	1	1	40	29.8	60	1.0	29.8
Bomba 40 hp Influyente	1	1	40	29.8	60	1.0	29.8
Bomba 40 hp Influyente	1	1	40	29.8	10	0.2	5.0
Soplador Centrifugo	1	1	450	335.6	60	1.0	335.6
Soplador Centrifugo	1	1	450	335.6	0	0.0	0.0
Soplador Centrifugo	1	0	450	335.6	0	0.0	0.0
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	15	0.3	0.6
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	15	0.3	0.6
Criba Fina Rotatoria	1	0	3	2.2	0	0.0	0.0
Criba Fina Rotatoria	1	0	3	2.2	0	0.0	0.0
Transportador de residuo de criba fina	1	1	8	5.6	60	1.0	5.6
Transportador de residuo de criba fina	1	1	8	5.6	25	0.4	2.3
Transportador de residuo de Criba Fina, en deshidratación de	1	1	5	3.7	60	1.0	3.7
Mezclador Hiperboloide Selector	1	1	20	14.9	60	1.0	14.9
Mezclador Hiperboloide Selector	1	1	20	14.9	60	1.0	14.9
Rastra de clarificador	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
Rastra de clarificador	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
Rastra de clarificador	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
Rastra de clarificador	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	60	1.0	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	60	1.0	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	0	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	60	1.0	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	0	15	11.2	0	0.0	0.0
Báscula Hidraulica en cloración	1	1	0.01	0.0	60	1.0	0.01
Báscula Hidraulica en cloración	1	1	0.01	0.0	60	1.0	0.01
Resistencia eléctrica en cloración	1	1	0.1	0.1	60	1.0	0.07
Resistencia eléctrica en cloración	1	1	0.1	0.1	60	1.0	0.07
Regulador de vacío en cloración	1	1	0.04	0.0	60	1.0	0.03
Evaporador en caseta de cloración	1	0	20	14.9	0	0.0	0.00
Polipasto eléctrico en caseta de cloración	1	1	1	0.7	1	0.0	0.01
Bomba para Eyector (cloración)	1	1	15	11.2	60	1.0	11.19
Bomba para Eyector (cloración)	1	0	15	11.2	0	0.0	0.00
Bomba de purga a mesa espesadora	1	1	20	14.9	45	0.8	11.19
Bomba de purga a mesa espesadora	1	0	20	14.9	0	0.0	0.00
Mesa espesadora de biosolido	1	1	1.5	1.1	45	0.8	0.84
Mesa espesadora de biosolido	1	0	1.5	1.1	0	0.0	0.00
Filtros Banda	1	1	1.5	1.1	45	0.8	0.84
Filtros Banda	1	0	1.5	1.1	0	0.0	0.00
Agitador de Polímero	1	1	0.8	0.6	15	0.3	0.14
Agitador de Polímero	1	0	0.8	0.6	0	0.0	0.00
Dosificadora de Polímero Sólido	1	1	0.2	0.1	3	0.1	0.01
Bomba dosificadora de polímero	1	1	0.8	0.6	45	0.8	0.42
Bomba dosificadora de polímero	1	0	0.8	0.6	0	0.0	0.00
Bomba de lavado de bandas	1	1	10	7.5	45	0.8	5.59
Bomba de lavado de bandas	1	0	10	7.5	0	0.0	0.00
Transportador de biosolido deshidratado	1	1	5	3.7	45	0.8	2.80
Transportador de residuo de criba fina compactado	1	1	5	3.7	60	1.0	3.73
Compactador de residuo de cribado fino	1	1	3	2.2	60	1.0	2.24
Segregador de cal	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.56
inyector de cal	1	1	1.5	1.1	60	1.0	1.12
Malaxador	1	1	10	7.5	60	1.0	7.46
Transportador de cal	1	1	0.5	0.4	60	1.0	0.37
Transportador de biosólidos con cal	1	1	10	7.5	60	1.0	7.46
Transportador a contenedores	1	1	5	3.7	60	1.0	3.73
Compresor de aire	1	1	30	22.4	15	0.3	5.59
Compresor de aire	1	1	2	1.5	0	0.0	0.00
Sistema de alta presión	1	1	10	7.5	30	0.5	3.73
Bomba de Riego	1	1	15	11.2	30	0.5	5.59
Bomba de Drenajes	1	1	10	7.5	30	0.5	3.73
Bomba de lixiviado	1	1	0.8	0.6	10	0.2	0.09
Luminarias	127	127	0.135	12.7	30	0.5	6.4
Luminarias vialidad	44	44	0.598	19.6	30	0.5	9.8
			Potencia Instalada: 1,805		kW		
					Consumo EE Operación		
					609,726		kWh
							m

Tabla 4-3. Consumo de EE del equipo en operación óptima

Lista de Equipo y Potencia					Consumo EE Optimo		
Equipo	Estado		Potencia		Tiempo uso		Consumo EE kWh
	Instalado	Operacion	hp	kW	min / h	h	
Criba Gruesa	1	1	0.8	0.6	1	0.02	0.01
Criba Gruesa	1	1	0.8	0.6	1	0.02	0.01
Transportador de Cribado Grueso	1	1	3	2.2	2	0.03	0.1
Separador de arena	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Separador de arena	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Clasificador de arena	1	1	0.8	0.6	5	0.1	0.05
Bomba 100 hp Influyente	1	1	100	74.6	60	1.0	74.6
Bomba 100 hp Influyente	1	1	100	74.6	50	0.8	62.1
Bomba 100 hp Influyente	1	1	100	74.6	30	0.5	37.3
Bomba 100 hp Influyente	1	1	100	74.6	0	0.0	0.0
Bomba 40 hp Influyente	1	1	40	29.8	40	0.7	19.9
Bomba 40 hp Influyente	1	1	40	29.8	5	0.1	2.5
Bomba 40 hp Influyente	1	1	40	29.8	0	0.0	0.0
Soplador Centrifugo	1	1	450	335.6	60	1.0	302.0
Soplador Centrifugo	1	1	450	335.6	0	0.0	0.0
Soplador Centrifugo	1	0	450	335.6	0	0.0	0.0
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	0	0.0	0.0
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	0	0.0	0.0
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	0	0.0	0.0
Criba Fina Rotatoria	1	0	3	2.2	0	0.0	0.0
Transportador de residuo de criba fina	1	1	8	5.6	60	1.0	5.6
Transportador de residuo de criba fina	1	1	8	5.6	0	0.0	0.0
Transportador de residuo de Criba Fina, en deshidratación de	1	1	5	3.7	60	1.0	3.7
Mezclador Hiperboloides Selector	1	1	20	14.9	60	1.0	14.9
Mezclador Hiperboloides Selector	1	1	20	14.9	60	1.0	14.9
Rastras de clarificador	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
Rastras de clarificador	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
Rastras de clarificador	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	60	1.0	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	3	0.1	0.6
Bomba de Recirculación de Lodo	1	0	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	60	1.0	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	3	0.1	0.6
Bomba de Recirculación de Lodo	1	0	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	60	1.0	11.2
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	3	0.1	0.6
Bomba de Recirculación de Lodo	1	0	15	11.2	0	0.0	0.0
Báscula Hidráulica en cloración	1	1	0.01	0.0	60	1.0	0.01
Báscula Hidráulica en cloración	1	1	0.01	0.0	60	1.0	0.01
Resistencia eléctrica en cloración	1	1	0.1	0.1	60	1.0	0.1
Resistencia eléctrica en cloración	1	1	0.1	0.1	60	1.0	0.1
Regulador de vacío en cloración	1	1	0.04	0.0	60	1.0	0.03
Evaporador en caseta de cloración	1	0	20	14.9	0	0.0	0.0
Polipasto eléctrico en caseta de cloración	1	1	1	0.7	1	0.0	0.01
Bomba para Eyector (cloración)	1	1	15	11.2	60	1.0	11.2
Bomba para Eyector (cloración)	1	0	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de purga a mesa espesadora	1	1	20	14.9	45	0.8	11.2
Bomba de purga a mesa espesadora	1	0	20	14.9	0	0.0	0.0
Mesa espesadora de biosólido	1	1	1.5	1.1	45	0.8	0.8
Mesa espesadora de biosólido	1	0	1.5	1.1	0	0.0	0.0
Filtros Banda	1	1	1.5	1.1	45	0.8	0.8
Filtros Banda	1	0	1.5	1.1	0	0.0	0.0
Agitador de Polímero	1	1	0.8	0.6	45	0.8	0.4
Agitador de Polímero	1	0	0.8	0.6	0	0.0	0.0
Dosificador de Polímero Sólido	1	1	0.2	0.1	1	0.0	0.0
Bomba dosificadora de polímero	1	1	0.8	0.6	45	0.8	0.4
Bomba dosificadora de polímero	1	0	0.8	0.6	0	0.0	0.0
Bomba de lavado de bandas	1	1	10	7.5	45	0.8	5.6
Bomba de lavado de bandas	1	0	10	7.5	0	0.0	0.0
Transportador de biosólido deshidratado	1	1	5	3.7	45	0.8	2.8
Transportador de residuo de criba fina compactado	1	1	5	3.7	60	1.0	3.7
Compactador de residuo de cribado fino	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Segregador de cal	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
Inyector de cal	1	1	1.5	1.1	60	1.0	1.1
Malaxador	1	1	10	7.5	60	1.0	7.5
Transportador de cal	1	1	0.5	0.4	60	1.0	0.4
Transportador de biosólidos con cal	1	1	10	7.5	60	1.0	7.5
Transportador a contenedores	1	1	5	3.7	60	1.0	3.7
Compresor de aire	1	1	30	22.4	3	0.1	1.1
Compresor de aire	1	1	2	1.5	0	0.0	0.0
Sistema de alta presión	1	1	10	7.5	10	0.2	1.2
Bomba de Riego	1	1	15	11.2	15	0.3	2.8
Bomba de Drenajes	1	1	10	7.5	5	0.1	0.6
Bomba de lixiviado	1	1	0.8	0.6	0	0.0	0.0
Luminarias	127	127	0.135	12.7	20	0.3	4.2
Luminarias vialidad	44	44	0.598	19.6	20	0.3	6.5
			Potencia Instalada:		1,805	kW	
					Consumo EE Optimo		
					493,949 kWh		
					m		

Tabla 4-4. Consumo de EE del equipo considerando cambio por motores de alta eficiencia e incorporando variadores de frecuencia

