



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Química

**INSTALACIÓN Y CONTROL DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO FÍSICO–QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES
CON BASE EN LAS REGULACIONES AMBIENTALES DE
GUATEMALA**

Erick Martín Cambranes Morales

Asesorado por el Ing. Byron Roberto Valdez Azmitia

Guatemala, noviembre 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INSTALACIÓN Y CONTROL DE UNA PLANTA DE
TRATAMIENTO FÍSICO–QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES
CON BASE EN LAS REGULACIONES AMBIENTALES DE
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTANDO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ERICK MARTÍN CAMBRANES MORALES

ASESORADO POR EL ING. BYRON ROBERTO VALDEZ AZMITIA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	P.A. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

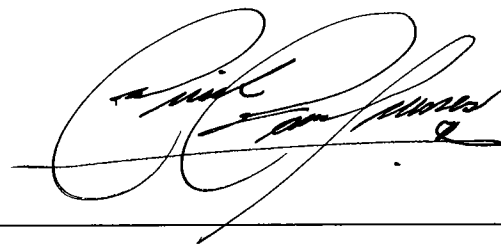
DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Telma Maricela Cano Morales
EXAMINADOR	Ing. Julio Enrique Chaves Montufar
EXAMINADOR	Ing. Rodolfo Francisco Espinoza Smith
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

INSTALACIÓN Y CONTROL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES CON BASE EN LAS REGULACIONES AMBIENTALES DE GUATEMALA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, agosto de 2008.



ERICK MARTÍN CAMBRANES MORALES

Guatemala, 15 de febrero del 2010

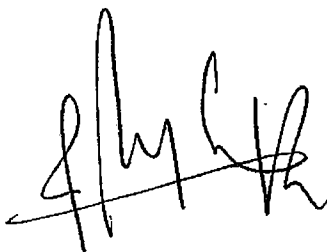
Ingeniero MSC Williams Álvarez
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Apreciable Ingeniero:

Deseo hacer constar que he asesorado profesionalmente en la elaboración de su estudio de tesis al estudiante Erick Martín Cambranes Morales, quién se identifica con carnet 1985-11477 y con cédula A-1 170777 de Mixco, Guatemala. Tesis con título "INSTALACIÓN Y CONTROL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES CON BASE EN LAS REGULACIONES AMBIENTALES DE GUATEMALA", la cual está ya finalizada por el estudiante, para poder optar al título de Ingeniero Químico. Dicha tesis es de mi entera satisfacción, por lo que puedo darle el visto bueno y aprobación por mi parte como asesor.

Sin otro particular, me suscribo

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Byron Valdez Azmitia', written in a cursive style.

Ing. MAE Byron Valdez Azmitia
Colegiado Activo No. 1166



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

Guatemala, 22 de septiembre de 2010
Ref. EI.Q.TG.205.2009

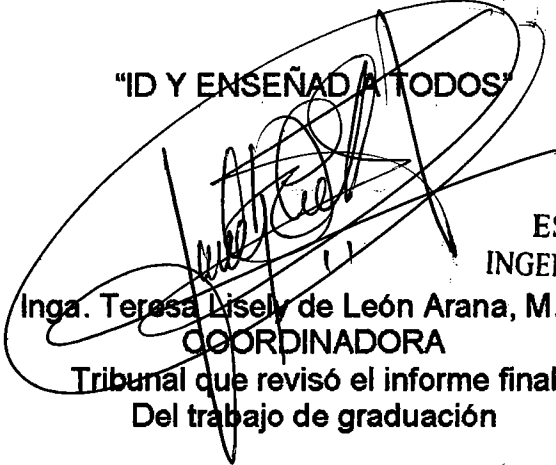
Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-205-09-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario Erick Martin Cambranes Morales, identificado con carné No. 1985-11477, titulado: "INSTALACIÓN Y CONTROL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES CON BASE EN LAS REGULACIONES AMBIENTALES DE GUATEMALA" el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Byron Roberto Valdez, como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final satisfactorio, se procede a recomendarle autorice al estudiante Cambranes Morales, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"


Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.
COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación



ESCUELA DE
INGENIERIA QUÍMICA

C.c.: archivo





El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante **ERICK MARTÍN CAMBRANES MORALES** titulado: "INSTALACIÓN Y CONTROL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES CON BASE EN LAS REGULACIONES AMBIENTALES DE GUATEMALA". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía, C.Dr.

DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, octubre de 2010

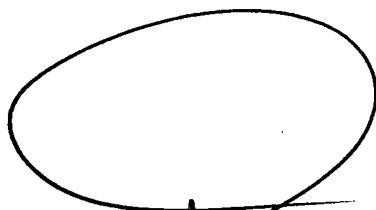
Cc: Archivo
WGAM/am





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **INSTALACIÓN Y CONTROL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES CON BASE EN LAS REGULACIONES AMBIENTALES DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Erick Martín Cambranes Morales**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, noviembre de 2010



/cc

ACTO QUE DEDICO A

DIOS

Por ser la fuerza suprema que guía mi vida y el cimiento que me da fuerza, seguridad y confianza.

MARIA AUXILIADORA

A quien considero una madre, que desde el cielo me protege e ilumina para ser un buen hombre y entender que la vida y el amor es dar; en la medida que un ser humano da y ayuda a otros, es más feliz.

MIS PADRES

Emma Rita y Federico Alfonso, por darme su amor a lo largo de toda mi vida. Y haber estado durante todo este proceso educativo profesional, alentarme, apoyarme y darme su confianza en los buenos y no tan buenos momentos de mi vida. A ellos principalmente por su apoyo emocional, económico y siempre incondicional hacia todos sus hijos.

MI ESPOSA

Gloria Varón Vanegas, por ser el más perfecto complemento que llena mi vida, quien con su amor y entrega incondicional me lleva a lograr cualquier cosa que juntos nos propongamos.

MIS HIJOS

Melanie Michelle, Erick Javier y Allison Pamela, por llenarme de energía y felicidad segundo a segundo mi vida. Y enseñarme en todo momento a ser mejor hombre y sobre todo un buen padre que nunca deja de aprender y buscar ser mejor humano para ellos de quien aun con sus pocos años de vida me hacen sentir orgulloso de ellos en todo momento. A ellos que son, junto con Gloria, la más fuerte motivación en mi vida actual.

MI FAMILIA

Abuelos, hermanos, cuñados, sobrinos, suegros. Por acompañarme en todo momento de mi vida, por compartir en familia que ahora somos más de 60, por todos sus ejemplos en campos religiosos, deportivos, culturales, sociales, económicos y sobre todo con su ejemplo en adquirir conocimiento y ser profesionales, honestos, con principios y valores y de quien tuve la gran motivación para culminar esta meta profesional.

MIS AMIGOS

Muchos son los amigos gracias a Dios y la Virgen, estoy rodeado de seres humanos nobles, honestos, con valores de quienes me siento orgulloso y agradecido con la vida por tenerlos conmigo, gracias por darme su confianza y apoyo fraternal que me ha hecho considerarles hermanos y hermanas parte de mi familia también.

XXXIX PROMOCIÓN

Del Colegio Salesiano Don Bosco, quienes en un momento muy importante de mi vida y a inicios de esta carrera, me apoyaron y entregaron su confianza como profesor y Padrino de Promoción, de lo cual estoy muy agradecido.

A QUIENES ME APOYARON EN LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO

Al ingeniero Byron Valdez, por ser un impulso y guía como asesor en este proyecto de tesis, al ingeniero Héctor Estrada por su apoyo en el trabajo de campo y ser mi mano derecha en este proyecto. A todo el personal de Supply Chain Avon, especialmente al personal operativo y administrativo de manufactura y control de calidad que me dieron su apoyo y confianza para guiarles y liderar muchos proyectos de los cuales todos y cada uno nos sentimos orgullosos del equipo que formamos, aprendiendo juntos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XXI
OBJETIVOS	XXIII
HIPÓTESIS	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES	1
1.1. Información general para la instalación de una PTAR	1
1.2. Antecedentes legales ambientales	2
1.3. Actuales regulaciones ambientales	3
1.3.1. Artículo 16. Parámetros de aguas residuales	4
1.3.2. Artículo 17. Modelo de reducción progresiva de carga de demanda bioquímica de oxígeno	4
1.3.3. Artículo 22. Límites máximos permisibles para la descarga de aguas residuales en esteros	6
1.3.4. Artículo 24. Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores para aguas residuales municipales y de urbanizaciones no municipales y de urbanizaciones no conectadas al alcantarillado público	7

1.3.5. Artículo 26. Modelo de reducción progresiva de DBO para descargas al alcantarillado público	8
1.3.6. Artículo 27. Parámetros de calidad asociado de DBO	9
1.3.7. Artículo 28. Límites máximos permisibles de descarga de aguas residuales al alcantarillado público	9
1.4. Reseña histórica de la empresa donde se instala la PTAR	9
1.4.1. Personal que labora usualmente y horarios de trabajo	10
1.4.2. Procedimientos internos	11
1.4.3. Responsabilidad social	11

2. BASES Y CRITERIOS DE DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

13

2.1. Análisis y niveles de DBO / DQO	14
2.2. Análisis de niveles de SST / GYA	14
2.3. Elementos y características de un PTAR	15
2.4. Parámetros de control de los efluentes y sus características	17
2.4.1. Temperatura	17
2.4.2. Sólidos sedimentados	17
2.4.3. Sólidos totales	17
2.4.4. Sólidos suspendidos	18
2.4.5. pH	18
2.4.6. Aceites y grasas	18
2.4.7. Nitrógeno	18
2.4.8. Fósforo	19
2.4.9. Materia orgánica	19
2.4.10. Análisis de metales pesados y cianuros	19
2.5. Determinación de parámetros de instalación de una PTAR	20
2.5.1. Consideraciones importantes	21

2.6.	Caracterización y determinación de los efluentes antes de la instalación	23
2.7.	Identificación de las líneas de drenaje	23
2.8.	Identificación de inconvenientes	25
2.8.1.	Mezcla de líneas de drenajes	25
2.8.2.	Separación de drenajes	27
2.9.	Determinación de la trayectoria hidráulica hacia la PTAR	27
2.10.	Área necesaria para la ubicación de la planta	29
2.11.	Bases y criterios finales de instalación	30
2.11.1.	Desarrollo de pruebas	30
2.11.2.	Prueba de jarras	31
2.11.3.	Caracterización de las pruebas	32
2.11.3.1.	Prueba de jarras No. 3	32
2.11.3.2.	Prueba de jarras No. 6	34
2.11.3.3.	Análisis de niveles SST / GYA	36
2.12.	Comentarios de las pruebas	36
2.13.	Caracterización de operación y eficiencias	37
2.14.	Proyección a 5 años para la PTAT	39
3.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE OPERACIÓN DE LA PTAR	41
3.1.	Caracterización y descripción del sistema de instalación propuesto	41
3.1.1.	Separación y segregación de las diferentes líneas de drenaje	41
3.1.1.1.	Líneas de drenajes de aguas pluviales	42
3.1.1.2.	Líneas de drenajes de aguas servidas	42
3.1.1.3.	Líneas de drenajes de proceso	42

3.1.2.	Sistema físico-químico para la nivelación de los estándares del efluente	43
3.1.3.	Tanques de re-bombeo	44
3.1.4.	Separación de grasas, aceites y sólidos en suspensión por flotación con aire disuelto	44
3.1.5.	Estabilización y deshidratación de lodos	45
3.1.6.	Desinfección	46
3.2.	Ingeniería de proceso	46
3.2.1.	Estaciones de captación, homogenización y bombeo de aguas industriales y sanitarias	46
3.2.2.	Separación de sólidos gruesos en la corriente de agua sanitaria	47
3.2.3.	Separación de sólidos, grasas y aceites por flotación con aire disuelto (DAT) en la corriente de agua de proceso	47
3.2.4.	Sistema de preparación de soluciones de coagulante y floculante	49
3.2.5.	Acondicionamiento y desaguado de lodos	49
4.	INGENIERIA DE LA OBRA CIVIL	53
4.1.	Apertura de fosas en estacionamiento	54
4.2.	Equipamiento	57
4.3.	Ingeniería hidráulica	59
4.4.	Ingeniería eléctrica	61
4.5.	Ingeniería mecánica	61
4.6.	Montaje	61
4.7.	Arranque y estandarización del sistema	62

5. PRESUPUESTO DEL SISTEMA PROPUESTO PARA LA PTAR	65
5.1. Costo de la planta de tratamiento	65
5.2. Costos de operación del sistema	66
5.3. Costos de reactivos	67
5.4. Costos de mantenimientos preventivos	68
5.5. Costos de personal de operación PTAR	69
5.6. Resumen total de costos	69
6. PROGRAMA DE EJECUCIÓN	71
7. EJECUCIÓN DE LA INSTALACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	75
7.1. Ingeniería de control y programación	75
7.1.1. Definición de entradas y salidas del sistema	75
7.1.1.1. Caracterización de los efluentes	75
7.1.2. Gráficos de control	76
7.2. Procedimientos de operación y control	79
7.3. Programación y mantenimiento	81
7.3.1. Métodos utilizados para la caracterización	81
7.3.1.1. Caracterización interna	81
7.3.1.2. Utilización de laboratorio externo	81
7.4. Puntos de control	82
7.5. Bitácora de entrenamiento	83
7.6. Problemas posteriores a la instalación y su solución	84
7.6.1. Esponjamiento filamentoso o <i>bulking</i>	84
7.6.2. Esponjamiento biológico o <i>foaming</i>	86
7.6.2.1. Problemas de diseño	86

7.6.2.2. Problemas operativos	86
8. RESULTADOS	87
8.1. Resultados finales de parámetros medidos	88
8.2. Resultados de DBO descarga final	89
8.3. Beneficios del sistema	92
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	95
CONCLUSIONES	97
RECOMENDACIONES	99
BIBLIOGRAFÍA	101
ANEXO 1	103
ANEXO 2	105
ANEXO 3	109

INDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Diagrama de ubicación de áreas generadoras de agua	26
2	Trayectoria hidráulica hacia la planta de tratamiento	28
3	Fotografía 1. Prueba de jarras No. 3	33
4	Fotografía 2. Prueba de jarras No. 6	34
5	Fotografía 3. Pruebas de repetitividad	36
6	Diagrama de instalación planta tratamiento de agua	51
7	Diagrama de ubicación de las fosas en área de estacionamientos	55
8	Eliminación de estacionamientos	56
9	Flujo vehicular en el área de la PTAR	56
10	Ubicación general de la planta de tratamiento y tuberías	60
11	Diagrama de ubicación de los elementos de la PTAR	63
12	Diferentes perspectivas de vista de la PTAR	64
13	Cronograma de ejecución de la instalación de la PTAR	72
14	Gráfico de control DQO	77
15	Gráfico de control DBO esperado descarga final	78
16	Gráfico de control DBO descarga final	89
17	Fotografía 4. Panel de control electrónico del sistema PTAR	105
18	Fotografía 5. Bombas de succión del tanque de lodos	106
19	Fotografía 6. Guarda motores	107
20	Fotografía 7. Tablero PLC de la PTAR	107
21	Diagrama de flujo ilustrativo y detalles de equipos instalados	109

TABLAS

I	Nivel permisible de demanda bioquímica de oxígeno	5
II	Límites máximos permisibles de DBO	6
III	Límites máximos permisibles de descarga	7
IV	Modelo de reducción progresiva de cargas de DBO	8
V	Calidad del agua residual planta de cosméticos	22
VI	Calidad de agua residual del proceso antes de la instalación	24
VII	Longitud de tuberías y diámetros necesarios	29
VIII	Referencia de DQO del agua residual del proceso	31
IX	Referencias de calidad de agua residual del proceso	31
X	Criterios de selección para las pruebas	32
XI	Parámetros cualitativos de calidad de agua residual del proceso	35
XII	Parámetros cuantitativos de calidad del agua residual del proceso	35
XIII	Niveles SST y GYA	36
XIV	Flujo de operación con crecimientos anuales del 7%	37
XV	Parámetros de instalación con base a 12 horas de operación diaria y flujo de 19,25 m ³ /día	38
XVI	Proyección de flujos para 5 años	38
XVII	Parámetros de instalación con base a 24 horas de operación diaria y flujo de 87,93 m ³ /día	39
XVIII	Datos para influente agua residual del proceso al sistema físico-químico con un flujo de 19,25 m ³ /día	39
XIX	Datos para efluente agua residual del proceso al sistema físico-químico con un flujo de 19,25 m ³ /día	39

XX	Datos para influente agua residual sanitaria a la criba con un flujo de 1,02 l/s o 87,79 m ³ /día	40
XXI	Datos para efluente de agua residual sanitaria a la criba con un flujo de 1,02 l/s o 87,79 m ³ /día	40
XXII	Datos para efluente final de planta de tratamiento con un flujo de 1,46 l/s o 107,04 m ³ /día	40
XXIII	Presupuesto para instalación del sistema de la PTAR	65
XXIV	Costo de energía eléctrica para la operación de la PTAR	66
XXV	Costo de reactivos empleados para mantenimiento	67
XXVI	Costos de mantenimiento preventivo de la PTAR	68
XXVII	Costos del personal necesario para operación de la PTAR	69
XXVIII	Resumen de costos de operación de la PTAR	69
XXIX	Lista de los puntos de control para la revisión	82
XXX	Resultados finales de los parámetros de control de la PTAR	88
XXXI	Parámetros de regulación DBO aguas tratadas	90
XXXII	Parámetros principales de control, extraído de la ley de aguas con base en el acuerdo gubernativo 236 – 2006	103
XXXIII	Parámetros de control de agua, extraído de la ley de aguas con base en el acuerdo gubernativo 236 – 2006	104

LISTA DE SÍMBOLOS

B	Bueno (código de lodo)
C	Cantidad
cm²	Centímetro cuadrado
D	Disperso (código de lodo)
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
DQO₅	DQO prueba después de 5 días
US\$	Dólares americanos
gpm	Galones por minuto
°C	Grados centígrados o grados Celsius
GYA	Grasas y aceite
h	Hora
kg	Kilogramo
kw-h	Kilowatt hora
l	Litros
L	Ligero (código de lodo)
LMP	Límite máximo permisible
lps	Litros por segundo
LT	Ligeramente turbio (código de sobrenadante)
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
µm	Micrómetro (1 X 10 ⁻⁶ metro)
mg/l	Miligramos por litro
MT	Muy turbio (código de sobrenadante)

N	Nulo (código de lodo)
N	Nitrógeno
No.	Número
N₂	Nitrógeno diatómico, gas
O₂	Oxígeno diatómico, gas
OMS	Organización Mundial de la Salud
ft³	Pie cúbico
PLC	Programa lógico de control
Ppm	Partes por millón
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
Rpm	Revoluciones por minuto
Q	Quetzales
s	Segundos
SN	Sin color (código de color)
SSF	Sólidos sedimentados fijos
SSG	Sólidos sedimentados
SST	Sólidos sedimentados totales
SSV	Sólidos sedimentados volátiles
TN	Tenue (código de color)
TR	Traslucido (código de sobrenadante)
TU	Turbio (código de sobrenadante)
V	Volts

GLOSARIO

Aerobio	Organismos que necesitan del oxígeno biatómico para vivir o poder desarrollarse.
Análisis Cualitativo	Busca información sobre la identidad o cualidades y forma de la sustancia presente.
Análisis Cuantitativo	Es la determinación de la abundancia absoluta o relativa (muchas veces expresada como concentración) de uno, o varias de todos los elementos o compuestos presentes en una muestra.
Arsénico	Es un elemento químico, cuyo símbolo es As y el número atómico es 33. Está en el V grupo principal de la tabla periódica. Se encuentra en la naturaleza principalmente en forma de sulfuros, rara vez en estado sólido, tiene propiedades intermedias entre los metales y no metales.
Bacteria	Son los organismos más abundantes del planeta. Son ubicuas, encontrándose en todo hábitat de la tierra, creciendo en el suelo, en manantiales calientes y ácidos, en desechos radioactivos, en las profundidades del mar y de la corteza terrestre. Se estima que hay alrededor de 40 millones de células bacterianas en un gramo de tierra y 1 millón de células bacterianas en un mililitro de agua dulce. Se estima que hay 5×10^{30} bacterias en el mundo.

- Cadmio** Es un elemento químico de número atómico 48, situado en el grupo XII de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Cd. Es un metal pesado, blanco azulado, poco abundante. Es uno de los metales más tóxicos, aunque podría ser un elemento químico esencial, necesario en muy pequeñas cantidades.
- Cárcamo** Es un depósito subterráneo que se utiliza para recoger y guardar agua de lluvia o procedente de un río o manantial. También se denomina cisterna a los receptáculos usados para contener líquidos, generalmente agua.
- Coagulante** Es una sustancia que favorece la separación de una fase insoluble en agua por medio de sedimentación. El coagulante es un compuesto químico que desestabiliza la materia suspendida en forma coloidal, a través de la alteración de la capa iónica cargada eléctricamente que rodea a las partículas coloidales.
- Cobre** De símbolo Cu (del latín *cuprum*), es el elemento químico de número atómico 29. Se trata de un metal de transición de color rojizo y brillo metálico que, junto con la plata y el oro, forma parte de la llamada familia del cobre, caracterizada por ser los mejores conductores de la electricidad.

Coliformes Fecales	Sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos, humanos o animales.
Color	Es un fenómeno físico-químico asociado a las innumerables combinaciones de la luz, relacionado con las diferentes longitudes de onda de la zona visible del espectro magnético, que perciben las personas y animales a través de los órganos de la visión, como una sensación que nos permite diferenciar los objetos con mayor precisión.
Cromo	Es el elemento químico de número atómico 24, que se encuentra en el grupo VI de la tabla periódica. Su símbolo es Cr.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	Parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos, que contiene una muestra líquida, y se utiliza para determinar su grado de contaminación.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Parámetro que mida la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos, que hay en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mg O ₂ /litro.
Fango	Es el lodo o sedimento acuoso en la que se concentran los sólidos sedimentados o decantadas de agua sucia o bien de un reactor biológico, en una estación depuradora de aguas residuales, doméstica o industrial.

Físico-química	Es la combinación de diversas ciencias; la Química, Física, Termodinámica, Electroquímica y Mecánica Cuántica, donde funciones matemáticas pueden representar interpretaciones a nivel molecular y atómico estructural. Cambios en la temperatura, presión, volumen, calor y trabajo en los sistemas, sólido, líquido o gaseoso se encuentran también relacionados en estas interpretaciones de interacciones moleculares.
Floculante	Sustancia química que aglutina sólidos en suspensión, provocando su precipitación.
Flujo	Caudal de un fluido desplazándose por una tubería.
Fósforo	Elemento químico con número atómico 15, el cual es muy reactivo, se oxida espontáneamente en contacto con el oxígeno atmosférico, emitiendo luz, dando nombre al fenómeno de la fluorescencia.
Glicerol (Glicerina)	Es uno de los principales productos de la degradación digestiva de los lípidos.
Grasa	Las grasas son generalmente triésteres del glicerol y ácidos grasos. Pueden ser sólidas o líquidas a temperatura ambiente, dependiendo de su estructura y composición.

Lípidos

Son un conjunto de moléculas orgánicas, la mayoría biomoléculas, compuestas principalmente por carbono e hidrógeno y en menor medida oxígeno, aunque también pueden contener fósforo, azufre y nitrógeno, que tienen como característica principal el ser hidrofóbicas o insolubles en agua y sí en disolventes orgánicos como la bencina, el alcohol, el benceno y el cloroformo. En el uso cotidiano, a los lípidos se les llama incorrectamente grasas.

Medio ambiente

Es el entorno que afecta y condiciona especialmente las circunstancias de vida de una persona o la sociedad en su conjunto. Comprende el conjunto de valores naturales, sociales y culturales existentes en lugar y en un momento determinado, los cuales influyen en la vida del ser humano y en las generaciones futuras. Abarca el espacio en el que se desarrolla la vida, incluyendo los seres vivos, agua, aire, suelo y objetos, así como las relaciones entre todos ellos, incluye elementos intangibles como la cultura. El día mundial del medio ambiente se celebra el 5 de junio.

Mercurio

Es un metal pesado plateado, que a temperatura ambiente es un líquido inodoro. Su símbolo químico es el Hg y su número atómico es 80. Es muy mal conductor del calor, aunque no es mal conductor de la electricidad. La exposición prolongada o repetida puede provocar lesiones en los riñones, cerebro y sistema nervioso.

Níquel	Elemento químico de número atómico 28 y símbolo Ni. La exposición al níquel y sus compuestos solubles no debe superar los 0,05 mg/cm ³ medidos en niveles de níquel equivalente para una exposición laboral de 8 horas diarias y 40 semanales.
Nitrógeno	Es un elemento químico de número atómico 7 y símbolo N. Es el componente principal de la atmósfera terrestre (78,1% en volumen) y se obtiene para usos industriales de la destilación del aire líquido. Esta presente también en los desechos orgánicos de animales.
Oxidación	Es una reacción química donde un compuesto, cede electrones, y por lo tanto aumenta su estado de oxidación. Se debe tener en cuenta que en realidad una oxidación cambia el estado de valencia u oxidación de uno o varios elementos o iones en un compuesto.
Período	Intervalo de tiempo necesario para completar un ciclo repetitivo, o el espacio de tiempo que dura algo.
Potencial hidrógeno (pH)	Es una medida de la acidez o basicidad de una solución. El pH es la concentración de iones hidronio [H ₃ O ⁺] presentes en determinada sustancia. La abreviatura significa "Potencial del Hidrógeno". Este término fue acuñado por el químico danés Sørensen , quien lo definió como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones hidrógeno, esto es: $\text{pH} = -\log_{10}[\text{a}_{\text{H}_3\text{O}^+}]$, donde "a" es la concentración molar del ión hidrógeno.

Plomo	Elemento químico de símbolo Pb y número atómico 82, es muy empleado industrialmente como óxido de plomo, el tetra etilo de plomo y los silicatos de plomo. Es tóxico y es causa de envenenamiento por su uso inadecuado y mala manipulación, así como por la exposición excesiva.
Poliflocal (polímero)	Son macromoléculas (generalmente orgánicas formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeras.
Proceso bioquímico	Es el proceso atribuido a la ciencia que estudia los componentes químicos de los seres vivos, especialmente proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos, además de otras pequeñas moléculas presentes en las células. La bioquímica se basa en el concepto que todo ser vivo contiene carbono y en general las moléculas biológicas están compuestas principalmente de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre. Es la ciencia que estudia la misma base de la vida, estudia las moléculas que componen las células y los tejidos, que catalizan las reacciones químicas de la digestión, las fotosíntesis y la inmunidad, entre otras.
Shipping	Vocablo inglés que traducido significa despacho, en la empresa de cosméticos se refiere al área que ensambla los pedidos con los cosméticos para ser enviados al cliente.

Temperatura Es la magnitud referida a las nociones comunes de calor o frío. Por lo general, un objeto más caliente, tendrá la mayor temperatura.

Volumen Es una magnitud definida como el espacio ocupado por un cuerpo. Es una función derivada ya que se halla multiplicando las tres dimensiones.

Zinc Es un metal, su número atómico es 30 y su símbolo es Zn. Este elemento presenta cierto parecido con el magnesio y con el cadmio de su grupo, pero del mercurio se aparta mucho por las propiedades físicas y químicas de éste. Concentración lantánida y potentes efectos relativistas sobre orbitales de enlace.

RESUMEN

Mediante procesos de operaciones unitarias se realizó la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales, empleando procesos físicos y químicos de separación de sólidos, así como de purificación de agua mediante procesos químicos para la reducción de microorganismos. Buscando la conservación de los recursos hídricos del planeta, se instaló una planta de tratamiento físico-químico de aguas residuales industriales, en una empresa productora de cosméticos, en el municipio de Mixco, departamento de Guatemala. La planta de tratamiento de aguas residuales fue diseñada e instalada para dar servicio hasta 1300 personas con un consumo promedio de agua de 3,8 m³/hora. Esta, en su mayoría, posee desechos orgánicos, grasas, aceites y alcohol de los procesos industriales que provoca la producción cosmética y en segundo lugar por los del personal que labora en esta empresa.

Se emplearon procesos de operaciones unitarias como filtración, sedimentación, transferencia de líquidos y sólidos, decantación, entre otros y métodos químicos de purificación de agua como coagulación, floculación, cloración.

La instalación de la planta necesitó en tiempo, de 7 meses y posteriormente a ello se capacitó al personal durante 1 mes, seguido de una estabilización del sistema y monitoreo de los resultados durante 10 meses para asegurar su correcto funcionamiento. Este trabajo de tesis no tuvo como parte el diseño de la planta, el cual fue previamente realizado durante 3 meses por una empresa especializada para ello.

Excediendo los resultados esperados en el cumplimiento de lo requerido por la Ley de Aguas Residuales para Guatemala (Decreto 236-2006), detallado en el REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS para la etapa uno, la cual debe cumplirse para el año 2011, alcanzando niveles de DBO de 484 mg/l, valores muy próximos a lo que debería tener en la etapa 3 para el año 2020 de DBO.

Se concluye que la instalación fue exitosa, logrando cumplir con las etapas 1 y 2 de la ley; es importante comentar que la dosificación de los químicos, tanto floculante como coagulante, varían de forma directamente proporcional con la concentración y viscosidad del agua de procesos.

Las buenas prácticas de manufactura en el seguimiento de reglas, procedimientos y controles son muy importantes, buscando primero la reducción de la generación de los residuos industriales, para que el propio tratamiento de aguas residuales sea el menor posible.

El mantenimiento adecuado de la criba para la obtención de los sólidos, así como el mantenimiento de las bombas que realizan la transferencia de los líquidos y sólidos del proceso, deben realizarse con la máxima regularidad, de manera preventiva para asegurar su buen funcionamiento.

La industria guatemalteca tiene gran responsabilidad ambiental y social en buscar que los objetivos sean alcanzados para el cumplimiento del Decreto 236-2006 y debe buscar procesos más limpios que reduzcan la generación de residuos, situación que al mismo tiempo les ayuda a reducir desperdicios y tener procesos más económicos. Para luego resolver el problema de cómo tratar la generación de esos residuos que afectan el ambiente.

OBJETIVOS

GENERALES

1. Presentar el proceso de instalación para una planta de tratamiento de aguas residuales, para una planta productora de cosméticos.
2. Establecer los lineamientos operacionales y de costo, de una planta de tratamiento de agua residual industrial, para que cumpla con las normativas gubernamentales de Guatemala.

ESPECÍFICOS

1. Obtener una eficiente remoción de sólidos suspendidos y coloidales, grasas y aceites, reducción de carga orgánica presente en el agua, para su vertido al alcantarillado municipal.
2. Controlar la concentración estable de lodos deshidratados, para una disposición controlada de los residuos sólidos generados de conformidad con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 en su etapa 1.

HIPÓTESIS

La planta de tratamiento físico-químico para aguas residuales que se instalará en una compañía productora de cosméticos, es capaz de alcanzar y cumplir con los requerimientos gubernamentales que pide la ley o Decreto 236-2006, en su etapa 1, con valores de DBO total de 8409 y GYA de 1008 para una empresa productora de cosméticos que tiene una carga de aguas residuales de proceso de 1,5 m³/hora y de aguas residuales de servicios de 2,3 metros³/h.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo muestra el análisis y recomendaciones necesarias para la instalación y control de una planta de tratamiento de agua, para una empresa productora de cosméticos, ubicada la ciudad de Guatemala. El tipo de proceso de regeneración del agua esta hecho con base en un tratamiento físico-químico.

Se busca con este trabajo presentar la serie de requisitos o guía que regule una instalación 100% eficiente, y que cumpla con la efectividad en el proceso, de manera que se aseguren los resultados mediante un estricto control. Se debe cumplir en primera instancia con las normativas guatemaltecas, con base en la Ley de Aguas que entro en vigencia el 5 de mayo de 2007, con base en el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 en su etapa 1, que tiene fecha de cumplimiento en el año 2011 basado en los parámetros críticos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), los cuales se pueden apreciar en el apéndice 1, tabla XXXII.

Así también, se pretende revisar el cumplimiento con base en otros parámetros físicos y químicos, basados en el artículo 28 del decreto 236-2006 sobre límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales, al alcantarillado público, lo cual se muestra en la tabla XXXIII, en el apéndice 1.

Se considera como premisa de este trabajo, el velar por una adecuada instalación, que permita un excelente funcionamiento y control para el cumplimiento de las condiciones o requerimientos ambientales de ley, en su primera etapa.

El sistema cuenta con una tecnología confiable, práctica y económica, disponible, que garantizará plenamente el desempeño funcional para la remoción de carga orgánica suspendida y soluble, así como de grasas, aceites y concentración de sólidos o lodos separados del agua residual tratada. El principal objetivo del monitoreo post instalación será el obtener un factible re- uso del agua y los lodos concentrados, para cumplir con la normatividad y con la disposición final controlada de rellenos sanitarios municipales.

Cada día más y más países se están preocupando por el cuidado ambiental, y sobre todo del recurso hídrico, clave para la preservación de la vida en el planeta, y con ello, muchas empresas internacionales y locales, ya que sus casas matrices están conscientes de la responsabilidad y obligación de cuidar el planeta, tal es el caso de la empresa productora de cosméticos, en análisis.

Parte de este estudio es validar que la instalación y funcionamiento, sean hechos con base en a los cálculos y pruebas realizadas a la planta, de manera que cumpla los requerimientos gubernamentales, pero también que permitan ampliar capacidades de las plantas con el tiempo, en función de las necesidades futuras.

Este estudio es un apoyo y guía a la industria guatemalteca, como un ejemplo para la instalación y control operacional de una planta de tratamiento de aguas residuales, lo cual, en la actualidad y basándose en la ley, todas las empresas deben cumplir. El resultado del proyecto depende de la mecánica de instalación en función de dimensiones, cálculos de carga y caudales, cantidad y tipo de equipos, niveles mínimos permisibles y los insumos requeridos (agua, energía y uso de químicos) que tiene como parámetros la planta de tratamiento.

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

1.1. Información general para la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales, ya sea doméstica o industrial, incorpora procesos físicos, químicos y biológicos, los cuales tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos, introducidos por el uso humano cotidiano del agua. El objetivo del tratamiento es eliminar la contaminación del agua, a manera de hacerla reutilizable para el ambiente y convertir un residuo sólido o fango para futuros propósitos o recursos.

Una planta de tratamiento en la industria, funciona dentro de las instalaciones de la misma por medio de la transportación de las aguas residuales a través de una red de tuberías, eventualmente impulsadas por bombas. El tratamiento de aguas residuales, inicia con la separación física de sólidos, de la corriente de aguas domésticas o industriales, seguido por la conversión progresiva de materia orgánica, disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en esta agua.

Toda industria manufacturera elimina aguas residuales, las cuales deben ser tratadas con procesos físicos y químicos, esto se obtiene a través de la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales. Estos procesos remueven y tratan los contaminantes físicos y químicos, producto de los distintos procesos de manufactura y utilización humana en la industria. El objetivo del tratamiento es producir agua ya limpia o reutilizable en el ambiente, y la reutilización del residuo sólido o lodos en los casos posibles.

El tratamiento físico-químico incluye la remoción de sólidos y de arena, precipitación con o sin ayuda de coagulantes o floculantes, y separación y filtración de sólidos. El agregado de cloruro férrico ayuda en gran parte a la remoción de fósforo y ayuda a precipitar los bio-sólidos.

El tratamiento físico-químico, tiene como función principal la reducción de la materia suspendida, por medio de la precipitación o sedimentación, con o sin reactivos, o por medio de diversos tipos de oxidación química (poco utilizada en la práctica, salvo aplicaciones especiales, por su alto costo). Consiste en la oxidación aerobia de la materia orgánica en los fangos producidos.

1.2. Antecedentes legales ambientales

La dimensión ambiental fue introducida en Guatemala, como componente básico en el desarrollo del país. En 1983, cuando bajo la tendencia de la legislación ambiental para América Latina, en materia de conservación y mejoramiento del ambiente, se estudio seriamente la posibilidad de introducir la variable ambiental en la nueva Constitución de la República en donde hubiese, por lo menos, un artículo dedicado a la obligación del Estado, de ser el custodio del medio ambiente. Así se logra en 1985, en la nueva Carta Magna, el Artículo 97, titulado: Medio ambiente y equilibrio ecológico.

La generación formal de la gestión ambiental, tiene sus inicios el 5 de junio de 1972, con la asistencia de Guatemala a Estocolmo, para participar en la conferencia sobre el Medio Humano, donde se concluyó el documento que se conoce como DECLARACIÓN DE ESTOCOLMO SOBRE EL MEDIO HUMANO.

En 1973 se integró a nivel Ministerial, la comisión encargada de la protección y mejoramiento del medio ambiente. En 1975 se conforma la Comisión Asesora del Presidente de la Comisión Ministerial, encargada de velar por la protección y mejoramiento del medio ambiente. Durante el período de 1974 - 1985 se constituyeron otras instancias creadas, con el interés de la protección del medio ambiente, tal es el caso de la inclusión en el EDOM-2000 (Esquema de Ordenamiento Metropolitano año 2000), en donde quedan enmarcados dentro del área metropolitana; las zonas ecológicas y su posible manejo, pero no se profundizó sobre el medio ambiente y el impacto ambiental del área metropolitana. En 1983 - 1985 se conformó el programa de medio ambiente que propuso estudios, programas y proyectos para el control de la contaminación en el Valle de la ciudad de Guatemala, sin profundizar en ello. Fue hasta 1986, que se establecen parámetros claros con la emisión de la Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente, Decreto 68-86 se creó la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, que depende de la presidencia de la República y, de conformidad con lo preceptuado por el artículo No. 11, el objetivo fundamental de dicha ley es: velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medioambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país.

1.3. Actuales regulaciones ambientales

La legislación del país de Guatemala, es una de las principales bases para el desarrollo del proyecto del control de los efluentes de aguas residuales, en especial el Decreto creado en el año 2006:

R 236-2006 REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODOS, dicho decreto dicta en su:

CAPÍTULO V. PARÁMETROS PARA AGUAS RESIDUALES Y VALORES DE DESCARGA A CUERPOS RECEPTORES.

1.3.1. Artículo 16. Parámetros de aguas residuales

Los parámetros de medición para determinar las características de las aguas residuales son: temperatura, potencial de hidrógeno, grasas y aceites, materia flotante, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días a 20 grados Celsius, demanda química de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, arsénico, cadmio, cianuro total, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, zinc, color y coliformes fecales.

1.3.2. Artículo 17. Modelo de reducción progresiva de cargas de demanda bioquímica de oxígeno

Los entes generadores existentes, deberán reducir en forma progresiva la demanda bioquímica de oxígeno de las aguas residuales que descarguen a un cuerpo receptor, conforme a los valores y etapas de cumplimiento presentado en la tabla I.

Tabla I. Nivel permisible de demanda bioquímica de oxígeno

ETAPA	UNO				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de 2011				
Duración, años	5				
Carga, kg/día	3000 <= EG < 6000	6000 <= EG < 12 000	12 000 <= EG < 25 000	25 000 <= EG < 50 000	50 000 <= EG < 250 000
Reducción porcentual	10	20	30	35	50
ETAPA	DOS				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de 2015				
Duración, años	4				
Carga, kg/día	3000 <= EG < 5500	5500 <= EG < 10 000	10 000 <= EG < 30 000	30 000 <= EG < 50 000	50 000 <= EG < 125 000
Reducción porcentual	10	20	40	45	50
ETAPA	TRES				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de 2020				
Duración, años	4				
Carga, kg/día	3000 <= EG < 5000	5000 <= EG < 10 000	10 000 <= EG < 30 000	30 000 <= EG < 60 000	
Reducción porcentual	50	70	85	90	
ETAPA	CUATRO				
Fecha máxima de cumplimiento	Dos de mayo de 2024				
Duración, años	4				
Carga, kg/día	3000 <= EG < 7000		4000 <= EG < 7000		
Reducción porcentual	40		60		

Fuente: Reglamento de las descargas y re-uso de aguas residuales y de la disposición de lodos, Artículo 17, páginas 10 y 11.

1.3.3. Artículo 22. Límites máximos permisibles para descarga de aguas residuales en esteros

Cuando el cuerpo receptor sea un estero se aplicarán las siguientes disposiciones:

Los entes generadores existentes, deberán observar los límites máximos permisibles, establecidos en el artículo 20 del presente reglamento. El parámetro de demanda bioquímica de oxígeno aplicable es el mostrado en la tabla II.

Tabla II. Límites máximos permisibles de DBO

			2 mayo 2011	2 mayo 2015	2 mayo 2020	2 mayo 2024
			Etapa			
Parámetro	Dimensional	Valor Inicial	Uno	Dos	Tres	Cuatro
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	500	300	250	150	100

Fuente: Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Artículo 22, página 11.

1.3.4. Artículo 24. Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores para aguas residuales municipales y de urbanizaciones no conectadas al alcantarillado público

Se debe cumplir con lo presentado en la tabla III.

Tabla III. Límites máximos permisibles de descargas

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	ETAPA			
			UNO	DOS	TRES	CUATRO
Temperatura	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	mg/l	100	100	50	10	10
Material flotante	Ausencia / presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	700	250	100	100	100
Sólidos suspendidos	mg/l	300	275	200	100	100
Nitrógeno total	mg/l	150	150	70	20	20
Fosforo total	mg/l	50	40	20	10	10
Potencial de hidrogeno	pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	No. mas probable en 100 ml	$< 1 \times 10^8$	$< 1 \times 10^7$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	mg/l	1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cadmio	mg/l	1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cianuro total	mg/l	6	1	1	1	1
Cobre	mg/l	4	3	3	3	3
Cromo hexavalente	mg/l	1	0,1	0,1	0,1	0,1
Mercurio	mg/l	0,1	0,02	0,02	0,01	0,01
Níquel	mg/l	6	2	2	2	2
Plomo	mg/l	4	0,4	0,4	0,4	0,4
Zinc	mg/l	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1000	750	500	500

Fuente: Reglamento de las descargas y re-uso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Artículo 24, páginas 11 y 12.

Las municipalidades o empresas encargadas del tratamiento de aguas residuales del alcantarillado público, y las urbanizaciones existentes no conectadas al alcantarillado público, cumplirán con los límites máximos permisibles para descargar a cuerpos receptores, en base a la tabla III anteriormente presentada.

1.3.5. Artículo 26. Modelo de reducción progresiva de demanda bioquímica de oxígeno para descargas al alcantarillado público

Las personas existentes que descargan al alcantarillado público deberán reducir en forma progresiva la demanda bioquímica de oxígeno, conforme a los valores y las etapas de cumplimiento de tabla IV.