Lista de Equipo y Potencia				Consumo EE c / alta eficiencia			
Equipo	Estado		Potencia		Tiempo uso		Consumo EE kWh
	Instalado	Operación	hp	kW	min / h	h	
Criba Gruesa	1	1	0.8	0.6	1	0.02	0.01
Criba Gruesa	1	1	0.8	0.6	1	0.02	0.01
Transportador de Cribado Grueso	1	1	3	2.2	2	0.03	0.1
Separador de arena	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Separador de arena	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Clasificador de arena	1	1	0.8	0.6	5	0.1	0.05
Bomba 100 hp Influyente	1	1	90	67.1	60	1.0	63.8
Bomba 100 hp Influyente	1	1	90	67.1	45	0.8	47.8
Bomba 100 hp Influyente	1	1	90	67.1	25	0.4	26.6
Bomba 100 hp Influyente	1	1	100	74.6	0	0.0	0.0
Bomba 40 hp Influyente	1	1	40	29.8	0	0.0	0.0
Bomba 40 hp Influyente	1	1	40	29.8	0	0.0	0.0
Bomba 40 hp Influyente	1	1	40	29.8	0	0.0	0.0
Soplador Centrifugo	1	1	450	335.6	60	1.0	302.0
Soplador Centrifugo	1	1	450	335.6	0	0.0	0.0
Soplador Centrifugo	1	0	450	335.6	0	0.0	0.0
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	0	0.0	0.0
Criba Fina Rotatoria	1	1	3	2.2	0	0.0	0.0
Criba Fina Rotatoria	1	0	3	2.2	0	0.0	0.0
Criba Fina Rotatoria	1	0	3	2.2	0	0.0	0.0
Transportador de residuo de criba fina	1	1	8	5.8	60	1.0	5.8
Transportador de residuo de criba fina	1	1	8	5.8	0	0.0	0.0
Transportador de residuo de Criba Fina, en deshidratación de	1	1	5	3.7	60	1.0	3.7
Mezclador Hiperboloide Selector	1	1	20	14.9	60	1.0	14.9
Mezclador Hiperboloide Selector	1	1	20	14.9	60	1.0	14.9
Rastra de clarificador	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
Rastra de clarificador	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
Rastra de clarificador	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
Rastra de clarificador	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	40	0.7	7.1
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	0	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	40	0.7	7.1
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	0	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	40	0.7	7.1
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	40	0.7	7.1
Bomba de Recirculación de Lodo	1	1	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de Recirculación de Lodo	1	0	15	11.2	0	0.0	0.0
Báscula Hidraulica en cloración	1	1	0.01	0.0	60	1.0	0.01
Báscula Hidraulica en cloración	1	1	0.01	0.0	60	1.0	0.01
Resistencia eléctrica en cloración	1	1	0.1	0.1	60	1.0	0.1
Resistencia eléctrica en cloración	1	1	0.1	0.1	60	1.0	0.1
Regulador de vacío en cloración	1	1	0.04	0.0	60	1.0	0.03
Evaporador en caseta de cloración	1	0	20	14.9	0	0.0	0.0
Polipasto eléctrico en caseta de cloración	1	1	1	0.7	1	0.02	0.01
Bomba para Eyector (cloración)	1	1	15	11.2	60	1.0	11.2
Bomba para Eyector (cloración)	1	0	15	11.2	0	0.0	0.0
Bomba de purga a mesa espesadora	1	1	20	14.9	45	0.8	11.2
Bomba de purga a mesa espesadora	1	0	20	14.9	0	0.0	0.0
Mesa espesadora de biosolido	1	1	1.5	1.1	45	0.8	0.8
Mesa espesadora de biosolido	1	0	1.5	1.1	0	0.0	0.0
Filtros Banda	1	1	1.5	1.1	45	0.8	0.8
Filtros Banda	1	0	1.5	1.1	0	0.0	0.0
Agitador de Polímero	1	1	0.8	0.6	15	0.3	0.1
Agitador de Polímero	1	0	0.8	0.6	0	0.0	0.0
Dosificador de Polímero Sólido	1	1	0.2	0.1	1	0.02	0.002
Bomba dosificadora de polímero	1	1	0.8	0.6	45	0.8	0.4
Bomba dosificadora de polímero	1	0	0.8	0.6	0	0.0	0.0
Bomba de lavado de bandas	1	1	10	7.5	45	0.8	5.8
Bomba de lavado de bandas	1	0	10	7.5	0	0.0	0.0
Transportador de biosolido deshidratado	1	1	5	3.7	45	0.8	2.8
Transportador de residuo de criba fina compactado	1	1	5	3.7	60	1.0	3.7
Compactador de residuo de cribado fino	1	1	3	2.2	60	1.0	2.2
Segregador de cal	1	1	0.8	0.6	60	1.0	0.6
Inyector de cal	1	1	1.5	1.1	60	1.0	1.1
Malaxador	1	1	10	7.5	60	1.0	7.5
Transportador de cal	1	1	0.5	0.4	60	1.0	0.4
Transportador de biosolidos con cal	1	1	10	7.5	60	1.0	7.5
Transportador a contenedores	1	1	5	3.7	60	1.0	3.7
Compresor de aire	1	1	30	22.4	3	0.1	1.1
Compresor de aire	1	1	2	1.5	0	0.0	0.0
Sistema de alta presión	1	1	10	7.5	10	0.2	1.2
Bomba de Riego	1	1	15	11.2	15	0.3	2.8
Bomba de Drenajes	1	1	10	7.5	2	0.0	0.2
Bomba de lixiviado	1	1	0.8	0.6	0	0.0	0.0
Luminarias	127	127	0.05	4.5	40	0.7	8.5
Luminarias viabilidad	44	44	0.17	5.7	20	0.3	4.4
			Potencia Instalada:				
					Consumo EE c / alta eficiencia		
					438,907		kWh m

Tabla 4-5. Ahorro en % de consumo y costo anual

Resultados						
Condiciones de Operación	Consumo de EE		Ahorro (en relación a diseño)		Costo por Consumo de EE	Ahorro (en relación a diseño)
	Bombeo	Iluminación	Bombeo	Iluminación	\$/año	%
	kWh/año		%			
Diseño	3,366,813	166,181	-	-	5,914,570	-
Sin medidas de Ahorro	3,854,076	N/Aplica	-135	-	6,397,766	-135
Optima	N/Aplica	109,499	-	341	181,768	341
Con equipo de Alta Eficiencia y Tecnología LED	1,666,752	52,500	500	684	2,908,758	509

4.2. Discusión

La estrategia de controlar la demanda de potencia debe permitir ahorrar energía sin menoscabo de las actividades operativas.

Un sistema de control de la demanda de potencia funciona acertadamente para evitar la coincidencia en demanda de potencia máxima de equipos no prioritarios en momentos pico y resuelve en forma atinada una secuencia de operación para no afectar la productividad de la empresa.

El seguimiento de un programa de actividades que considere optimizar la demanda y el consumo de EE sin descuidar la razón de ser de la PTAR que es dar tratamiento al agua residual, requiere tener al personal operativo involucrado en sus responsabilidades.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Considerando el objetivo de este informe de la práctica profesional que es el de proponer una estrategia para el mejoramiento económico en las PTAR que implementen medidas de ahorro en el consumo eléctrico, después de realizar el diagnóstico energético se observa un potencial de ahorro en la facturación eléctrica si se atienden los siguientes pasos:

- a) Control de la demanda máxima de potencia.

Esta meta ya se logró como se puede observar al dejar solamente las actividades imprescindibles para la operación de la planta en el horario punta especificado por CFE.

- b) Involucrar al personal operativo en el seguimiento de actividades registradas en un programa, a través de su entrenamiento, comprometiéndolos en el ahorro energético.

Ya se lograron resultados al optimizar el consumo de EE como se puede observar en la Tabla 4-3, sobre consumo de EE del equipo en operación óptima.

- c) Enmarcado en el proyecto de ahorro energético se logró obtener un financiamiento de aproximadamente \$ 7MM a pagar en 3 años usando los ahorros generados al disminuir la demanda de potencia máxima y el consumo de EE. El monto total a pagar incluyendo intereses será de aproximadamente de \$

8.5 MM. Para que se pueda ejercer el financiamiento el FIDE en base al diagnóstico energético avala la factibilidad del ahorro.

El estado de este proyecto a finales de septiembre de 2015 es:

- Ya se realizaron los pagos por concepto de anticipo para la adquisición de las 7 bombas sumergibles,
- De los 6 variadores de frecuencia y
- De todas las luminarias a instalarse en el próximo mes de Noviembre del 2015.

De acuerdo con el alcance de este proyecto se realizaron las siguientes actividades:

- Cambio de 7 bombas sumergibles; 3 de 90 hp retirando 3 de 100 hp; 4 bombas sumergibles de 15 hp de alta eficiencia, retirando 4 de 15 hp.
- Adicionado 6 variadores de frecuencia para optimizar el consumo de EE.
- Cambiando todas las luminarias existentes por otras de tecnología LED más recientes.

Se espera un ahorro de entre el 13 al 18% observable en la facturación al mes siguiente de haber instalado todos los equipos nuevos, probablemente para enero del 2016.

El beneficio no es solamente para la PTAR Atapaneco sino que se contribuye con la CFE al dejarle más capacidad de respuesta para sus crecientes demandas de EE.

5.2. Recomendaciones

- Establecer una actualización del programa operativo de los equipos una vez que se tengan las nuevas condiciones del funcionamiento de los equipos instalados.
- Actualizar el procedimiento de ahorro de EE con las nuevas condiciones operativas.

- Mantener el entrenamiento frecuente de los operadores dando retroalimentación de los resultados alcanzados para reforzamiento del compromiso de optimización del uso de la EE adquirido.
- Replicar el diagnóstico para el ahorro de EE en otras PTAR susceptibles a ser optimizadas, ejerciendo las adaptaciones necesarias; se podrían obtener beneficios no solamente de modernización sino económicos.
- Implementar la digestión anaerobia de los biosólidos purgados del tratamiento de lodos activados. Para usar parte del biogás generado para calentar el digestor mejorando la estabilización del biosólidos, al degradarlos de manera más rápida, el biogás restante se podría usar para cogenerar energía eléctrica que se usaría para sustituir EE suministrada por la CFE.
- Propiciar el uso de los biosólidos estabilizados como mejorador de suelos para beneficio de la agricultura.
- Generar propuestas de tratamiento de agua residual teniendo siempre presente la eficiencia en sus procesos, cuidando su economía, además de buscar menores inversiones; una opción podría ser la de adecuar en el cauce de los ríos el equipamiento y acondicionamiento de la zona para que los tratamientos se desarrollen. Implementando, también, el uso de celdas fotovoltaicas y generadores eólicos.