Tabla IV. Modelo de reducción progresiva de cargas de DBO

Etapa	Uno				
Fecha máxima de cumplimiento	5				
Duración años	Dos de mayo de 2011				
Carga kg/día	3300<EG<5000	5000<EG <12 000	12 000<EG<25 000	25 000<EG<50 000	50 000<EG<125 000
Reducción %	10	20	30	35	50
Etapa	Dos				
Duración años	4				
Fecha máxima de cumplimiento	2 de mayo de 2015				
Carga kg/día	3000<EG<5500	5500<EG<10 000	10 000<EG<30 000	30 000<EG<50 000	50 000<EG<125 000
Reducción %	10	20	40	45	50

Fuente: Reglamento de las descargas y re-uso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Artículo 26, página 12.

1.3.6. Artículo 27. Parámetros de calidad asociado de demanda bioquímica de oxígeno

Las personas que descarguen aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público, deben cumplir con las etapas del modelo de reducción progresiva de cargas del artículo 26 y con los valores del parámetro de calidad asociado, de demanda bioquímica de oxígeno, que se presentan en la tabla XXXII que se presenta en la sección de apéndice 1.

1.3.7. Artículo 28. Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales al alcantarillado público

Para la descarga de las aguas residuales de tipo especial hacia un alcantarillado público, se deberá cumplir con los límites máximos permisibles de conformidad con las etapas de cumplimiento correspondientes, indicados en la tabla XXXIII, que se presenta en la sección de apéndice 1, de esta tesis.

1.4. Reseña histórica de la empresa donde se instala la planta de tratamiento de aguas residuales

La compañía manufacturera de cosméticos en cuestión, labora en la jurisdicción del municipio de Mixco del departamento de Guatemala, desde 1972, la empresa donde se desarrolla el presente proyecto se dedica a la elaboración de productos de consumo masivo, especialmente en la elaboración de productos de belleza y cuidado personal, como cremas, colonias, lociones (hidro-alcohólicos), pinta labios, compactos y cosméticos en general.

Por la elaboración de los productos anteriormente descritos, se cuenta con aguas de proceso, producidas por la limpieza que se debe realizar a cada uno de los equipos donde se elabora el cosmético y en las que se realiza el llenado de las tolvas para el proceso de envasado de los productos. Este tipo de efluente tiene la característica de contener altos niveles y concentraciones de grasas y aceites, lo cual deriva directamente en el aumento de los indicadores como las demandas bioquímicas de oxígeno y las demandas químicas de oxígeno, que son los puntos en los que se concentrará el desarrollo del proyecto y deberán ser identificados claramente, así como los procesos necesarios para la remoción y disposición de los mismos, también deberán ser identificados claramente los efluentes de cada tipo de agua, en los cuales se encontrarán las aguas residuales, como las aguas de procesos, para poder realizar un tratamiento específico para cada una de ellas, ya que por su tipo y fuente, estas cuentan con características especiales y con indicadores que deben ser controlados, para el correcto manejo de las mismos.

1.4.1. Personal que labora usualmente y horarios de trabajo

Esta empresa productora de cosméticos y distribución, tiene un total de 700 empleados distribuidos en 2 turnos de forma regular, y en determinadas épocas del año; trabaja 3 turnos. Los cálculos se hacen para un movimiento promedio diario de 1300 personas considerando un incremento en la población a 5 años con proveedores y visitantes.

1.4.2. Procedimientos internos

Están basados en lineamientos globales de esta multinacional de cosméticos, con parámetros más estrictos que los que establece la ley ambiental de Guatemala.

1.4.3. Responsabilidad social

Constituye la base principal del proyecto, ya que el futuro del planeta, el futuro del país y el ambiente que se heredará a las generaciones futuras, está condicionado por las acciones que se tomen hoy, para prevenir el deterioro de los recursos naturales no renovables, tomando esta premisa como base, se determina que al momento de tratar las aguas que se descargan en los alcantarillados públicos y que se vierten a los ríos y lagos, se deberá cumplir con el compromiso ético de no contaminar.

2. BASES Y CRITERIOS DE DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

La caracterización de los efluentes de la empresa se lleva a cabo con base en los requerimientos de ley, directamente del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales en su decreto 236-2006 y a los requerimientos de los parámetros exigidos por la compañía productora de cosméticos. Con base en esto se debe estructurar la ingeniería necesaria para cumplir con todos los requerimientos del decreto, primeramente en su fase número 1. Para ello la propuesta debe construirse a partir de ingeniería de instalación, la cual incluye ingeniería civil, equipamiento, obra hidráulica, eléctrica, mecánica, montaje y arranque del sistema de tratamiento de aguas residuales. Se debe considerar los siguientes puntos para la instalación de la planta de tratamiento de aguas residuales:

- El entorno: tecnologías limpias, minimización, reutilización, costumbres, cultura.
- El concepto de operación y de proceso unitario, filtros prensa, bombas, mecánica de fluidos.
- La calidad del efluente de acuerdo a la normatividad actual y a tendencias esperadas en el ámbito nacional e internacional.
- El diagrama de flujo y el diseño modular.
- Manejo de los efluentes.

2.1. Análisis de niveles de DBO / DQO

La demanda bioquímica o biológica de oxígeno (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de materia sensible a ser consumida u oxidada por medios biológicos que, contiene una pequeña muestra líquida, y se utiliza para determinar el grado de contaminación. Generalmente, esta medición se ejecuta después de cinco días (DBO₅) y se expresa en mg O₂/litro.

La DQO o demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar toda la materia orgánica y oxidable presente en un agua residual. Es por tanto una medida representativa de la contaminación orgánica, de un efluente, siendo un parámetro a controlar dentro de las distintas normativas de vertidos y que da una idea muy real del grado de toxicidad del mismo. Existen distintas formas de disminuir la DQO como los tratamientos físico-químicos, la electrocoagulación y el ozono.

2.2. Análisis de niveles de SST / GYA

Los sólidos suspendidos totales (SST) son el residuo no filtrable, de una muestra de agua natural; residual o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103 °C - 105 °C hasta peso constante. Los sólidos suspendidos totales se dividen en volátiles (SSV) y fijos (SSF).

Las grasas y aceites (GyA), cualquier material que pueda ser recuperado como una sustancia soluble, en los siguientes solventes: n-hexano, triclorotri-fluoroetano o una mezcla de 80% de n-hexano y 20% de metiltertbutiléter.

2.3. Elementos y características de una planta de tratamiento

Una planta de tratamiento tiene como elementos de identificación básica lo siguiente:

➤ **Sistema de aire disuelto**

Un método eficiente para hacer flotar partículas hacia la superficie, a través del uso de burbujas de aire, a las cuales se adhieren dichas partículas. Una cama de lodo se forma en la superficie y es removida ya sea hidráulicamente o mecánicamente. Micro burbujas de 10 a 80 μm son utilizadas para separar los sólidos suspendidos y coloidales. Las micro-burbujas son introducidas y mezcladas de manera homogénea con el agua. Las micro-burbujas junto con los sólidos forman una suspensión.

➤ **Filtro prensa**

Es un sistema hidráulico que permite la compactación de los lodos producidos por la planta de tratamiento y que permite el desagüe de los mismos, ejerciendo una presión sobre estos de hasta 2600 psi.

➤ **Criba**

Es un sistema de filtrado de partículas grandes, el cual permite la retención de sólidos de las aguas servidas.

➤ **Demanda química de oxígeno DQO**

Es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica e inorgánica, contenida en el agua después de corregir la influencia de los cloruros.

➤ **Demanda biológica de oxígeno DBO**

La demanda bioquímica o biológica de oxígeno (DBO) es un parámetro que mide la cantidad de materia sensible a ser consumida u oxidada por medios biológicos, que contiene una pequeña muestra líquida, y se utiliza para determinar el grado de contaminación. Generalmente esta medición se ejecuta después de cinco días (DBO₅) y se expresa en mg O₂/litro.

➤ **Efluente**

Se denomina así a un flujo de líquido que está abandonando un proceso o flujo de salida.

➤ **Influente**

Se denomina así a un flujo de líquido que está ingresando a un proceso, tubería o cualquier sistema, también definido como flujo de entrada en un determinado sistema.

➤ **Trampa de grasas**

Una trampa de grasas es propiamente un sistema de recolección de grasas, previo al envío o salida del agua para tratamiento, no es en si, parte de

una planta de tratamiento, pero si un auxiliar muy importante, para mejorar costos de operación, en la industria donde se instala esta planta de tratamiento, ya contaba con una trampa de grasas por lo que no será parte de este estudio, pero se hace referencia como un importante elemento.

2.4. Parámetros de control de los efluentes y sus características

2.4.1. Temperatura

Generalmente, debe ser mayor que la temperatura del suministro, tiene un efecto directo en la vida acuática, reacciones químicas y aplicación. El equipo de medición son termistoras electrónicas o bien termómetros convencionales.

2.4.2. Sólidos sedimentados

Por su peso y tamaño pueden sedimentar, generalmente tienen un alto contenido de materia orgánica, se pueden remover por un proceso de sedimentación. Equipo de análisis: cono *Imhoff*.

2.4.3. Sólidos totales

Representan el total de sólidos presentes en una muestra, su importancia radica en la comparación con los sólidos sedimentados y sólidos en suspensión. Análisis por evaporación y secado a 103 °C - 105 °C.

2.4.4. Sólidos en suspensión

Son los sólidos que pueden ser retenidos por un litro de agua. Son importantes para la decisión de diseño de planta. Análisis: filtración al vacío con filtros de fibra de vidrio y secado al horno.

2.4.5. pH

Debe ser in-situ o al momento de ingresar las muestras al laboratorio, el intervalo de pH idóneo para la existencia de la mayoría de vida biológica es estrecho, entre 6,5 y 8,5. Análisis con potenciómetros portátiles o de mesa.

2.4.6. Aceites y grasas

Son compuestos orgánicos, muy estables que no se descomponen fácilmente por las bacterias, pueden interferir en la vida biológica, su análisis se realiza por extracción con solvente orgánico y cuantificación gravimétrica.

2.4.7. Nitrógeno

Es uno de los nutrientes esenciales de la cadena alimenticia, cantidades excesivas pueden causar un efecto negativo en los cuerpos receptores, su análisis se realiza con pruebas cualitativas y cuantitativas de nitrógeno total, nitratos, nitritos y amonio.

2.4.8. Fósforo

Es uno de los nutrientes esenciales de la cadena alimenticia, cantidades excesivas pueden causar un efecto negativo en cuerpos receptores, su análisis se realiza por pruebas cualitativas y cuantitativas de fósforo total y fosfatos.

2.4.9. Materia orgánica

Los análisis más utilizados y normados son DQO y DBO. La DQO es la cantidad de materia orgánica e inorgánica para oxidar dicha materia, sea biodegradable o no. El método consiste en la oxidación con bicromato de potasio en ácido sulfúrico.

La DBO es un ensayo que cuantifica el oxígeno necesario para degradar la materia orgánica biodegradable. Tanto la DQO como la DBO se expresan como mg/l de O₂ que es igual a ppm. El análisis que se realiza es llamado comúnmente DBO₅.

La materia orgánica puede provocar el agotamiento del O₂ de un cuerpo receptor y el desarrollo de condiciones anaerobias, la relación numérica entre la DQO y la DBO deber ser una constante para cada industria.

2.4.10. Análisis de metales pesados y cianuros

- Arsénico: elemento carcinogénico, límite máximo permisible (LMP) por la organización mundial de la salud (OMS) de 0,01 mg/l.
- Cadmio: afecta el sistema renal. LMP de 0,003 mg/l.
- Cianuros: son altamente tóxicos en agua elevada, efectos en la tiroides y en el sistema nervioso. LMP de 0,07 mg/l.

- Cobre: provoca irritación gástrica y cirrosis hepática, mal sabor. LMP: 2 mg/l.
- Cromo: toxicidad. LMP: 0,05 mg/l.
- Mercurio: afecta el sistema renal y sistema nervioso central. LMP: 0,001 mg/l.
- Cinc: produce mal sabor.

2.5. Determinación de parámetros de instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales

Para la remoción de sólidos suspendidos y coloidales, grasas y aceites, reducción de carga orgánica presente en el agua residual para su vertido al alcantarillado municipal; así como la concentración estable de lodos deshidratados, para una disposición controlada de los residuos sólidos generados, se propone:

Con base en el acuerdo gubernativo y las normas de la compañía productora de cosméticos, se instale una planta de tratamiento de aguas residuales con las siguientes características:

- a) Tanque de recepción o cárcamo de re-bombeo, para cada vertido de agua residual de proceso (Trampa existente) y sanitaria (nuevo) con equipo de mezclado sumergible y bombeo doble de transferencia hacia pre-tratamiento (proceso) y cribado (servicios).
- b) Eliminación de grasas y aceites, componentes coloidales y sólidos en suspensión de la mezcla de las aguas residuales de proceso y servicios, con la ayuda de un sistema de flotación con aire disuelto y adición de químicos.

- c) Espesamiento, estabilización y desaguado de los lodos generados del proceso de flotación.
- d) Desinfección final del efluente para su vertido.

Los criterios de diseño para el dimensionamiento de equipos y sistemas son:

- | | |
|--|---------------------|
| a) Volumen proceso, m ³ /día | 36 |
| b) Volumen servicios, m ³ / día | 60 |
| c) Calidad agua residual: | Véase tablas V y VI |

2.5.1. Consideraciones importantes

1. Capacidad de tratamiento para variabilidad de calidad de agua residual.
2. Calidad del agua residual sanitaria e industrial. Historial de la compañía productora de cosméticos.
3. Calidad del agua tratada, dando cumplimiento al Acuerdo Gubernativo 236-2006; Descarga al Alcantarillado Público, etapa 1, fecha cumplimiento 2011 de no mayor a 1500 mg/l de DBO⁵.
4. Alcances del suministro
 - Ingeniería.
 - Instalación.
 - Fabricación y ensamblaje.
 - Montaje e instalación y ejecución de pruebas de arranque y puesta en marcha.
 - Entrenamiento.
 - Operación automática con tablero y PLC.
5. Criterios de operación y eficiencias.
 - Tiempo de operación: 24 horas.

- Flujo de diseño: 100 m³/día.
- Flujo promedio de operación: 4 m³/h.
- Las eficiencias de remoción de los procesos sugeridos son:
 - Proceso de flotación. Contenido orgánico; 55%. Contenido sólido y suspensión; 90%. Contenido grasas y aceites; 90%.
 - Tiempos hidráulicos de retención.