Anexos

Anexo 1

Condiciones de diseño

En las Tablas A1.1 a la A1.10 se indica para las condiciones de **diseño**, el inventario de las luminarias, la demanda de potencia, el consumo de diseño, los tiempos de consumo de EE y su costo anual. Separando las luminarias instaladas en tres áreas de la PTAR:

- o Edificio de Oficinas (Tablas A1. 2 a A1. 4)
- o Edificio de Operación y (Tablas A1. 5 a A1. 7)
- o Exteriores (Tablas A1. 8 a A1.10)

Tabla A1.1. Lista de luminarias en la PTAR Atapameo (Diseño)

Ubicación	Tipo de Lámpara	Cant. de Luminarias	Demanda Potencia		Consumo de Diseño		
			W	KW	H/d	KWh/d	
Edificio Oficinas							
Lámparas de oficina	Lámparas fluorescentes T-12x13W	8	62	0.00	18	89	
Corredor	Lámparas fluorescentes T-8x13W	4	30	0.02	18	22	
Fallos de oficina	Lámparas fluorescentes T-8x13W	9	64	0.08	12	69	
Lámparas de oficina, recepción, sala de juntas, corredor	Lámparas fluorescentes Opata Aranda de 23W	5	23	0.02	12	14	
Recepción de juntas	Lámparas Duras 5W	16	50	0.08	10	80	
Entrada	Lámparas fluorescentes T-10W	1	10	0.00	12	12	
	Suma Potencia		22		17	48	
Edificio Operación							
Oficina de dirección, sala de dirección, sala de energía, sala de planes, sala de reunión	Lámparas fluorescentes T-8x13W	48	64	3.07	18	53	
Fallos de oficina	Lámparas Descarga de Aluminio Micro 40W	12	45	5.34	12	61	
Acceso a las salas	Lámparas Descarga de Aluminio Micro 70W	24	88	2.11	24	57	
	Suma Potencia		15		10	57	
Luminario Exterior							
	Lámparas Descarga de Aluminio Micro 40W	44	45	1.98	12	250	
	Suma Potencia		16		10	250	
Tal		17	33		10	486	

Tabla A1.2. Tiempo de uso de luminarias en Oficinas

Diseño

Abril a Octubre (7 meses)											
Tiempo de uso 14h/d											
Dia				Mes				7 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
h			14	h			426	h			2,981
Lun a Vie	2	6	6	60.8	182.5	182.5	426	1,278	1,278		
Sab	0	7	7	0.0	212.9	212.9	0	1,490	1,490		
Dom	0	5	9	0.0	152.1	273.8	0	1,065	1,916		

Noviembre a Marzo (5 meses)											
Tiempo de uso 14h/d											
Dia				Mes				5 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
h			14	h			426	h			2,129
Lun a Vie	4	4	6	121.7	121.7	182.5	608	608	913		
Sab	2	8	4	60.8	243.3	121.7	304	1,217	608		
Dom	0	7	7	0.0	212.9	212.9	0	1,065	1,065		

Tiempo:	5,110 h/año
---------	-------------

Tabla A1.3. Consumo de EE en Edificio de Oficinas

Diseño

Abril a Octubre (7 meses)											
Tiempo de uso 14h/d											
Dia				Mes				7 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
kWh			309	kWh			999.8	kWh			6,579
Lun a Vie	44	132	132	134.3	402.8	402.8	940	2,819	2,819		
Sab	0.0	15.4	15.4	0.0	469.9	469.9	0	3,289	3,289		
Dom	0.0	11.0	19.9	0.0	335.6	604.2	0	2,350	4,229		

Noviembre a Marzo (5 meses)											
Tiempo de uso 14h/d											
Dia				Mes				5 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
kWh			309	kWh			999.8	kWh			4,699
Lun a Vie	8.8	8.8	13.2	268.5	268.5	402.8	1,343	1,343	2,014		
Sab	4.4	17.7	8.8	134.3	537.0	268.5	671	2,685	1,343		
Dom	0.0	15.4	15.4	0.0	469.9	469.9	0	2,350	2,350		

Consumo EE:	11,278 kWh/año
-------------	----------------

Tabla A1.4. Costo por consumo de EE en Edificio de Oficinas

Diseño										
Abril a Octubre (7 meses)										
Tiempo de uso 14h/d										
Día										
	Punta	Intermedia	Base	Total			\$/sem		243	
							\$/d			
Lun a Vie	88	149	124	361			\$/mes		1,068	
Sab	0	17.4	145	31.8			\$/7 meses		7,404	
Dom	0	124	186	31.0						
Noviembre a Marzo (5 meses)										
Tiempo de uso 14h/d										
Día										
	Punta	Intermedia	Base	Total			\$/sem		269	
							\$/d			
Lun a Vie	17.7	99	124	400			\$/mes		1,168	
Sab	88	199	83	37.0			\$/5 meses		5,840	
Dom	0	17.4	145	31.8						
Costo:										13,244 \$/ano

Tabla A1.5. Tiempo de uso de luminarias en Edificio de Operación

Diseño												
Abril a Octubre (7 meses)												
Tiempo de uso 18h/d												
Día				Mes				7 meses				
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	
h			18	h			547.5	h			3,833	
Lun a Vie	2	10	6	608	3042	1825				426	2,129	1,278
Sab	0	11	7	00	3346	2129				0	2,342	1,490
Dom	0	11	7	00	3346	2129				0	2,342	1,490
Noviembre a Marzo (5 meses)												
Tiempo de uso 18h/d												
Día				Mes				5 meses				
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	
h			18	h			547.5	h			2,738	
Lun a Vie	4	8	6	121.7	2433	1825				608	1,217	913
Sab	2	13	3	608	3954	913				304	1,977	456
Dom	0	11	7	00	3346	2129				0	1,673	1,065
Tiempo:											6,570 h/ano	

Tabla A1.6. Consumo de EE en Edificio de Operación

Diseño											
Abril a Octubre (7 meses)											
Tiempo de uso 18h/d											
Dia				Mes				7 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
kWh			189.4	kWh			5,761.9	kWh			40,333
Lun a Vie	21.0	105.2	63.1	640.2	3201.1	1920.6		4,481	22,407	13,444	
Sab	0.0	115.8	73.7	0.0	3521.2	2240.7		0	24,648	15,685	
Dom	0.0	115.8	73.7	0.0	3521.2	2240.7		0	24,648	15,685	
Noviembre a Marzo (5 meses)											
Tiempo de uso 18h/d											
Dia				Mes				5 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
kWh			189.4	kWh			5,761.9	kWh			28,809
Lun a Vie	42.1	84.2	63.1	1280.4	2560.8	1920.6		6,402	12,804	9,603	
Sab	21.0	136.8	31.6	640.2	4161.4	960.3		3,201	20,807	4,802	
Dom	0.0	115.8	73.7	0.0	3521.2	2240.7		0	17,606	11,204	
Consumo EE:										69,143 kWh/año	

Tabla A1.7. Costo por consumo de EE en Edificio de Operación

Diseño												
Abril a Octubre (7 meses)												
Tiempo de uso 18h/d												
Dia												
Punta	Intermedia	Base	Total					\$/sem		1,486		
								\$/d				
Lun a Vie	42.2	118.3	59.1	219.6					\$/mes		6,500	
Sab	0	130.2	68.9	199.1					\$/7 meses		45,503	
Dom	0	130.2	68.9	199.1								
Noviembre a Marzo (5 meses)												
Tiempo de uso 18h/d												
Dia												
Punta	Intermedia	Base	Total					\$/sem		1,615		
								\$/mes		7,018		
Lun a Vie	84.4	94.7	59.1	238.1					\$/5 meses		35,088	
Sab	42.2	153.8	29.5	225.5								
Dom	0	130.2	68.9	199.1								
Costo:										80,591 \$/año		

Tabla A1.8. Tiempo de uso de luminarias en exteriores

Diseño

Abril a Octubre (7 meses)											
Tiempo de uso 12 h/d											
Dia				Mes				7 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
h			12	h			365	h			2,555
Lun a Vie	2	4	6	60.8	121.7	182.5		426	852	1,278	
Sab	0	5	7	0.0	152.1	212.9		0	1,065	1,490	
Dom	0	5	7	0.0	152.1	212.9		0	1,065	1,490	
Noviembre a Marzo (5 meses)											
Tiempo de uso 12 h/d											
Dia				Mes				5 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
h			12	h			365	h			1,825
Lun a Vie	3	3	6	91.3	91.3	182.5		456	456	913	
Sab	2	7	3	60.8	212.9	91.3		304	1,065	456	
Dom	0	5	7	0.0	152.1	212.9		0	760	1,065	
Tiempo:										4,380 h / ano	

Tabla A1.9. Consumo de EE en exteriores

Diseño

Abril a Octubre (7 meses)											
Tiempo de uso 12 h/d											
Dia				Mes				7 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
kWh			235.0	kWh			7,146.7	kWh			50,027
Lun a Vie	39.2	78.3	117.5	1191.1	2382.2	3573.4		8,338	16,676	25,013	
Sab	0.0	97.9	137.1	0.0	2977.8	4168.9		0	20,845	29,182	
Dom	0.0	97.9	137.1	0.0	2977.8	4168.9		0	20,845	29,182	
Noviembre a Marzo (5 meses)											
Tiempo de uso 12 h/d											
Dia				Mes				5 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
kWh			235.0	kWh			7,146.7	kWh			35,734
Lun a Vie	58.7	58.7	117.5	1786.7	1786.7	3573.4		8,933	8,933	17,867	
Sab	39.2	137.1	58.7	1191.1	4168.9	1786.7		5,956	20,845	8,933	
Dom	0.0	97.9	137.1	0.0	2977.8	4168.9		0	14,889	20,845	
Consumo EE:										85,760 kWh / ano	

Tabla A1.10. Costo por consumo de EE en exteriores

Diseño

Abril a Octubre (7 meses)

Tiempo de uso 12 h / d

Dia					
	Punta	Intermedia	Base	Total	
					\$/ sem 1,859
				\$/ d	
Lun a Vie	78.5	88.1	109.9	276.4	\$/ mes 8,076
Sab	0	110.1	128.2	238.3	
Dom	0	110.1	128.2	238.3	\$/ 7 meses 56,535

Noviembre a Marzo (5 meses)

Tiempo de uso 12 h / d

Dia					
	Punta	Intermedia	Base	Total	
					\$/ sem 1,994
				\$/ d	
Lun a Vie	117.7	66.0	109.9	293.7	\$/ mes 8,665
Sab	78.5	154.1	54.9	287.5	
Dom	0	110.1	128.2	238.3	\$/ 5 meses 43,324

Costo:	99,859 \$ / ano
--------	------------------------

Anexo 2

Condición óptima

En las Tablas A2.1 a la A2.10 se indica para las condiciones de operación **óptimas**, el inventario de las luminarias, la demanda de potencia, el consumo de diseño, los tiempos de consumo de EE y su costo anual. Separando las luminarias instaladas en tres áreas de la PTAR:

- Edificio de Oficinas (Tablas A2. 2 a A2. 4)
- Edificio de Operación y (Tablas A2. 5 a A2. 7)
- Exteriores (Tablas A2. 8 a A2.10)

Tabla A2.1. Lista de luminarias en la PTAR Atapaneo (óptimo)

Ubicación	Tipo de Lámpara	Cantidad Luminarias	Potencia Unitaria W	Potencia Óptima WW	Tiempo h/d	Consumo WWd
Edificio de Oficinas						
Laboratorio oficinas	Lámparas Fluorescentes tipo T-12 de 1x39W	8	62	050	10	50
Conector	Lámparas Fluorescentes tipo T-8 de 1x32W	4	30	012	8	10
Pasillo servicio, oficina baños	Lámparas Fluorescentes tipo T-8 de 2x32W	9	64	058	10	58
Laboratorio oficinas, recepción sala de juntas, conector	Lámparas Fluorescentes Compactas Ahorras de 28	5	23	012	10	12
Recepción sala de juntas	Lámparas Dorcas 50W	16	50	080	9	72
Entrada Lab	Lámparas Incandescentes de 100W	1	100	010	10	10
	Subtotal			22		210
	Rounded				95	
Edificio de Operación						
COM, Operación baños, área recepción, control, mantenimiento planta de energía, botega, sopleadores, subestación	Lámparas Fluorescentes tipo T-8 de 2x32W	48	64	307	16	492
Fachada edificio de operación	Lámparas de Descarga de Activos Metálicos de 40W	12	45	534	10	534
Área de prensa, área de recibos	Lámparas de Descarga de Activos Metálicos de 70W	24	88	211	24	507
	Subtotal			105		1532
	Rounded				167	511
Iluminación Exterior						
	Lámparas de Descarga de Activos Metálicos de 40W	29	45	1291	8	1032
	Subtotal			1291		1032
	Rounded				80	
Total		156		256		2775

Tabla A2.2. Tiempo de uso de luminarias en oficinas (óptimo)

Optimo

Abril a Octubre (7 meses)												
												Tiempo de uso 9.5 h / d
Dia				Mes				7 meses				
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	
h			9.5	h			289	h			2,023	
Lun a Vie	2	3.5	4	60.8	106.5	121.7		426	745	852		
Sab	0	4.5	5	0.0	136.9	152.1		0	958	1,065		
Dom	0	3.5	6	0.0	106.5	182.5		0	745	1,278		
Noviembre a Marzo (5 meses)												
												Tiempo de uso 9.5 h / d
Dia				Mes				5 meses				
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	
h			9.5	h			289	h			1,445	
Lun a Vie	4	3	2.5	121.7	91.3	76.0		608	456	380		
Sab	2	4	3.5	60.8	121.7	106.5		304	608	532		
Dom	0	5	4.5	0.0	152.1	136.9		0	760	684		
Tiempo:											3,468 h / año	

Tabla A2.3. Consumo de EE en Edificio de Oficinas (óptimo)

Optimo

Abril a Octubre (7 meses)												
												Tiempo de uso 9.5 h / d
Dia				Mes				7 meses				
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	
kWh			21.0	kWh			637.7	kWh			4,464	
Lun a Vie	4.4	7.7	8.8	134.3	235.0	268.5		940	1,645	1,880		
Sab	0.0	9.9	11.0	0.0	302.1	335.6		0	2,115	2,350		
Dom	0.0	7.7	13.2	0.0	235.0	402.8		0	1,645	2,819		
Noviembre a Marzo (5 meses)												
												Tiempo de uso 9.5 h / d
Dia				Mes				5 meses				
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	
kWh			21.0	kWh			637.7	kWh			3,189	
Lun a Vie	8.8	6.6	5.5	268.5	201.4	167.8		1,343	1,007	839		
Sab	4.4	8.8	7.7	134.3	268.5	235.0		671	1,343	1,175		
Dom	0.0	11.0	9.9	0.0	335.6	302.1		0	1,678	1,510		
Consumo EE:											7,653 kWh / año	

Tabla A2.4. Costo por consumo de EE en Edificio de Oficinas (óptimo)

Optimo									
Abril a Octubre (7 meses)									
Tiempo de uso 9.5 h/d									
Dia									
	Punta	Intermedia	Base	Total					
					\$/ sem	172			
					\$/ d				
Lun a Vie	8.8	8.7	8.3	25.8					
Sab	0	11.2	10.3	21.5	\$/ mes 745				
Dom	0	8.7	12.4	21.1	\$/ 7 meses 5,217				
Noviembre a Marzo (5 meses)									
Tiempo de uso 9.5 h/d									
Dia									
	Punta	Intermedia	Base	Total					
					\$/ sem	199			
					\$/ d				
Lun a Vie	17.7	7.4	5.2	30.3					
Sab	8.8	9.9	7.2	26.0	\$/ mes 865				
Dom	0	12.4	9.3	21.7	\$/ 5 meses 4,327				
Costo:									
									9,544 \$ / año

Tabla A2.5. Tiempo de uso de luminarias en Edificio de Operación (óptimo)

Optimo														
Abril a Octubre (7 meses)														
Tiempo de uso 16.7 h/d														
Dia				Mes				7 meses						
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total			
h			16.7	h			508	h			3,556			
Lun a Vie	2	8.7	6	60.8	264.6	182.5						426	1,852	1,278
Sab	0	9.7	7	0.0	295.0	212.9						0	2,065	1,490
Dom	0	9.7	7	0.0	295.0	212.9						0	2,065	1,490
Noviembre a Marzo (5 meses)														
Tiempo de uso 16.7 h/d														
Dia				Mes				5 meses						
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total			
h			16.7	h			508	h			2,540			
Lun a Vie	4	6.7	6	121.7	203.8	182.5						608	1,019	913
Sab	2	11.7	3	60.8	355.9	91.3						304	1,779	456
Dom	0	9.7	7	0.0	295.0	212.9						0	1,475	1,065
Tiempo:											6,096 h / año			

Tabla A2.6. Consumo de EE en Edificio de Operación (óptimo)

Optimo

Abril a Octubre (7 meses)											
Tiempo de uso 16.7 h / d											
Dia				Mes				7 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
kWh			175.8	kWh			5,345.8	kWh			37,420
Lun a Vie	21.0	91.6	63.1	640.2	2784.9	1920.6		4,481	19,494	13,444	
Sab	0.0	102.1	73.7	0.0	3105.0	2240.7		0	21,735	15,685	
Dom	0.0	102.1	73.7	0.0	3105.0	2240.7		0	21,735	15,685	
Noviembre a Marzo (5 meses)											
Tiempo de uso 16.7 h / d											
Dia				Mes				5 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
kWh			175.8	kWh			5,345.8	kWh			26,729
Lun a Vie	42.1	70.5	63.1	1280.4	2144.7	1920.6		6,402	10,724	9,603	
Sab	21.0	123.1	31.6	640.2	3745.2	960.3		3,201	18,726	4,802	
Dom	0.0	102.1	73.7	0.0	3105.0	2240.7		0	15,525	11,204	
Consumo EE:										64,149 kWh / año	

Tabla A2.7. Costo por consumo de EE en Edificio de Operación (óptimo)

Optimo

Abril a Octubre (7 meses)												
Tiempo de uso 16.7 h / d												
Dia												
Punta	Intermedia	Base	Total					\$/ sem		1,388		
			\$/ d					\$/ mes		6,033		
Lun a Vie	42.2	102.9	59.1	204.2					\$/ 7 meses		42,228	
Sab	0	114.8	68.9	183.7								
Dom	0	114.8	68.9	183.7								
Noviembre a Marzo (5 meses)												
Tiempo de uso 16.7 h / d												
Dia												
Punta	Intermedia	Base	Total					\$/ sem		1,507		
			\$/ d					\$/ mes		6,550		
Lun a Vie	84.4	79.3	59.1	222.7					\$/ 5 meses		32,749	
Sab	42.2	138.4	29.5	210.2								
Dom	0	114.8	68.9	183.7								
Costo:										74,977 \$ / año		

Tabla A2.8. Tiempo de uso de luminarias en exteriores (óptimo)

Óptimo

Abril a Octubre (7 meses)												
Tiempo de uso 8 h / d												
Dia				Mes				7 meses				
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	
h			8	h			243	h			1,703	
Lun a Vie	2	2	4	60.8	60.8	121.7	426	426	852			
Sab	0	3	5	0.0	91.3	152.1	0	639	1,065			
Dom	0	3	5	0.0	91.3	152.1	0	639	1,065			
Noviembre a Marzo (5 meses)												
Tiempo de uso 8 h / d												
Dia				Mes				5 meses				
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	
h			8	h			243	h			1,217	
Lun a Vie	3	2	3	91.3	60.8	91.3	456	304	456			
Sab	2	4	2	60.8	121.7	60.8	304	608	304			
Dom	0	4	4	0.0	121.7	121.7	0	608	608			
Tiempo:										2,920 h / ano		

Tabla A2.9. Consumo de EE en exteriores (óptimo)