6. Proceso de flotación: 20 minutos.

Tabla V. Calidad del agua residual planta cosméticos

PARÁ-METRO	UNIDAD	A	B	C	D	E	F
		Aguas residuales servicios	Aguas residuales proceso	Mezcla Procesos y servicios Influyente tratamiento F-Q	Efluente tratamiento F-Q	Calidad Normal compañía	Acuerdo 236-2006 Etapa 1
FLUJO	m ³ /h	2,5	1,5	4,0	4,0	N.A.	N.A.
	m ³ /día	60,0	36,0	96,0	96,0	N.A.	N.A.
	l/s	0,7	0,4	1,1	1,1	N.A.	N.A.
DQO	mg/l	800,0	13 824,0	5684,0	2557,8	N.A.	N.A.
	kg/día	48,0	497,7	545,7	245,5	N.A.	N.A.
DBO	mg/l	600,0	8 409,0	3528,4	1587,8	60,0	1500
	kg/día	36,0	302,7	338,7	152,4	N.A.	N.A.
SST	mg/l	360,0	2021,6	983,1	98,3	60,0	1500
	kg/día	21,6	72,8	94,4	9,4	N.A.	N.A.
GYA	mg/l	80,0	1008,0	428,0	42,8	30,0	200
	kg/día	4,8	36,3	41,1	4,1	N.A.	N.A.

Eficiencia proceso flotación

DQO / DBO = 0,55

SST / GYA = 0,90

****Valores calculados de registros de muestras en el período dic 06 - ene 07 empresa productora de cosméticos.**

2.6. Caracterización y determinación de los efluentes antes de la instalación

Inicialmente, se analizó los diferentes escenarios de cumplimiento, del acuerdo gubernativo, versus la calidad del agua residual de proceso, según DECRETO 236-2006. Así mismo, con base al conocimiento de la calidad típica del agua residual de servicios, y las eficiencias esperadas de tratamiento de los procesos, se determina lo siguiente:

- Es viable el cumplimiento de la etapa 1 del acuerdo gubernativo, utilizando, solo el proceso físico-químico, su descripción y alcance de suministro se anexa con este escrito. Es necesario validar los criterios establecidos, mediante pruebas de tratabilidad para garantizar esta opción.
- El cumplimiento del acuerdo gubernativo en las etapas 2 hasta 4, solamente es posible alcanzarlo mediante un proceso adicional biológico.
- El cumplimiento del estándar, de la compañía en el parámetro DBO₅ es igualmente alcanzable mediante un proceso biológico precedido por el proceso físico-químico.

2.7. Identificación de las líneas de drenaje

Con un levantamiento de las líneas de drenajes de la compañía, se constató a fondo los problemas derivados de la desorganización de los drenajes, la dificultad para ubicar las intersecciones y recorridos de los mismos.

Después de realizar dicho levantamiento, se logro el objetivo inicial del mismo, y se logro determinar que existen tres grandes efluentes, los cuales se describen a continuación.

- Aguas residuales de servicios: aguas derivadas de la cafetería y servicios sanitarios.
- Aguas de procesos: desechos de grasas y aceites derivadas de la producción de cosméticos.
- Aguas pluviales.

Tabla VI. Calidad de agua residual del proceso antes de la instalación

Calidad* de agua residual proceso								
Parámetro mg/l	Variabilidad de calidad (Diciembre 06 - Enero 07)			Norma de la compañía	Acuerdo Gubernativo 236-2006			
	Bajo	Promedio**	Alto		Etapa 1 2011	Etapa 2 2015	Etapa 3 2019	Etapa 4 2025
DQO total	7000	13 824	26 640					
DQO solución	6120	10 855	17 080					
DBO total	3850	8409	16 200	60	1500	750	450	200
DBO solución	3120	6759	12 450					
GYA	84	1008	5914	30	200	100	60	60

*Contenido orgánico y grasas y aceites.

** Valores calculados de registros de muestras en el período citado.

2.8. Identificación de inconvenientes

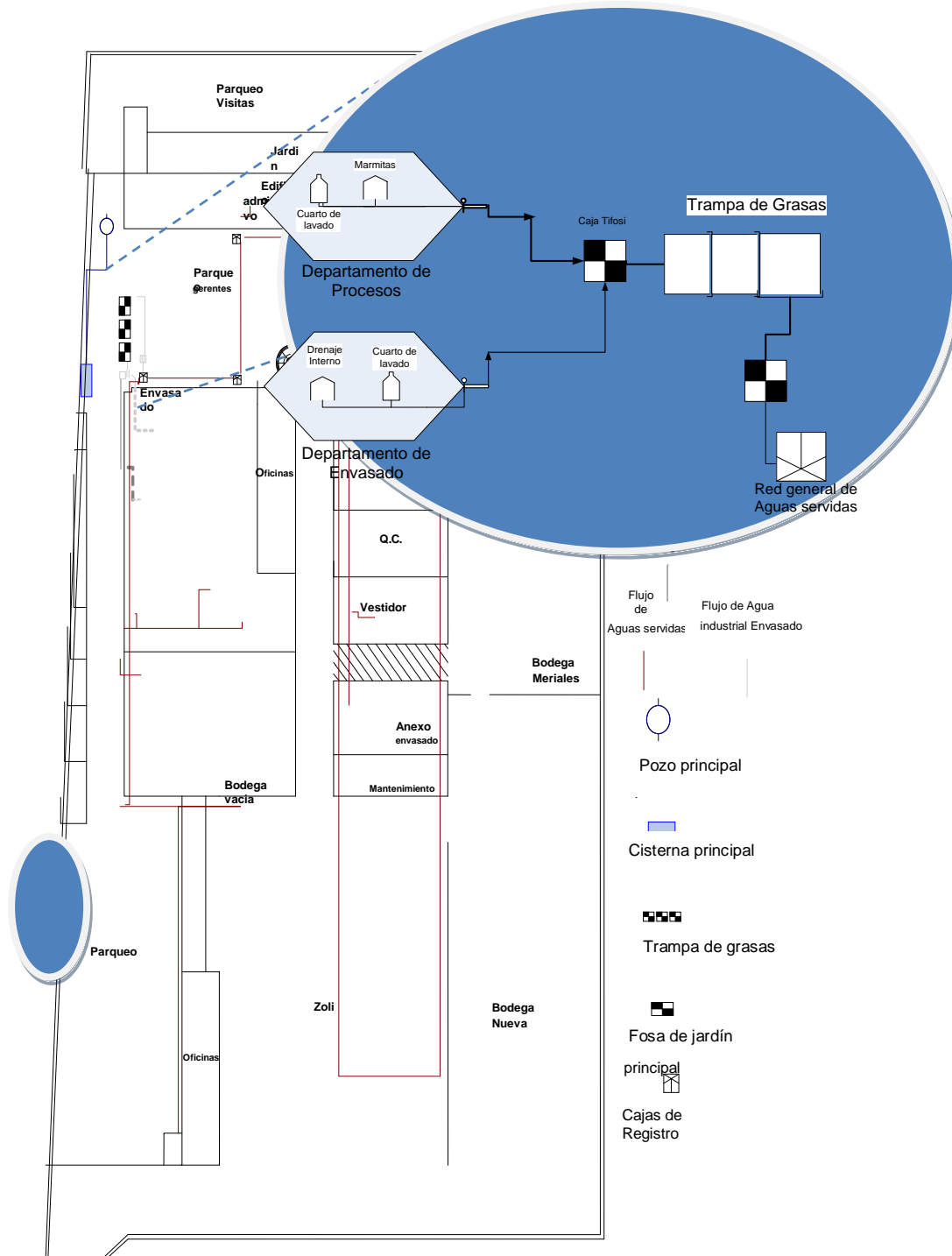
2.8.1. Mezcla de líneas de drenaje

Se pudo identificar que dichas líneas de drenaje, se encuentran, relacionadas entre sí, por lo que ocurre una mezcla de los tres tipos de efluente, lo cual no permite actualmente el tratamiento por separado de cada uno de los mismos, ya que las líneas no están debidamente segregadas por el tipo de agua que transportan y existe un solo efluente para toda la descarga de la compañía.

Se identificó que las líneas de drenaje derivados de la construcción de nuevos baños, tanto inodoros como lavamanos y mingitorios, han sido simplemente conectadas a las líneas ya existentes de aguas pluviales o viceversa, y que el efluente de aguas de proceso está dirigido hacia una trampa de grasas que funciona por el método de rebalse y gravedad, y luego de pasar por este proceso, esta se dirige hacia las cajas de recolección destinadas a las aguas de servicios, también se pudo identificar, que no todos los efluentes de este tipo de agua está dirigido hacia dicha trampa.

El primer diagnóstico que se pudo detectar, es la mezcla de efluentes, la cual debe ser corregida para que el sistema pueda atacar o dar un tratamiento correcto a las aguas de la compañía, ya que como se encuentran actualmente, no existe ninguna posibilidad de realizar el mismo.

Figura 1. Diagrama de ubicación de áreas generadoras de aguas



2.8.2. Separación de drenajes

- Para poder encausar todo el efluente de la empresa, se debe realizar una nueva distribución de los drenajes.
- Ya que todo el sistema de drenajes interno es subterráneo, se afectaran pasillos y áreas operativas.
- En vista de lo anterior, se trabajara en tres turnos; dos diurnos y uno nocturno, para poder respetar la operación hasta el punto que sea posible.

2.9. Determinación de la trayectoria hidráulica hacia la PTAR

- La trayectoria hidráulica será colocada en forma aérea, por lo que no ocasionará mayor interrupción al momento de ser colocada.
- Esta parte del proyecto se tiene estimada para durar todo el mes de noviembre 2007.
- Únicamente será subterránea al principio de la misma.

La obra deberá contemplar el colocar tubería que trasiegue aguas servidas, desde la fosa séptica, que será colocada en el área de parqueo de gerentes hacia la planta, también la tubería desde la trampa de grasas, colocada en el mismo lugar hacia la planta, la colocación de tubería desde la fosa que será colocada en el área de baños de *shipping* hacia la planta y por último, la colocación de tubería necesaria para trasegar el agua desde la planta, hacia el drenaje general, a continuación se colocan los datos técnicos de la propuesta.

Figura 2. Trayectoria hidráulica hacia la planta de tratamiento

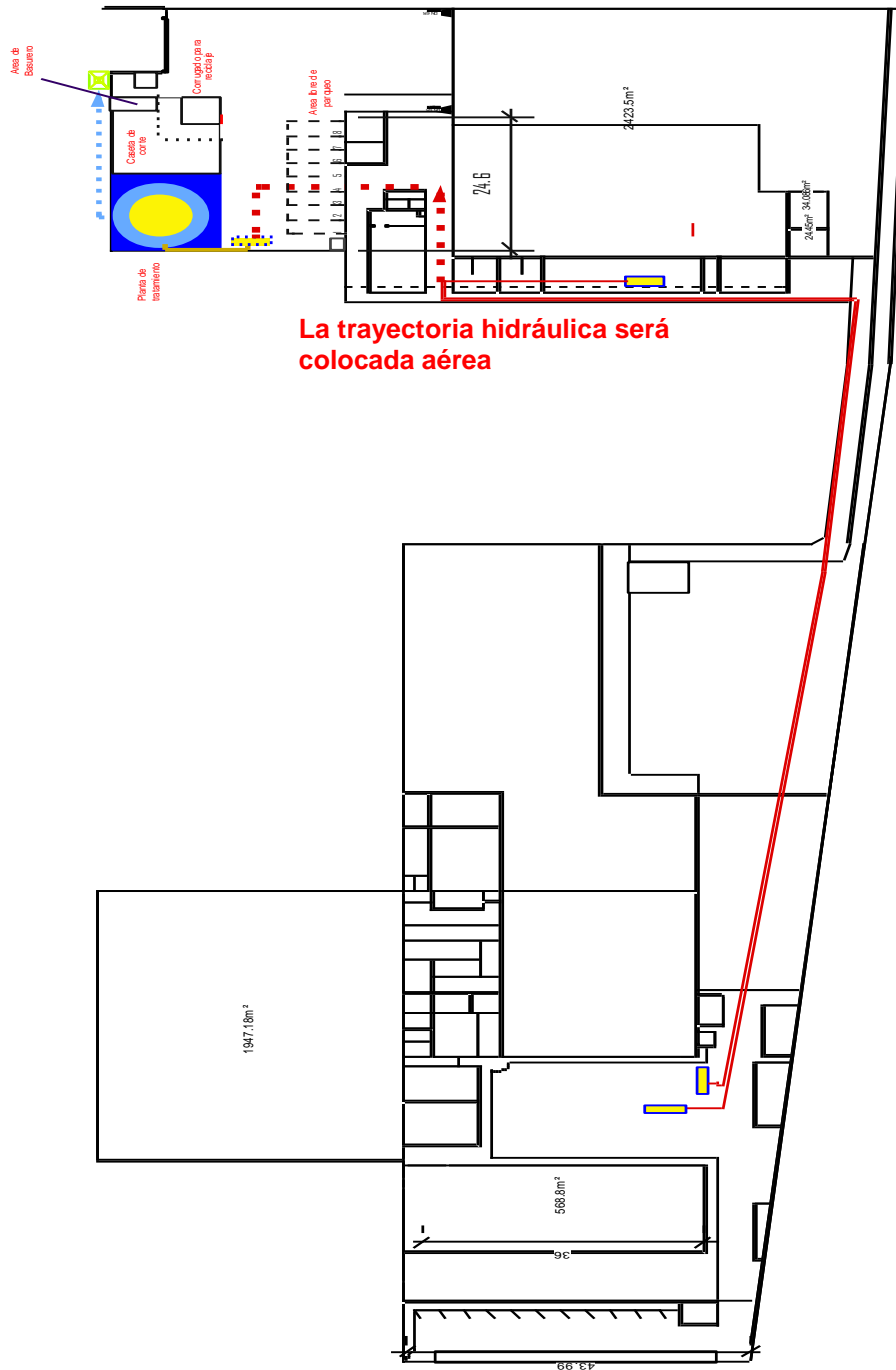


Tabla VII. Longitudes de tubería y diámetros necesarios

Tramo de tubería	Longitud (m)	Diámetro pulgadas
De fosa en parqueo gerencial hacia la planta	89	6"
De trampa de grasas parqueo gerencial hacia la planta	85	6"
De fosa en área de shipping hacia la planta	99	6"
De la planta hacia drenaje general	122	6"
Longitud total de tubería necesaria para la propuesta	395	

2.10. Área necesaria para la ubicación de la planta

Se analizó la colocación de la planta en el área central del actual parqueo de maniobras, al colocar la misma a tres metros de distancia del área donde se ubica el tanque de alcohol y el área de reciclaje. Ésta ocuparía una área de $216 m^2$, se dejaría un área para crecimiento a futuro de $672m^2$.