Óptimo

Abril a Octubre (7 meses)												
Tiempo de uso 8 h / d												
Dia				Mes				7 meses				
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	
kWh			103.3	kWh			3,141.4	kWh			21,990	
Lun a Vie	25.8	25.8	51.6	785.4	785.4	1570.7	5,498	5,498	10,995			
Sab	0.0	38.7	64.6	0.0	1178.0	1963.4	0	8,246	13,744			
Dom	0.0	38.7	64.6	0.0	1178.0	1963.4	0	8,246	13,744			
Noviembre a Marzo (5 meses)												
Tiempo de uso 8 h / d												
Dia				Mes				5 meses				
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	
kWh			103.3	kWh			3,141.4	kWh			15,707	
Lun a Vie	38.7	25.8	38.7	1178.0	785.4	1178.0	5,890	3,927	5,890			
Sab	25.8	51.6	25.8	785.4	1570.7	785.4	3,927	7,854	3,927			
Dom	0.0	51.6	51.6	0.0	1570.7	1570.7	0	7,854	7,854			
Consumo EE:										37,697 kWh / ano		

Tabla A2.10. Costo por consumo de EE en exteriores (óptimo)

Óptimo

Abril a Octubre (7 meses)

Tiempo de uso 8 h/d

	Dia			
	Punta	Intermedia	Base	Total
				\$/d
Lun a Vie	51.7	29.0	48.3	129.1
Sab	0	43.5	60.4	103.9
Dom	0	43.5	60.4	103.9

\$ / sem 853

\$ / mes 3,708

\$ / 7 meses 25,953

Noviembre a Marzo (5 meses)

Tiempo de uso 8 h/d

	Dia			
	Punta	Intermedia	Base	Total
				\$/d
Lun a Vie	77.6	29.0	36.2	142.9
Sab	51.7	58.1	24.2	134.0
Dom	0	58.1	48.3	106.4

\$ / sem 955

\$ / mes 4,148

\$ / 5 meses 20,742

Costo: 46,695 \$ / año

Tabla A3.2. Tiempo de uso de luminarias en Oficinas (LED)

LED

Abril a Octubre (7 meses)											
Tiempo de uso 14 h / d											
Dia				Mes				7 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
h			14	h			426	h			2,981
Lun a Vie	2	6	6	60.8	182.5	182.5	426	1,278	1,278		
Sab	0	7	7	0.0	212.9	212.9	0	1,490	1,490		
Dom	0	7	7	0.0	212.9	212.9	0	1,490	1,490		

Noviembre a Marzo (5 meses)											
Tiempo de uso 14 h / d											
Dia				Mes				5 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
h			14	h			426	h			2,129
Lun a Vie	4	6	4	121.7	182.5	121.7	608	913	608		
Sab	2	7	5	60.8	212.9	152.1	304	1,065	760		
Dom	0	8	6	0.0	243.3	182.5	0	1,217	913		

Tiempo:	5,110 h / año
---------	---------------

Tabla A3.3. Consumo de EE en Edificio de Oficinas (LED)

LED

Abril a Octubre (7 meses)											
Tiempo de uso 14 h / d											
Dia				Mes				7 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
kWh			20.8	kWh			631.5	kWh			4,421
Lun a Vie	3.0	8.9	8.9	90.2	270.6	270.6	632	1,895	1,895		
Sab	0.0	10.4	10.4	0.0	315.8	315.8	0	2,210	2,210		
Dom	0.0	10.4	10.4	0.0	315.8	315.8	0	2,210	2,210		

Noviembre a Marzo (5 meses)											
Tiempo de uso 14 h / d											
Dia				Mes				5 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
kWh			20.8	kWh			631.5	kWh			3,158
Lun a Vie	5.9	8.9	5.9	180.4	270.6	180.4	902	1,353	902		
Sab	3.0	10.4	7.4	90.2	315.8	225.5	451	1,579	1,128		
Dom	0.0	11.9	8.9	0.0	360.9	270.6	0	1,804	1,353		

Consumo EE:	7,578 kWh / año
-------------	-----------------

Tabla A3.4. Costo por consumo de EE en Edificio de Oficinas (LED)

LED																											
Abril a Octubre (7 meses)																											
Tiempo de uso 14 h/d																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="4">Dia</th> </tr> <tr> <th>Punta</th> <th>Intermedia</th> <th>Base</th> <th>Total</th> </tr> <tr> <td>Lun a Vie</td> <td>5.9</td> <td>10.0</td> <td>8.3</td> <td>24.3</td> </tr> <tr> <td>Sab</td> <td>0</td> <td>11.7</td> <td>9.7</td> <td>21.4</td> </tr> <tr> <td>Dom</td> <td>0</td> <td>11.7</td> <td>9.7</td> <td>21.4</td> </tr> </table>					Dia				Punta	Intermedia	Base	Total	Lun a Vie	5.9	10.0	8.3	24.3	Sab	0	11.7	9.7	21.4	Dom	0	11.7	9.7	21.4
Dia																											
Punta	Intermedia	Base	Total																								
Lun a Vie	5.9	10.0	8.3	24.3																							
Sab	0	11.7	9.7	21.4																							
Dom	0	11.7	9.7	21.4																							
				\$ / sem	164																						
				\$ / mes	713																						
				\$ / 7 meses	4,992																						
Noviembre a Marzo (5 meses)																											
Tiempo de uso 14 h/d																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="4">Dia</th> </tr> <tr> <th>Punta</th> <th>Intermedia</th> <th>Base</th> <th>Total</th> </tr> <tr> <td>Lun a Vie</td> <td>11.9</td> <td>10.0</td> <td>5.5</td> <td>27.4</td> </tr> <tr> <td>Sab</td> <td>5.9</td> <td>11.7</td> <td>6.9</td> <td>24.6</td> </tr> <tr> <td>Dom</td> <td>0</td> <td>13.3</td> <td>8.3</td> <td>21.7</td> </tr> </table>					Dia				Punta	Intermedia	Base	Total	Lun a Vie	11.9	10.0	5.5	27.4	Sab	5.9	11.7	6.9	24.6	Dom	0	13.3	8.3	21.7
Dia																											
Punta	Intermedia	Base	Total																								
Lun a Vie	11.9	10.0	5.5	27.4																							
Sab	5.9	11.7	6.9	24.6																							
Dom	0	13.3	8.3	21.7																							
				\$ / sem	183																						
				\$ / mes	797																						
				\$ / 5 meses	3,985																						
Costo:					8,977 \$ / ano																						

Tabla A3.5. Tiempo de uso de luminarias en Edificio de Operación (LED)

LED																																																	
Abril a Octubre (7 meses)																																																	
Tiempo de uso 18 h/d																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="4">Dia</th> <th colspan="4">Mes</th> <th colspan="5">7 meses</th> </tr> <tr> <th>Punta</th> <th>Intermedia</th> <th>Base</th> <th>Total</th> <th>Punta</th> <th>Intermedia</th> <th>Base</th> <th>Total</th> <th>Punta</th> <th>Intermedia</th> <th>Base</th> <th>Total</th> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">h</td> <td style="text-align: center;">18</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">h</td> <td style="text-align: center;">548</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">h</td> <td style="text-align: center;">3,833</td> </tr> </table>													Dia				Mes				7 meses					Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	h			18	h			548	h			3,833
Dia				Mes				7 meses																																									
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total																																						
h			18	h			548	h			3,833																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Lun a Vie</td> <td>2</td> <td>10</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Sab</td> <td>0</td> <td>11</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Dom</td> <td>0</td> <td>11</td> <td>7</td> </tr> </table>				Lun a Vie	2	10	6	Sab	0	11	7	Dom	0	11	7	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>60.8</td> <td>304.2</td> <td>182.5</td> </tr> <tr> <td>0.0</td> <td>334.6</td> <td>212.9</td> </tr> <tr> <td>0.0</td> <td>334.6</td> <td>212.9</td> </tr> </table>				60.8	304.2	182.5	0.0	334.6	212.9	0.0	334.6	212.9	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>426</td> <td>2,129</td> <td>1,278</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>2,342</td> <td>1,490</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>2,342</td> <td>1,490</td> </tr> </table>					426	2,129	1,278	0	2,342	1,490	0	2,342	1,490							
Lun a Vie	2	10	6																																														
Sab	0	11	7																																														
Dom	0	11	7																																														
60.8	304.2	182.5																																															
0.0	334.6	212.9																																															
0.0	334.6	212.9																																															
426	2,129	1,278																																															
0	2,342	1,490																																															
0	2,342	1,490																																															
Noviembre a Marzo (5 meses)																																																	
Tiempo de uso 18 h/d																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="4">Dia</th> <th colspan="4">Mes</th> <th colspan="5">5 meses</th> </tr> <tr> <th>Punta</th> <th>Intermedia</th> <th>Base</th> <th>Total</th> <th>Punta</th> <th>Intermedia</th> <th>Base</th> <th>Total</th> <th>Punta</th> <th>Intermedia</th> <th>Base</th> <th>Total</th> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">h</td> <td style="text-align: center;">18</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">h</td> <td style="text-align: center;">548</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">h</td> <td style="text-align: center;">2,738</td> </tr> </table>													Dia				Mes				5 meses					Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	h			18	h			548	h			2,738
Dia				Mes				5 meses																																									
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total																																						
h			18	h			548	h			2,738																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Lun a Vie</td> <td>4</td> <td>8</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Sab</td> <td>2</td> <td>12</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Dom</td> <td>0</td> <td>11</td> <td>7</td> </tr> </table>				Lun a Vie	4	8	6	Sab	2	12	4	Dom	0	11	7	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>121.7</td> <td>243.3</td> <td>182.5</td> </tr> <tr> <td>60.8</td> <td>365.0</td> <td>121.7</td> </tr> <tr> <td>0.0</td> <td>334.6</td> <td>212.9</td> </tr> </table>				121.7	243.3	182.5	60.8	365.0	121.7	0.0	334.6	212.9	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>608</td> <td>1,217</td> <td>913</td> </tr> <tr> <td>304</td> <td>1,825</td> <td>608</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1,673</td> <td>1,065</td> </tr> </table>					608	1,217	913	304	1,825	608	0	1,673	1,065							
Lun a Vie	4	8	6																																														
Sab	2	12	4																																														
Dom	0	11	7																																														
121.7	243.3	182.5																																															
60.8	365.0	121.7																																															
0.0	334.6	212.9																																															
608	1,217	913																																															
304	1,825	608																																															
0	1,673	1,065																																															
Tiempo:											6,570 h / ano																																						

Tabla A3.6. Consumo de EE en Edificio de Operación (LED)