El área fue determinada con base en las especificaciones y dimensiones provistas por el fabricante de los equipos a instalar, y las dimensiones de los tanques.

2.11. Bases y criterios finales de instalación

Para determinar el adecuado funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales se deberá determinar las eficiencias de remoción base DQO, elaborando pruebas de Tratabilidad In Situ, encontrar el químico y dosificación adecuadas para lograr eficiencias, tales que permitan lograr el Acuerdo Gubernativo, siendo los límites máximos permisibles a determinar en campo como sigue:

- DQO: no normado, se toma una relación de 0,65 DQO/DBO
- DBO: 1500 mg/l
- Sólidos suspendidos totales: 1500 mg/l
- Color: 1300 PT Co.
- Determinación de demanda química de oxígeno con equipo HACH, reactor y colorímetro DDR 890: muestra inicial con 14846 g/l

2.11.1. Desarrollo de pruebas

- Lugar de muestreo: descarga final de aguas residuales de proceso
- Periodo de análisis: 26/07/2007 al 28/07/2007
- Identificación de la muestra: efluente proceso
- Procedencia de la muestra: efluente de trampa de grasas y aceites
- Pruebas a realizar: jarras, DQO, sólidos suspendidos, turbidez y color.

Se lleva a cabo la identificación del punto de toma de muestra, del efluente final, después de la trampa de grasas, y se procede a tomar los parámetros de campo, como siguen: fecha: 26/07/06, hora: 3:23 pm, No. muestra: 1, pH: 4,95 unidades, conductividad: 1609 ohm, temperatura: 35 °C

2.11.2. Prueba de jarras

Se hace la observación que las pruebas se realizaron sin diluir la muestra, y sin ajuste de pH, con el objetivo de no instalar un sistema de ajuste de pH que nos demande a usar un reactivo más en la PTAR. Para la determinación del agente coagulante, se procede a probar diferentes coagulantes tales como: PAC 1 (México POOL), cloruro férrico, hidróxido de calcio, PAC 2 Clear pool, poliflocal (Coagulante Inorgánico), PAC 3.

Tabla No. VIII. Referencia de DQO del agua residual del proceso

Determinación de demanda química de oxígeno con equipo HACH, reactor y colorímetro DDR 890	
Resultado analítico mg/l muestra inicial	
Total	14 846 mg/l

Tabla IX. Referencia de calidad de agua residual del proceso

No. prueba	Agente coagulante	Dosificación coagulante mg/l	Dosificación de floculante Mg/l	pH final	Volumen lodo ml/l	Lodo	Sobre-nadante	Color
1	PAC 1	Hasta 5000	10	4,2	No presenta rompimiento	N	SIN	Mismo
2	PAC 2	2500	10	3,8	400	D	TU	M
3	PAC 3	1250	5	3,5	475	B	TR	SN
4	Hidróxido de calcio	2500	5	8,25	200	L	TU	I
5	Cloruro férrico	Hasta 4000	Sin	6,75	No presenta rompimiento	N	SIN	I
6	Poliflocal	2500	5	5,55	420	B	TR	SN

Tabla X. Criterios de selección para las pruebas

Código lodo		Código de sobrenadante		Código de color	
B	Bueno	TR	Traslucido	SN	Sin color
D	Disperso	LT	Ligeramente turbio	TN	Tenue
L	Ligero	TU	Turbio	M	Medio
N	Nulo	MT	Muy turbio	I	Intenso

Determinación de demanda química de oxígeno con equipo HACH, reactor y colorímetro DDR 890	
Resultado analítico mg/l muestra inicial	
Total	14 846 mg/l
Determinación de demanda química de oxígeno con equipo HACH, reactor y colorímetro DDR 890	
Resultado analítico mg/l muestra inicial	
Total	14 846 mg/l

2.11.3. Caracterización de pruebas seleccionadas

2.11.3.1. Prueba 3

Parámetros

- pH óptimo: sin ajuste
- Agente coagulante óptimo: PAC 3

- Dosificación: 1250 mg/l
- Agente floculante óptimo: VHM
- Dosificación: 5 mg/l
- Dosificación: 1250 mg/l

Figura 3. Fotografía 1. Prueba de jarras No. 3



Parámetros de calidad sobrenadante:

- Turbiedad: 100 FAU
- Color: 908 PT color.
- Sólidos suspendidos: 65 mg/l
- DQO: 3850 mg/l
- Eficiencia de remoción base DQO: 74%
- DBO estimada base relación inicial: 2310 mg/l

2.11.3.2. Prueba de jarras No. 6.

Parámetros

- pH óptimo: sin ajuste
- Agente coagulante óptimo: poliflocal
- Dosificación: 2500 mg/l

Figura 4. Fotografía 2. Prueba de jarras No. 6



Parámetros de calidad sobrenadante:

- Turbiedad: 61 FAU
- Color: 4,8 PT color
- Sólidos suspendidos: 39 mg/l
- DQO: 3370 mg/l
- Eficiencia de remoción base DQO: 77%
- DBO estimada base relación inicial: 2022 mg/l

Para realizar una verificación de los resultados analíticos; se lleva a cabo tres corridas con el PAC y una corrida con Poliflocal, esto con el fin de determinar eficiencias de remoción de DQO, y repetitividad. Los resultados se muestran en tablas XI y XII y en la figura 5.

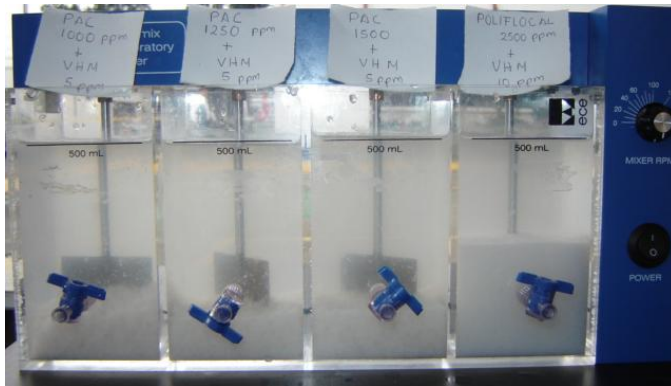
Tabla XI. Parámetros cualitativos de calidad de agua residual del proceso

No.	Agente coagulante	Dosificación coagulante mg/l	Dosificación floculante mg/l	Volumen lodo mg/l	Lodo	Apariencia sobrenadante	Color
A	PAC 3	1000	5	200	D	LT	M
B	PAC 3	1250	5	280	B	TR	SN
C	PAC 3	1500	5	320	B	TR	TN
D	Poliflocal	2500	5	500	B	TR	SN

Tabla XII. Parámetros cuantitativos del agua residual del proceso

No.	Agente coagulante	Dosificación coagulante mg/l	Dosificación floculante mg/l	DQO sobrenadante mg/l	Color PT de Co	Turbidez FAU	Sólidos suspendidos mg/l
A	PAC 3	1000	5	3950	908	100	65
B	PAC 3	1250	5	3850	852	85	55
C	PAC 3	1500	5	3740	726	95	61
D	Poliflocal	2500	10	3370	448	61	39

Figura 5. Fotografía 3. Pruebas de repetitividad, determinación de eficiencias de remoción con PAC y con Poliflocal



2.11.3.3. Análisis de niveles de SST / GYA

Tabla XIII. Niveles SST y GYA

Agua residual proceso	Entrada
Flujo promedio	0,17 libras / segundo
Crecimiento anual de producción	7%

2.12. Comentarios de las pruebas

1. No es necesario ajustar el pH de la muestra original.
2. Existen dos coagulantes eficientes, el PAC 3 y poliflocal, ambos manejan eficiencias arriba del 74% de remoción de DQO, siendo más eficiente el poliflocal, en sólidos suspendidos, color, turbiedad y remoción de DQO.

3. Para la selección del coagulante, por criterio dependerá del costo por kilogramo de los diferentes productos, la cantidad base seca de producto a utilizarse será de:
 - a. PAC 3. Dosificación de 1500 mg/l, consumo diario: 30 kg/día en base seca.
 - b. Poliflocal. Dosificación: 2500 mg/l, consumo diario: 75 kg/día base seca.
4. Se asume que el coagulante deberá prepararse al 25% y se toma la máxima dosificación que es de 2500 ppm, el criterio será, seleccionar la bomba para que a 2500 ppm se use al 60% de su capacidad.
5. Para la selección del floculante, se probó un reactivo aniónico llamado HVM el cual dio muy buenos resultados y bajas dosificaciones, 5 y 10 ppm, la cantidad base seca de producto a utilizarse será de:
 - a. Dosificación: 10 mg/l
 - b. Consumo diario: 0,20 kg/día base seca

2.13. Caracterización de operación y eficiencias

Tabla XIV. Flujos de operación con crecimientos anuales del 7%

Años	Flujo, Libras/segundo	m ³ /día
1	0,17	14,69
2	0,18	15,72
3	0,20	16,82
4	0,21	17,99
5	0,22	19,25

Tabla XV. Parámetros de instalación con base a 12 horas de operación diaria y flujo de 19,25 m³/día (0,45 lps)

Dato	mg/l	kg/día
Demanda bioquímica de oxígeno	8409,00	161,90
Sólidos suspendidos totales	2021,60	38,92
Grasas y aceites	1008,00	19,41

La base de cálculo para el agua residual de servicios considera los siguientes valores:

- Cantidad de personal promedio diario: 1300 personas.
- Aportación de agua residual: 60 litros/persona/día (equivalente a 73 m³/día o 0,903 litros/segundo.)
- Porcentaje de uso 3%

Tabla XVI. Proyección de flujos para 5 años

Año	Flujo litros/segundo	Flujo (m³/día)
1	0,9	78
2	0,93	80,34
3	0,96	82,75
4	0,99	85,23
5	1,02	87,79

Tabla XVII. Parámetros de instalación con base a 24 horas de operación diaria con un flujo de 1,02 lps o 87,93 m³/día

Datos	mg/litro	kg/día
Demanda bioquímica de oxígeno	600,00	52,68
Sólidos suspendidos totales	360,00	31,60
Grasas y aceites	80,00	7,02

2.14. Proyección a 5 años para la PTAR

Tabla XVIII. Datos para influente de agua residual del proceso al sistema físico-químico, con un flujo de 0,45 l/s o 19,25 m³/día

DATOS INFLUENTE	mg / l	kg / día
Demanda bioquímica de oxígeno	8409,00	161,90
Sólidos suspendidos totales	2021,60	32,92
Grasas y aceites	1008,00	19,41

Tabla XIX. Datos para efluente agua residual del proceso al sistema físico-químico, con un flujo de 0.45 l/s ó 19.25 m³/día

DATOS EFLUENTE	mg / l	kg / día
Demanda bioquímica de oxígeno	3784,05	72,85
Sólidos suspendidos totales	202,16	3,89
Grasas y aceites	100,80	1,94

Tabla XX. Datos para influente agua residual sanitaria a la criba, con un flujo de 1,02 l/s o 87,79 m³/día

DATOS INFLUENTE	mg / l	kg / día
Demanda bioquímica de oxígeno	600,00	52,67
Sólidos suspendidos totales	360,00	31,60
Grasas y aceites	80,00	7,02

Tabla XXI. Datos para efluente de agua residual sanitaria a la criba, con un flujo de 1,02 l/s ó 87,79 m³/día

DATOS EFLUENTE	mg / l	kg / día
Demanda bioquímica de oxígeno	580,00	50,92
Sólidos suspendidos totales	340,00	29,85
Grasas y aceites	80,00	7,02

Tabla XXII. Datos para efluente final de planta de tratamiento, con un flujo de 1,46 l/s ó 107,04 m³/día

DATOS DEL EFLUENTE	Esperado		Etapa 1. Acuerdo 236-2006	
	mg / l	kg / día	mg / l	kg / día
Dimensionales				
Demanda bioquímica de oxígeno	1156,29	123,77	1500	N.A.
Sólidos suspendidos totales	315,21	33,74	1500	N.A.
Grasas y aceites	383,74	8,96	300	N.A.

3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Bajo el cumplimiento de la normativa del Acuerdo Gubernamental 236-2006. Etapa 1 con fecha de cumplimiento 2011, bajo los parámetros de DBO₅ y grasas y aceites controlados. En el sistema planteado se ha considerado una tecnología confiable y práctica disponible, que garantiza plenamente su desempeño funcional, para la remoción de carga orgánica suspendida y soluble, grasas y aceites y concentración de sólidos o lodos separados del agua residual tratada. La calidad del producto permitirá un factible reuso y los lodos concentrados, cumplirán con la normativa para su disposición final controlada en rellenos sanitarios municipales.

3.1. Características y descripción del sistema de instalación propuesto

Con base en el análisis realizado, del diagnóstico actual de la compañía, se realiza la propuesta de los elementos que se deben seguir y los sistemas que se deben instalar, para lograr la calidad del agua requerida por el proyecto.

3.1.1. Separación y segregación de las diferentes líneas de drenaje

Se propone inicialmente una segregación de las líneas de drenaje, separándolas según el efluente que manejen, para que se pueda realizar un tratamiento separado, según la calidad de cada una de estas, realizando dicha segregación de la siguiente manera.

3.1.1.1. Líneas de drenajes de aguas pluviales

Con base en los levantamientos realizados, se determina que las líneas de drenajes pluviales deben seguir realizando su función actual y no ser modificadas, ya que son las líneas originales y ha sido donde se han introducido líneas de aguas servidas y drenajes en general, la orientación de este efluente es la correcta, ya que se dirige directamente al alcantarillado público designado para este efluente.

3.1.1.2. Líneas de drenajes de aguas servidas

Se determina que esta red de drenajes, debe ser modificada en su totalidad, por lo que se propone la realización de los siguientes pasos:

1. Identificación de cajas de registro.
2. Identificación de líneas de baños en edificio administrativo.
3. Identificación de líneas de baños de producción.
4. Apertura del suelo para reorientación de las líneas
5. Introducción y ensamble de tubería de las nuevas líneas de drenaje.
6. Orientación de las nuevas líneas, hacia el tanque de recolección, de este tipo de aguas.
7. Bombeo del tanque de recolección hacia la ubicación de la planta de tratamiento

3.1.1.3. Líneas de drenajes de proceso

Se determina que esta red de drenajes, está dirigida y segregada en un 75% y que está dirigida hacia una trampa de grasas que se debe mantener, y

alimentará el tanque de recolección, por lo que se propone la realización de los siguientes pasos:

1. Identificación de cajas de registro.
2. Identificación de líneas provenientes del departamento de procesos.
3. Identificación de líneas provenientes del área de lavado del departamento de envasado.
4. Reorientación de las líneas que no se encuentren dirigida hacia la trampa de grasas.
5. Introducción y ensamble de tubería de la actual trampa de grasas, hacia el nuevo tanque de recolección.
6. Bombeo del tanque de recolección, hacia la ubicación de la planta de tratamiento.

3.1.2. Sistema físico-químico para la nivelación de los estándares del efluente

El sistema de tratamiento de aguas residuales, ilustrado en el diagrama de flujo que se muestra a continuación, está integrado por las siguientes etapas principales:

1. Tanques de captación, homogeneización y re-bombeo de aguas residuales de servicios y aguas residuales de proceso.
2. Cribado de sólidos gruesos.
3. Tanque de coagulación química y sistema de flotación por aire.
4. Disuelto (DAF).
5. Sistema de preparación de coagulante y floculante y dosificación.
6. Acondicionamiento y desaguado de lodos.

En las secciones siguientes se describe brevemente el funcionamiento del proceso, así como los principios teóricos básicos que fundamentan cada etapa de tratamiento.

3.1.3. Tanques de re-bombeo

La trampa existente para los residuales de proceso, será utilizada para tanque de rebombeo; al proceso de flotación. Para los residuales de servicios se construirá un tanque o cárcamo con una capacidad estimada de 15 a 20 metros cúbicos. Igualmente se utilizará un equipo dúplex de bombeo sumergible para cada tanque, que alimentarán al sistema de separación por flotación de las descargas de proceso y servicios.

El equipo doble de bombeo, alimentará continuamente al sistema de flotación, a través de un control de niveles. El agua del filtro prensa, se recibirá en el cárcamo de proceso.

El agua de proceso previamente pasará a un tanque de coagulación mediante la adición de químicos, la corriente sanitaria pasará a través de una criba estática tangencial y las dos aguas serán mezcladas a la entrada de la unidad de flotación.

3.1.4. Separación de grasas, aceites y sólidos en suspensión por flotación con aire disuelto

Dado el alto contenido de materia en suspensión y coloidal de la mezcla de las dos descargas, la etapa de tratamiento consistirá de un proceso de

flotación con aire disuelto. Este proceso tiene como principio de operación, la adición de aire, vía una bomba de cavitación, alimentando aire, en la corriente de agua, que una vez en la superficie y en contacto con la corriente de agua residual, permite la separación de sólidos. La separación se da; por la formación de pequeñas (micro) burbujas que se adhieren a la superficie de las partículas suspendidas, resultantes de la coagulación y floculación química y las arrastran hacia la superficie. Esta circunstancia favorece o acelera la velocidad de ascenso (flotación), así como la formación de una capa densa en la superficie, dando lugar a la minimización del tiempo de residencia hidráulico, para llevar a cabo la separación y a un mínimo volumen de lodos. Bajo este principio de operación, los lodos se colectan mediante un mecanismo de rastras; como natas y el agua clarificada, libre de partículas sólidas, queda en la parte inferior de las natas, recolectándose en un sistema de vertedero sumergido que evita el arrastre de partículas flotantes. El agua tratada libre de natas y sólidos coloidales y suspendidos, se le adicionará hipoclorito, para su desinfección y vertido a la descarga. El lodo flotado, se conduce por gravedad a un tanque de espesamiento y bombeo, para un desaguado final.

3.1.5. Estabilización y deshidratación de lodos

Esta etapa está conformada básicamente por un espesamiento por gravedad, y en caso necesario, por un acondicionamiento de lodos, para ser desaguados en un filtro prensa, tipo placas, para lograr una concentración de 4 a 6 veces lo que se estima de la nata del flotador.

Al alimentar los lodos acondicionados al filtro prensa, se eliminaría hasta un 60% de humedad que estos contienen, obteniendo así una torta con una alta

concentración de sólidos y una humedad baja, lo que facilitará completamente su disposición final.

3.1.6. Desinfección

El agua clarificada, efluente del proceso de separación de sólidos por aire disuelto, se someterá a una desinfección continua, mediante coloración con hipoclorito. La dosificación será regulada en función del volumen vertido y con control a través del PLC central.

3.2. Ingeniería de proceso

3.2.1. Estaciones de captación, homogeneización y bombeo de aguas industriales y sanitarias

Los efluentes sanitarios y de las áreas de proceso que se generan durante las operaciones de manufactura de la instalación, serán colectados y conducidos hacia tres cárcamos de bombeo enterrados, con capacidad aproximada de 22 m³ cada uno, desde donde la descarga sanitaria (descarga 1 y 2) será bombeada hacia una criba estática tangencial con capacidad de 2 m³/h y la descarga de proceso (descarga 3) hacia el proceso de flotación, el cual se llevará a cabo en una unidad de flotación por aire disuelto con una capacidad de 2 m³/h.

El sistema de bombeo operará de manera automática, en cada cárcamo se cuenta con dos bombas de tipo sumergible con una potencia de 1,5 kw y

capacidad para transferir un gasto máximo de 9 m³/h, controlados por un sensor de nivel hidrostático, en un arreglo redundante, dejando una bomba en espera y con una alternancia de 24 horas para igualar el desgaste de cada bomba.

3.2.2. Separación de sólidos gruesos en la corriente de agua sanitaria

El agua residual que proviene de las áreas de servicios, será colectada en dos cárcamos de bombeo enterrados, luego será bombeado hacia una criba estática tangencial de acero inoxidable con capacidad de 2 m³/h, cuya descarga será hacia el tanque de salida, hacia el drenaje municipal.

El tanque de reacción química, con una capacidad de 3 m³, equipado también con un agitador de tipo propela, con motor de 0,75 kw, para lograr una completa homogenización y reacción. Por lo que cualquier sólido con un diámetro mayor a 0,5 mm será separado por la criba, mismo que será retirado de manera intermitente a través de una limpieza manual. Los sólidos serán colectados en un contenedor y almacenados para disposición final.

3.2.3. Separación de sólidos, grasas y aceites por flotación con aire disuelto (DAF) en la corriente de agua de proceso

La flotación ha sido considerada como un método eficiente para hacer llegar las partículas hacia la superficie, a través del uso de burbujas de aire, a las cuales se adhieren dichas partículas. Una cama de lodo se forma en la superficie y es removida ya sea hidráulicamente o mecánicamente. Micro burbujas de 10 a 80 µm son utilizadas para separar los sólidos suspendidos y coloidales.

Las micro burbujas son introducidas y mezcladas de manera homogénea con el agua. Las micro burbujas junto con los sólidos forman una suspensión. La suspensión es claramente separada de manera horizontal por diferencia de densidades de la capa inferior del agua clarificada. El agua clarificada fluye fuera de la suspensión hacia la descarga del sistema de flotación. Por lo tanto, un flujo constante de 0,5 lps proveniente del cárcamo de proceso con una previa dosificación de agente floculante con concentración de 0,2% por medio de una bomba dosificadora con capacidad de 15 l/h, y conducida hacia un tanque de reacción para lograr la reacción del floculante con el agua de proceso y facilitar la separación de los sólidos suspendidos y grasas contenidos, para posteriormente ser alimentado por gravedad hacia el sistema de flotación, por difusión de aire con una capacidad para tratar 2 m³/h.

A través del sistema DAF, la mayoría de la materia suspendida y coloidal así como las grasas y aceites serán removidos, por medio de una rastra mecánica la cual remueve la capa superficial de sólidos formada, logrando así un pre-tratamiento físico-químico y dejando solo que los orgánicos disueltos sean enviados hacia el sistema de tratamiento SBR, que será construido posteriormente como segunda etapa.

El lodo flotado será conducido hacia un tanque de colección y acondicionamiento de lodos, mediante una bomba de diafragma, de tipo neumática con capacidad de 2 gpm, mismo que podrá ser mezclado posteriormente con el lodo biológico de la purga del reactor (etapa 2).

3.2.4. Sistema de preparación de soluciones de coagulante y floculante

El agua residual recibirá la dosificación en línea y en el tanque de reacción, las soluciones de estos químicos para acelerar la separación de los sólidos suspendidos y coloidales.

La dosificación se lleva a cabo en forma automática y es función tanto del flujo de agua a tratar como de la concentración que se espera mantener en la corriente de agua tratada. En este caso la concentración que se espera mantener es de 500 y 10 mg/l, respectivamente, para un flujo de 2 m³/hr, para lo cual se requiere una dosificación de 2,5 l/h, lograda mediante una bomba dosificadora con una capacidad de 5 l/h.

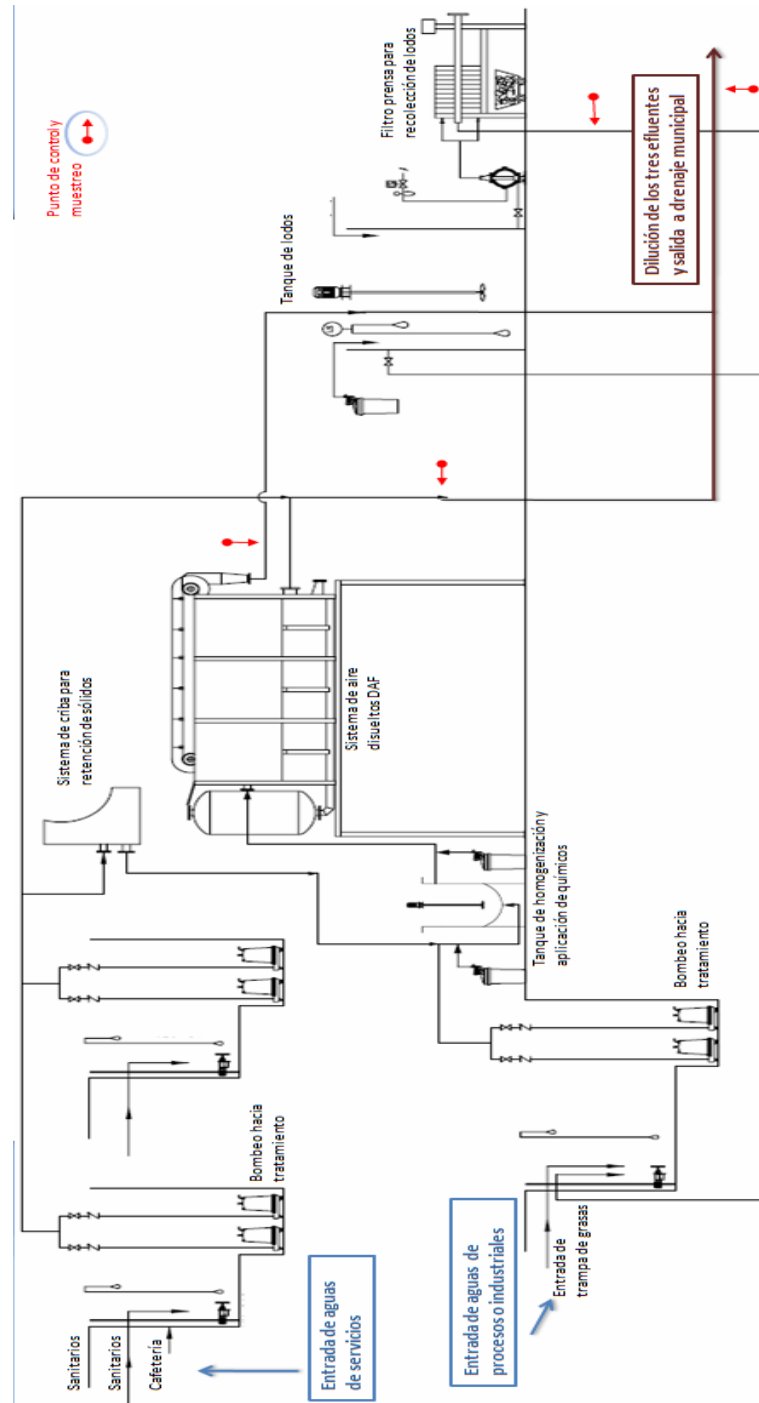
Para el control de esta reacción química, será necesario establecer y ajustar un control de pH, cuyo valor óptimo será definido en base a las pruebas de tratamiento. El sistema de pH será monitoreado y controlado mediante un instrumento, comunicado a las bombas dosificadores y tablero de control.

3.2.5. Acondicionamiento y desaguado de lodos

Los lodos generados en el proceso biológico y en el proceso físico - químico se captan en un tanque, con capacidad de 10 m³, fabricado en polietileno de alta densidad, en este tanque se lleva a cabo el acondicionamiento mediante la adición de polímero anicónico, con una dosificación de 9,7 l/h, esto para alcanzar una concentración de 10 mg/l.

Una vez acondicionado, el lodo completamente mezclado se alimenta, mediante una bomba de desplazamiento positivo, de tipo diafragma y con accionamiento neumático, con capacidad de 5 gpm al filtro prensa donde se lleva a cabo el desaguado y compactación de sólidos. El filtro prensa tiene capacidad de 2 ft³ y opera en forma cíclica, realizando 1 ciclo cada día para filtrar todo el lodo generado durante el tratamiento. El filtrado, con un contenido mínimo de sólidos se retorna al cárcamo de re-bombeo, y los sólidos húmedos se colectan en un contenedor para su disposición final.

Figura 6. Diagrama de instalación de la planta de tratamiento



Se puede consultar el anexo 3 que complementa esta figura.

4. INGENIERÍA DE LA OBRA CIVIL

Para la instalación de la obra civil son necesarias las siguientes actividades:

1. Adecuación de cárcamo para agua residual del proceso, volumen útil de 12 m^3 , consistente en el rompimiento de las mamparas, para permitir una homogeneización. Construcción tapa para montaje de equipos.
2. Dimensiones internas generales de $2,5 \times 5,0 \times 1,5$ metros.
3. Construcción de cárcamo para agua residual de servicios, volumen útil de 18 m^3 , en concreto armado, acabado aparente, totalmente enterrado y con tapa para montaje de equipos. Dimensiones internas generales de $3,50 \times 3,50 \times 1,5$ metros.
4. Construcción de cárcamo de agua residual de sanitarios y cafetería, volumen útil de 18 m^3 , en concreto armado, acabado aparente, totalmente enterrado y tapa para montaje de equipos. Dimensiones internas generales de $3,50 \times 3,50 \times 1,50$ metros.
5. Construcción de losa de montaje para reactor biológico en concreto armado, área de $10,0 \times 10,0$ metros, espesor 15 centímetros. Incluye zapata, y dados para estructura metálica.
6. Construcción de tanque reactor SBR en acero al carbón, acabado epóxico y atornillable, volumen total útil de 280 m^3 , dimensiones generales de 9 metros de diámetro por 4,5 metros de altura.
7. Construcción de losa de montaje para equipos dimensiones (l X a X h) de $12,0 \times 6,5$, espesor 15 centímetros.
8. Construcción del cuarto de control, dimensiones (largo X ancho X altura h) de $3,0 \times 2,5 \times 2,5$ metros.