LED											
Abril a Octubre (7 meses)											
Tiempo de uso 18 h/d											
Dia				Mes				7 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
kWh			54.4	kWh			1,655.6	kWh			11,589
Lun a Vie	6.0	30.2	18.1	184.0	919.8	551.9		1,288	6,439	3,863	
Sab	0.0	33.3	21.2	0.0	1,011.8	643.9		0	7,082	4,507	
Dom	0.0	33.3	21.2	0.0	1,011.8	643.9		0	7,082	4,507	
Noviembre a Marzo (5 meses)											
Tiempo de uso 18 h/d											
Dia				Mes				5 meses			
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total
kWh			54.4	kWh			1,655.6	kWh			8,278
Lun a Vie	12.1	24.2	18.1	367.9	735.8	551.9		1,840	3,679	2,759	
Sab	6.0	36.3	12.1	184.0	1,103.8	367.9		920	5,519	1,840	
Dom	0.0	33.3	21.2	0.0	1,011.8	643.9		0	5,059	3,219	
Consumo EE:										19,868 kWh / año	

Tabla A3.7. Costo por consumo de EE en Edificio de Operación (LED)

LED												
Abril a Octubre (7 meses)												
Tiempo de uso 18 h/d												
Dia												
Punta	Intermedia	Base	Total					\$/ sem		430		
			\$/d					\$/ mes		1,868		
Lun a Vie	12.1	34.0	17.0	63.1					\$/ 7 meses		13,075	
Sab	0	37.4	19.8	57.2								
Dom	0	37.4	19.8	57.2								
Noviembre a Marzo (5 meses)												
Tiempo de uso 18 h/d												
Dia												
Punta	Intermedia	Base	Total					\$/ sem		463		
			\$/d					\$/ mes		2,014		
Lun a Vie	24.2	27.2	17.0	68.4					\$/ 5 meses		10,070	
Sab	12.1	40.8	11.3	64.2								
Dom	0	37.4	19.8	57.2								
Costo:										23,145 \$ / año		

Tabla A3.8. Tiempo de uso de luminarias en exteriores (LED)

LED

Abril a Octubre (7 meses)												
Tiempo de uso 12 h/d												
Dia				Mes				7 meses				
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	
h			12	h			365	h			2,555	
Lun a Vie	2	4	6	60.8	121.7	182.5		426	852	1,278		
Sab	0	5	7	0.0	152.1	212.9		0	1,065	1,490		
Dom	0	5	7	0.0	152.1	212.9		0	1,065	1,490		

Noviembre a Marzo (5 meses)												
Tiempo de uso 12 h/d												
Dia				Mes				5 meses				
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	
h			12	h			365	h			1,825	
Lun a Vie	3	4	5	91.3	121.7	152.1		456	608	760		
Sab	2	6	4	60.8	182.5	121.7		304	913	608		
Dom	0	6	6	0.0	182.5	182.5		0	913	913		

Tiempo:	4,380 h / año
---------	---------------

Tabla A3.9. Consumo de EE en exteriores (LED)

LED

Abril a Octubre (7 meses)												
Tiempo de uso 12 h/d												
Dia				Mes				7 meses				
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	
kWh			68.6	kWh			2,087.8	kWh			14,615	
Lun a Vie	11.4	22.9	34.3	348.0	695.9	1043.9		2,436	4,872	7,307		
Sab	0.0	28.6	40.0	0.0	869.9	1217.9		0	6,089	8,525		
Dom	0.0	28.6	40.0	0.0	869.9	1217.9		0	6,089	8,525		

Noviembre a Marzo (5 meses)												
Tiempo de uso 12 h/d												
Dia				Mes				5 meses				
Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	Punta	Intermedia	Base	Total	
kWh			68.6	kWh			2,087.8	kWh			10,439	
Lun a Vie	17.2	22.9	28.6	522.0	695.9	869.9		2,610	3,480	4,350		
Sab	11.4	34.3	22.9	348.0	1043.9	695.9		1,740	5,220	3,480		
Dom	0.0	34.3	34.3	0.0	1043.9	1043.9		0	5,220	5,220		

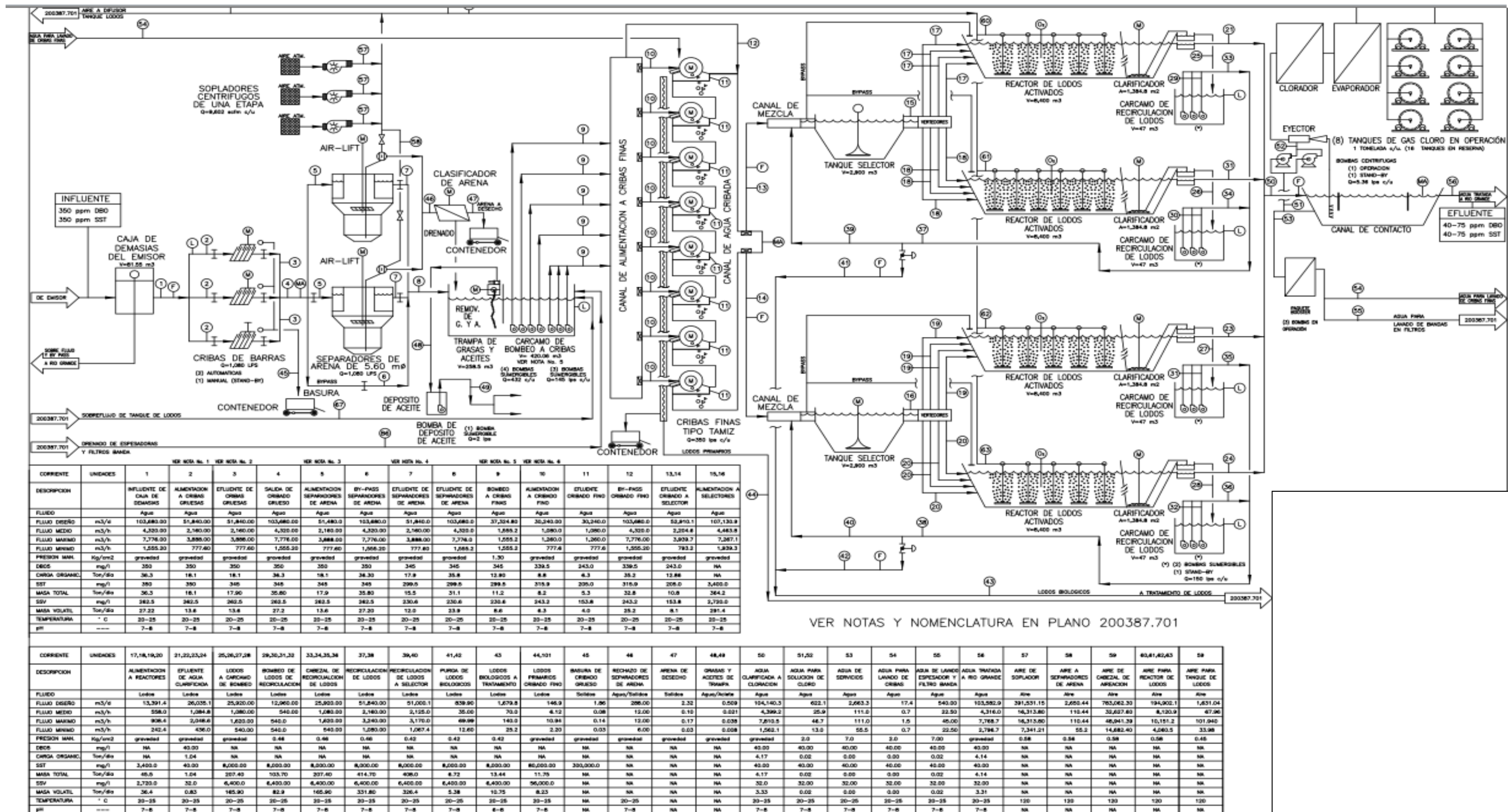
Consumo EE:	25,054 kWh / año
-------------	------------------

Tabla A3.10. Costo por consumo de EE en exteriores (LED)

Abril a Octubre (7 meses)					LED
					Tiempo de uso 12 h/d
Dia					
	Punta	Intermedia	Base	Total	
				\$ / d	\$ / sem 543
Lun a Vie	22.9	25.7	32.1	80.8	
Sab	0	32.2	37.5	69.6	\$ / mes 2,359
Dom	0	32.2	37.5	69.6	\$ / 7 meses 16,516
Noviembre a Marzo (5 meses)					
					Tiempo de uso 12 h/d
Dia					
	Punta	Intermedia	Base	Total	
				\$ / d	\$ / sem 588
Lun a Vie	34.4	25.7	26.8	86.9	
Sab	22.9	38.6	21.4	82.9	\$ / mes 2,555
Dom	0	38.6	32.1	70.7	\$ / 5 meses 12,774
Costo:					29,290 \$ / año

Anexo 4

Diagrama de flujo de la PTAR Atapaneo



		VER HOJA No. 1	VER HOJA No. 2	VER HOJA No. 3	VER HOJA No. 4	VER HOJA No. 5	VER HOJA No. 6
CORRIENTE	UNIDADES	1	2	3	4	5	6
DESCRIPCION		INFLUYENTE DE CAJA DE DEMASIAS	ALIMENTACION A CRIBAS GRUESAS	EFLUENTE DE CRIBAS GRUESAS	SAIDA DE CRIBAS GRUESAS	ALIMENTACION SEPARADORES DE ARENA	BY-PASS SEPARADORES DE ARENA
FLUIDO		Agua	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua
FLUJO DISEÑO	m ³ /s	103,680.00	51,840.00	51,840.00	103,680.00	51,840.00	103,680.00
FLUJO MEDIO	m ³ /h	4,320.00	2,160.00	2,160.00	4,320.00	2,160.00	4,320.00
FLUJO MAXIMO	m ³ /h	7,776.00	3,888.00	3,888.00	7,776.00	3,888.00	7,776.00
FLUJO MINIMO	m ³ /h	1,555.20	777.60	777.60	1,555.20	777.60	1,555.20
PRESION MAN.	Kg/cm ²	gravedad	gravedad	gravedad	gravedad	gravedad	gravedad
DBOS	mg/l	350	350	350	350	345	345
CARGA ORGANICA	Ton/dia	36.3	18.1	18.1	36.3	18.1	36.3
SST	mg/l	350	350	345	345	299.5	299.5
MASA TOTAL	Ton/dia	36.3	18.1	17.90	35.80	17.9	35.80
SSV	mg/l	382.5	382.5	382.5	382.5	330.6	330.6
MASA VOLATIL	Ton/dia	27.22	13.6	13.6	27.22	13.6	27.22
TEMPERATURA	° C	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25
pH		7-8	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8

		17,18,19,20	21,22,23,24	25,26,27,28	29,30,31,32	33,34,35,36	37,38	39,40	41,42	43	44,101	45	46	47	48,49	50	51,52	53	54	55	56	57	58	59	60,61,62,63	68
CORRIENTE	UNIDADES																									
DESCRIPCION		ALIMENTACION A REACTORES	EFLUENTE DE AGUA CLARIFICADA	LODOS A CARCANO DE BOMBEO	BOMBEO DE LODOS DE RECIRCULACION	RECICLADO DE LODOS DE RECIRCULACION	RECIRCULACION DE LODOS A SELECTOR	PURGA DE LODOS BIOLÓGICOS	LODOS BIOLÓGICOS A TRATAMIENTO	LODOS PRIMARIOS CRIBADO FINO	BASURA DE CREBADO GRUESO	RECHAZO DE SEPARADOR DE ARENA	ARENA DE DESECHO	GRASAS Y ACEITES DE TRAMPA	AGUA CLARIFICADA A CLORACION	AGUA PARA SOLUCION DE CLORO	AGUA DE SERVICIOS	AGUA PARA LAVADO DE CRIBAS	AGUA PARA LAVADO DE ESPESADOR Y FILTRO BANDAS	AGUA TRAZADA A RIO GRANDE	AIRE DE SOPLADOR	AIRE A SEPARADORES DE ARENA	AIRE DE CARGAL DE ARENACION	AIRE PARA REACTOR DE LODOS	AIRE PARA TANQUE DE LODOS	
FLUIDO		Lodos	Lodos	Lodos	Lodos	Lodos	Lodos	Lodos	Lodos	Lodos	Sólidos	Agua/Sólidos	Sólidos	Agua/Aciete	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua	Aire	Aire	Aire	Aire	Aire	
FLUJO DISEÑO	m ³ /s	13,391.4	26,035.1	25,920.00	25,920.00	51,840.00	51,000.1	839.90	1,679.8	146.9	1.80	286.00	2.32	0.509	194,140.3	622.1	2,663.3	17.4	540.00	103,582.9	391,531.15	2,650.44	763,062.30	194,902.1	1,631.04	
FLUJO MEDIO	m ³ /h	558.0	1,084.8	1,080.00	540.00	1,080.00	2,125.0	35.00	70.0	6.12	0.08	12.00	0.10	0.021	4,399.2	25.9	111.0	0.7	22.50	4,316.0	16,313.80	110.44	32,637.60	8,120.9	67.90	
FLUJO MAXIMO	m ³ /h	906.4	2,048.8	1,623.00	540.00	1,620.00	3,170.0	69.98	140.0	10.94	0.14	12.00	0.17	0.038	7,610.5	46.7	111.0	1.5	45.00	7,768.7	16,313.80	110.44	48,041.39	10,151.2	101.940	
FLUJO MINIMO	m ³ /h	242.4	436.0	540.00	540.00	1,080.00	1,067.4	12.60	25.2	2.20	0.03	6.00	0.03	0.008	1,562.1	13.0	55.5	0.7	22.50	2,794.7	7,341.21	55.2	14,682.40	4,060.5	33.98	
PRESION MAN.	Kg/cm ²	gravedad	gravedad	gravedad	0.48	0.48	0.42	0.42	0.42	0.42	gravedad	gravedad	gravedad	gravedad	gravedad	2.0	7.0	3.0	7.00	gravedad	0.58	0.58	0.58	0.58	0.48	
DBOS	mg/l	NA	40.00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	NA	NA	NA	NA	NA	
CARGA ORGANICA	Ton/dia	NA	1.04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	4.17	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	NA	NA	NA	NA	NA	
SST	mg/l	3,450.0	40.00	8,000.00	8,000.00	8,000.00	8,000.00	8,000.00	8,000.00	8,000.00	80,000.00	300,000.00	NA	NA	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	NA	NA	NA	NA	NA	
MASA TOTAL	Ton/dia	48.5	1.04	207.42	103.70	414.70	406.0	6.72	13.44	11.79	NA	NA	NA	NA	4.17	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	NA	NA	NA	NA	NA	
SSV	mg/l	2,720.0	32.0	6,400.00	6,400.00	6,400.00	6,400.00	6,400.00	6,400.00	6,400.00	56,000.00	NA	NA	NA	32.0	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	NA	NA	NA	NA	NA	
MASA VOLATIL	Ton/dia	36.4	0.83	165.90	82.9	331.80	326.4	5.38	10.75	9.23	NA	NA	NA	NA	3.33	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	NA	NA	NA	NA	NA	
TEMPERATURA	° C	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	NA	20-25	NA	NA	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	20-25	120	120	120	120	
pH		7-8	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8	NA	7-8	NA	NA	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8	NA	NA	NA	NA	NA	

Figura A4.1. Diagrama de flujo y proceso de la PTAR Morelia Atapaneo (Línea de agua)

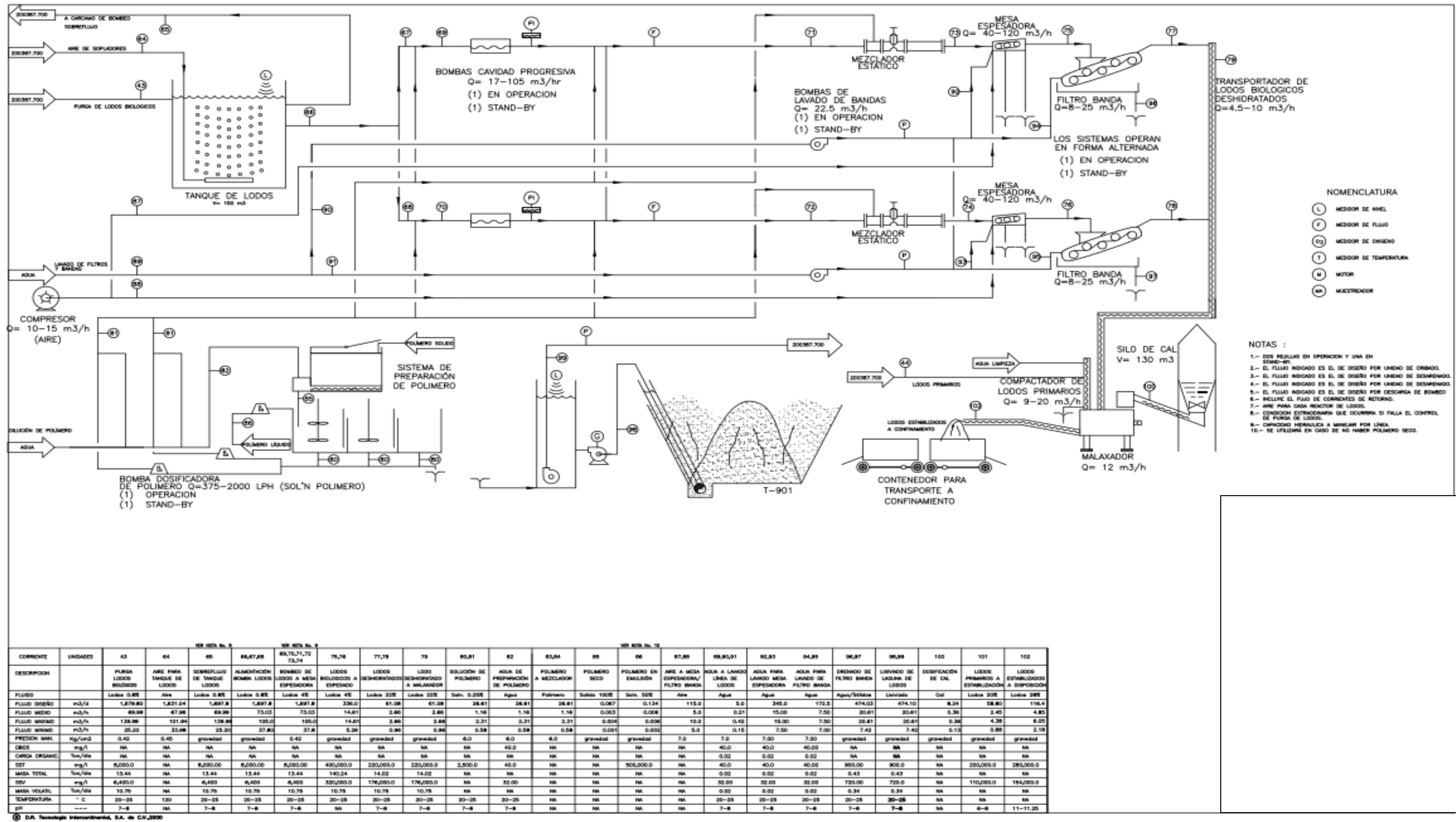


Figura A4.2. Diagrama de flujo y proceso de la PTAR Morelia Atapaneo (Línea de lodo)

Anexo 5

Disposición controlada de los residuos producidos en la empresa

Considerando de manera esquemática a una planta:

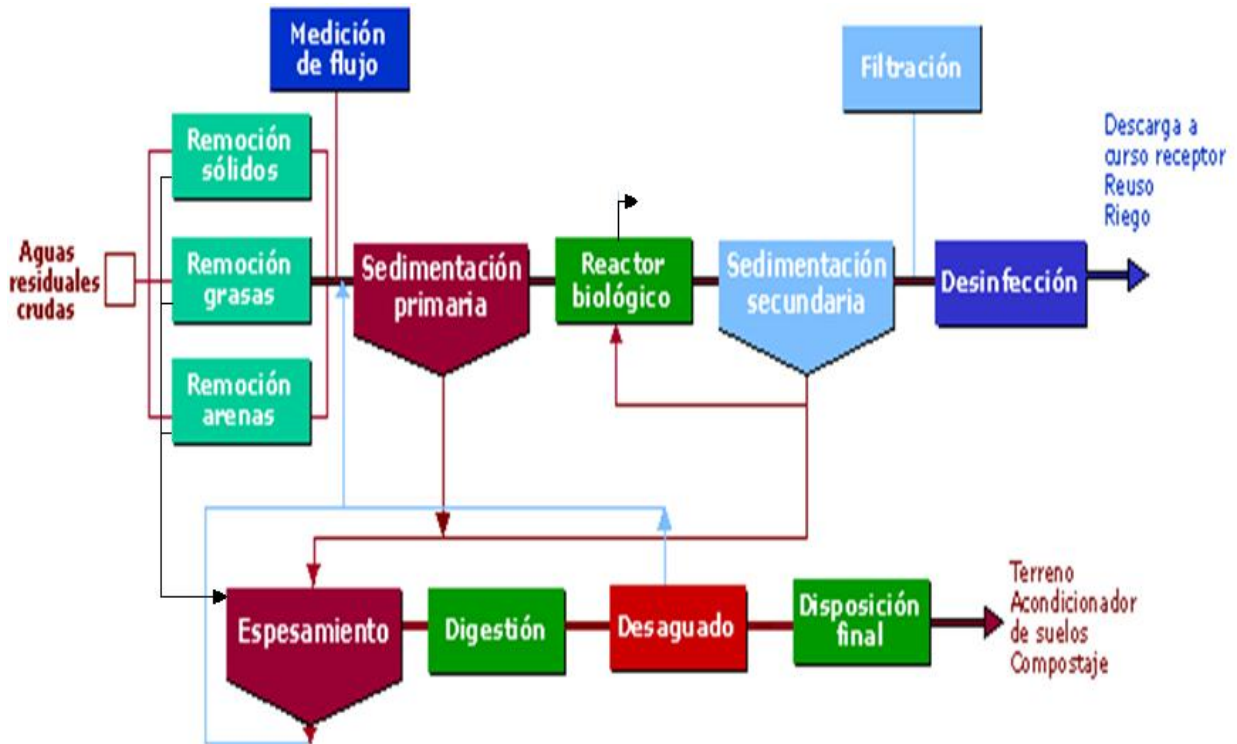


Figura A5.1. Esquema de flujo de una PTAR incluyendo digestión

(Malina y Pohland, 1992; Ramalho, 1996; Richard, 2003; Romero-Rojas, 1999)

La población bacteriana presente en un reactor anaerobio efectúa una diversidad de reacciones bioquímicas que degradan la materia orgánica que se alimenta en el digestor generando biogás que potencialmente es aprovechable.

Dentro del digestor se encuentran diferentes tipos de bacterias:

- Fermentativas
- Acetogénicas que producen hidrógeno
- Homoacetogénicas
- Metanogénicas hidrogenotróficas
- Metanogénicas acetoclásticas.

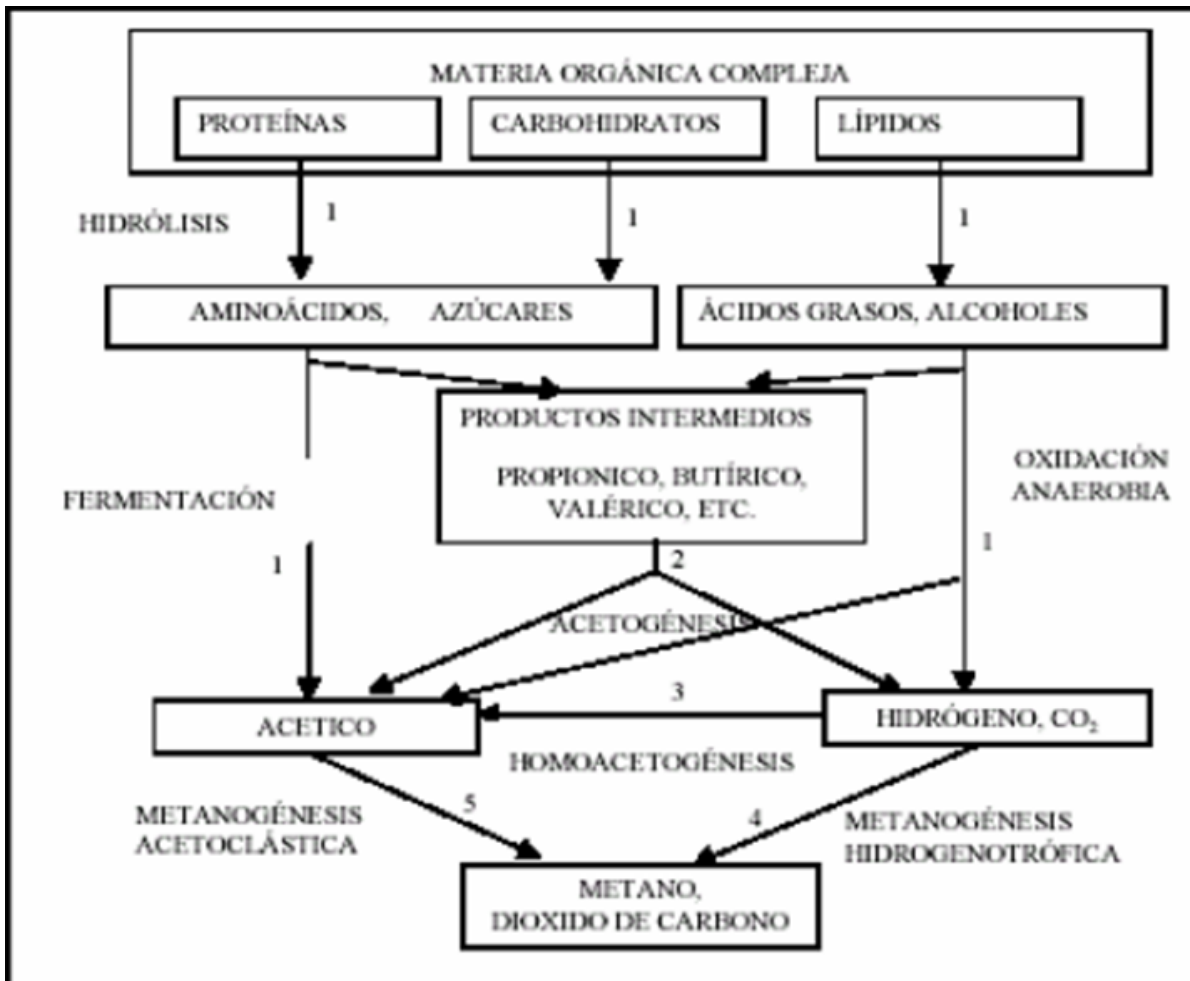


Figura A5.2. Esquema de reacciones de la digestión anaerobia (Pavlostathis y Giraldo Gómez, 1991).

La planta de Atapaneo está disponiendo de sus residuos de la siguiente manera:

La purga del tratamiento biológico es enviada a un tanque de homogenización, de ahí se toma por medio de unas bombas de cavidad progresiva, en su trayecto a la mesa espesadora es mezclado con un polímero catiónico en solución para favorecer su floculación y que el desaguado del biosólidos se efectúe.

Posteriormente el biosólidos deshidratado en el filtro banda es mezclado con el residuo de le cribado fino y con oxido de calcio para estabilizarlo a un pH de 12.

Este residuo es transportado para su confinamiento final al relleno municipal.

Recomendación

Construir un digestor anaerobio para la estabilización de los biosólidos generados que traería los siguientes beneficios:

- Lograr una degradación de los microorganismos presentes en el proceso biológico.
- Obtener un residuo con potencialidad de su uso como mejorador de suelo, con aplicación en la agricultura.
- Generación de biogás que se puede usar para aumentar la temperatura del digestor, para mezclar el licor mezclado dentro del digestor y para cogenerar EE.

Bibliografía consultada

- Conagua. 2015. Comisión Nacional del Agua. Página electrónica: www.conagua.com.mx
- DOF. 2009. Norma Oficial Mexicana. Modificación del inciso 0, el encabezado de la Tabla 13, el último párrafo del Anexo B y el apartado Signo decimal de la Tabla 21 de la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema general de unidades de medida. Jueves 24 de septiembre de 2009. Diario Oficial (Primera Sección). Tabla 21 - Reglas para la escritura de los números y su signo decimal. Signo decimal El signo decimal debe ser una coma sobre la línea (,) o un punto sobre la línea (.). Si la magnitud de un número es menor que la unidad, el signo decimal debe ser precedido por un cero. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. México D.F. México.
- Durán-de-Bazúa, C. 1994. Tratamiento biológico de aguas residuales de la industria química y de proceso. Pub. Programa de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, Facultad de Química, UNAM. 5ª Edición. Junio. México D.F.
- EMPRESA. 2015. Datos internos de la empresa cooperante. Comunicación personal. México D.F. México.
- INEGI. 2012. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Dirección electrónica: www.inegi.com.mx
- Jenkins, D., Richard, M., Daigger, G. 1993. *Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming*. Lewis Publishers. Boca Raton, FL. EE.UU.
- Seghezzo, L., Zeeman, G., van Lier, J.B., Hamelers, H.V.M., Lettinga, G. 1998. A review: The anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors. *Biores. Technol.* 65(3):175-190.
- Malina, J., Pohland, F. 1992. *Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes*. Technomics. Nueva York, N.Y. EE.UU.
- Metcalf & Eddy®. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4th Edition. George Tchobanoglous (Author), Franklin L. Burton (Author), H. David Stensel (Author). Metcalf&Eddy-McGraw-Hill, Nueva York, EE.UU.

Ramalho, R. 1996. Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté S.A. Barcelona, España.

Richard, M. 2003. Activated sludge microbiology. Problems and their control. *20th Annual USEPA National Operator Trainers Conference*. Nueva York, N.Y., EE.UU.

Romero-Rojas, J. A. 1999. *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C. Colombia.

Tchobanoglous, G. 2003. The importance of decentralized wastewater management in the twenty-first century. Página electrónica: <http://www.nwri-usa.org/pdfs/2003%20CP%20Lecture%20by%20Tchobanoglous.pdf>

Internet

Anónimo. 2015a. Curso fundamental de Corrientes de Foucault Eddy (2201).

<http://www.olympus-ims.com/es/eddycurrenttesting/>

Anónimo. 2015b. Motores de alta eficiencia

<https://glennhomej.wordpress.com/tag/motor-electrico/>

Anónimo. 2015c. Proceso convencional de lodos activados

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_21_lodos_activados.html

Anónimo. 2015d. Observación microscópica de fangos activados

upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/1726/TREBALL8.pdf