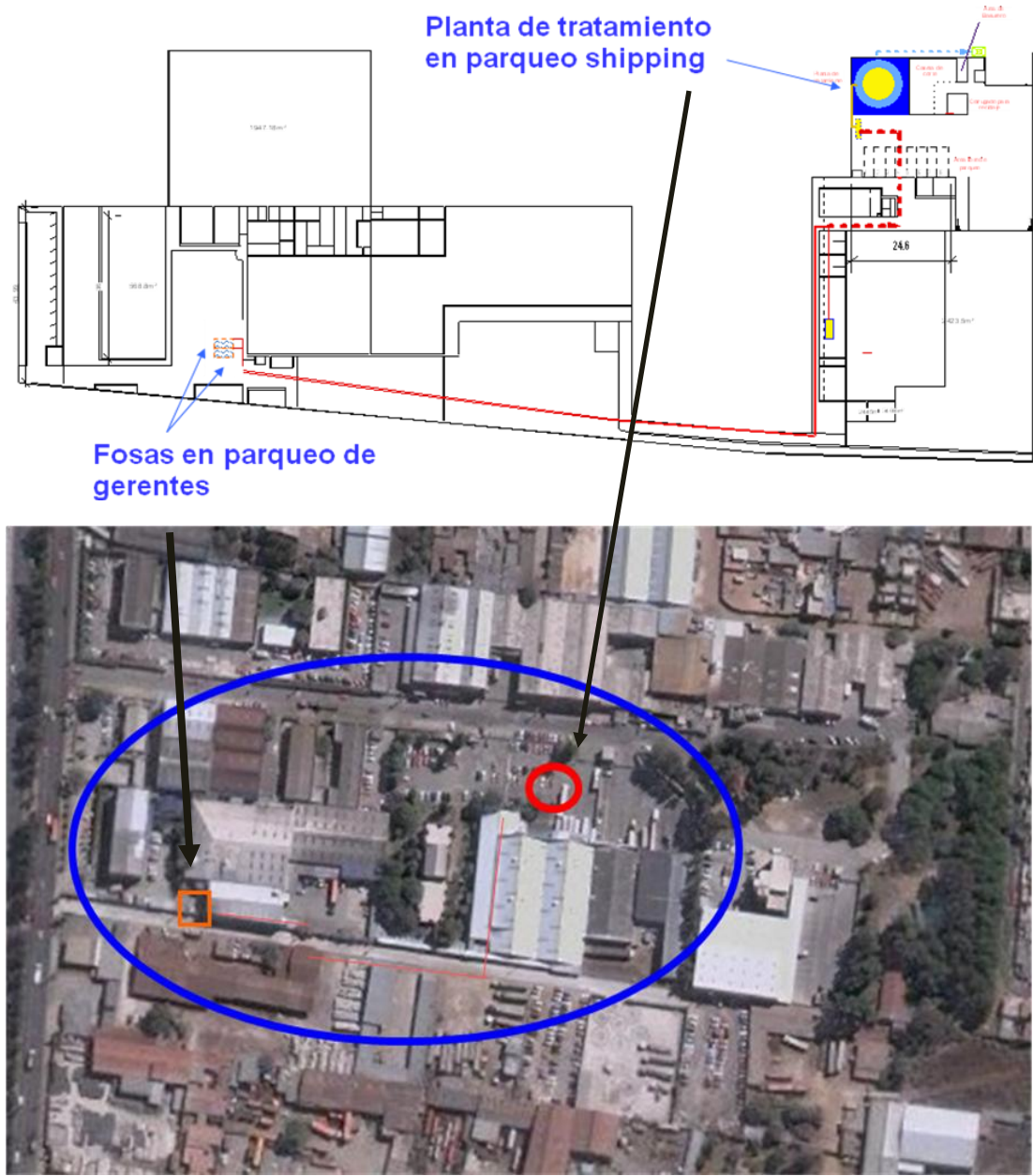
9. Las siguientes actividades generales:

- Limpieza y despalme.
- Trazo y nivelación en área de construcción.
- Demolición firme de concreto simple de 10 centímetros.
- Excavación en terreno tipo II de 0,02 metros de profundidad.
- Excavación en terreno tipo II de 2,0-4,0 metros de profundidad.
- Excavación en terreno tipo II de 4,0-6,0 metros de profundidad.
- Afinado a mano en fondo de excavación.
- Carga y acarreo de material, producto de excavación.
- Plantilla de concreto $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$, de 6 centímetros de espesor.
- Suministro habilitado y colocación de acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.
- Suministro y colocación de banda ojillada de PVC.
- Suministro habilitado y colocación de cimbra recta acabado aparente.
- Suministro y colocación de concreto bombeado con $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$, incluye vaciado, vibrado y curado.
- Relleno y compactación de material, producto de la excavación c/pisón de mano en capas de 20 centímetros.
- Incluye acarreo libre 20 metros. Reposición de firme en concreto con $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.
- Limpieza general.

4.1. Apertura de fosas en estacionamiento

Se abrirán las fosas de aguas sanitarias y de procesos en el parqueo de gerentes, con un volumen 22 m^3 , cada una. La duración de estos trabajos será aproximadamente de 2 meses. Tiempo durante el cual, se perderán 4 espacios de parqueo.

Figura 7. Diagrama de ubicación de las fosas en área de estacionamientos, diagrama y vista aérea



La siguiente gráfica muestra la ubicación contigua al área de *Shipping* de la compañía, allí estará ubicada físicamente la planta de tratamiento.

Figura 8. Eliminación de estacionamientos

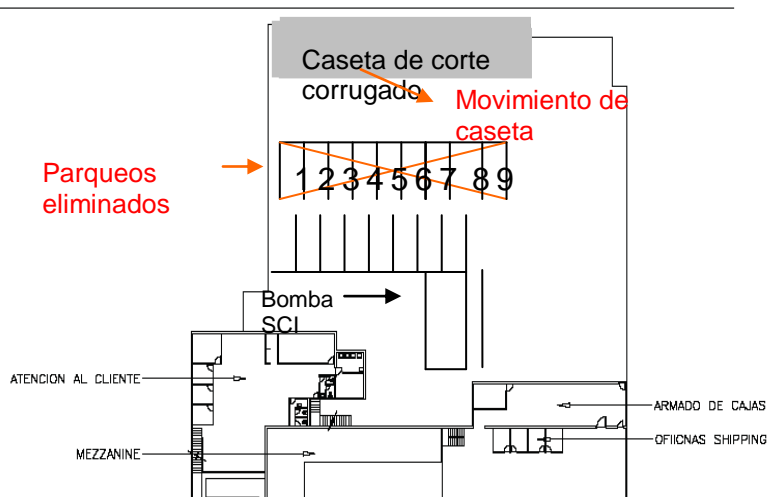
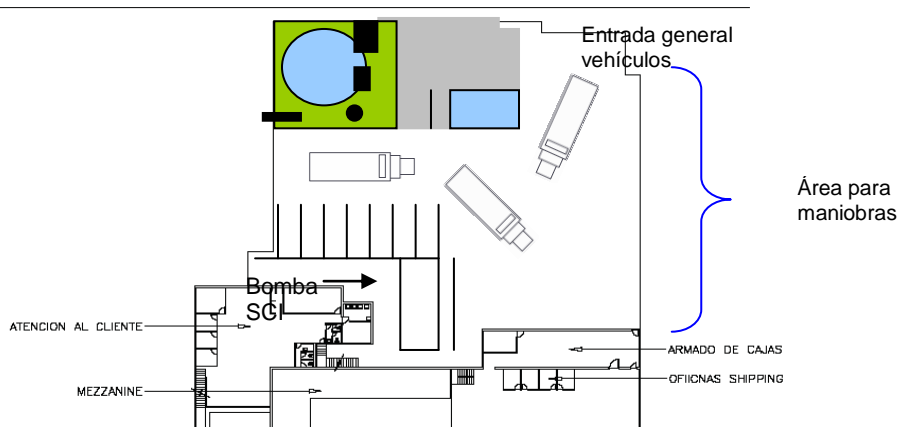


Figura 9. Flujo vehicular en el área de la PTAR



4.2. Equipamiento

Para el equipamiento se requiere lo siguiente:

1. Suministro de sensores de nivel hidrostático, fabricado en PVC. Incluye cable con una longitud de 6 metros. 6 piezas.
2. Suministro de bomba centrífuga sumergible, marca EMU o similar, con capacidad de 23,77 gpm (1,5 lps) a una carga dinámica total de 49 ft (15 m) de columna de agua con motor de 2,0 HP, 220/440 volts, 3 fases, 60 hz. 4 cárcamos de servicios para alimentar la criba y seguir el proceso de flotación.
3. Suministro de bomba centrífuga sumergible, marca EMU o similar, con capacidad de 23,77 gpm (1,5 lps) a una carga total de 49 ft (15 m) de columna de agua con motor de 2 HP, 220/440 volts, 3 fases, 60 Hz. Para alimentar a proceso de flotación (cárcamo de proceso). 3 piezas.
4. Suministro de agitador sumergible, para cárcamos de proceso y servicios, modelo TR21 marca EMU con motor e 1,3 kw. Con guía de izaje, malacate y accesorios de montaje en campo. 2 piezas.
5. Monitor controlador de pH para tanque de re bombeo proceso. Marca Endress, GLI o similar. Incluye sensor. 1 pieza.
6. Suministro de tanque de coagulación fabricado en placa de polietileno reforzado, con una capacidad de 3 m³. 1 pieza.
7. Suministro de agitador para tanque de coagulación con moto-reductor marca Sumitomo o similar flecha y propela fabricados en SS304. Motor de ¼ HP 200/400, 3 fases, 60 Hz. 1 pieza.
8. Suministro de bomba dosificadora de agente coagulante marca LMI. 3 piezas.
9. Suministro de tanque de preparación de polímero con capacidad de 50 galones, marca LMI, modelo 26 350, fabricado en polietileno de alta

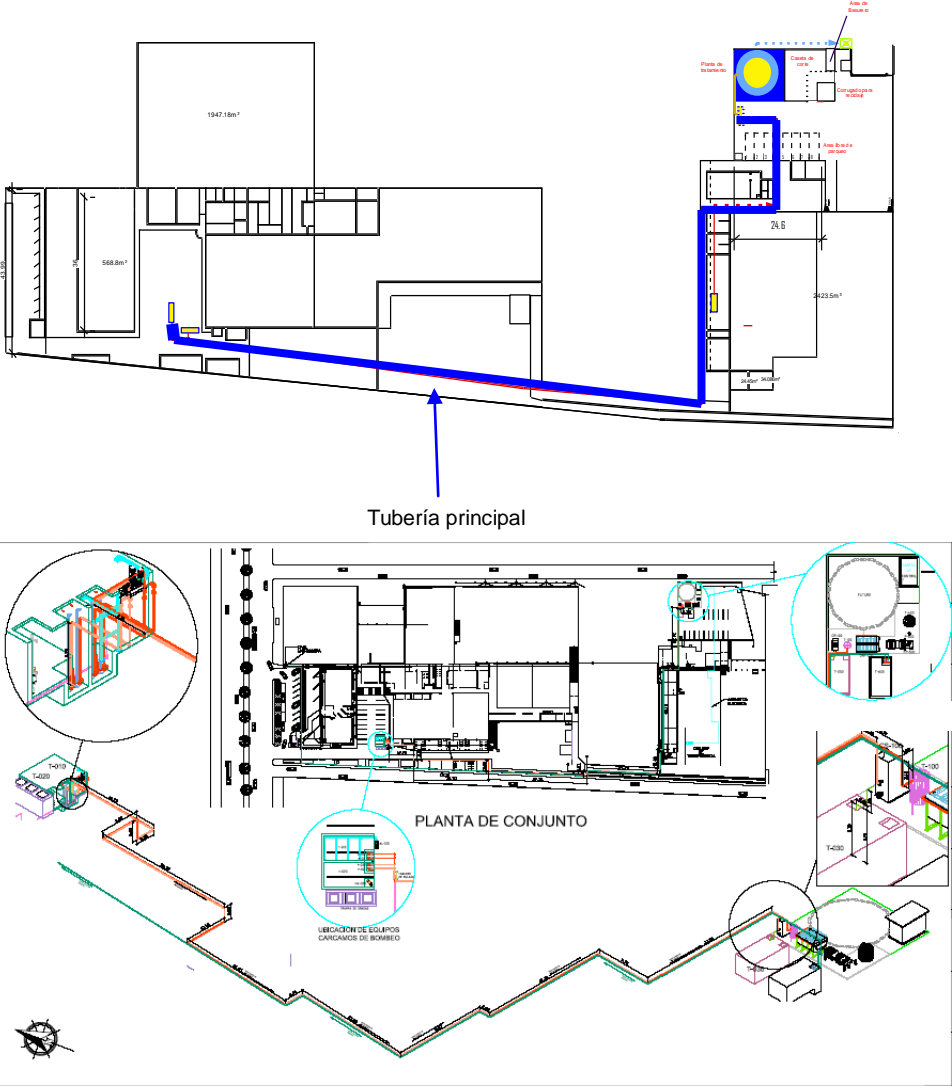
- densidad. Incluye: agitador 1/20 HP, 115 V, 1600 RPM, TEFC, flecha de 34" de largo en 303 S.S. modelo 10 590. 3 piezas.
10. Flotador con aire disuelto, con capacidad hasta para 0,5 lps. Incluye bomba de aire, y controles de mezcla aire agua, rastra mecánica para lodos y su moto reductor de velocidad. 1 pieza.
 11. Suministro de filtro prensa para el desaguado de lodos con capacidad de 2 ft³, modelo 470 LP, con 35 placas. Incluye bomba de alimentación de lodo tipo neumática con diafragma. Operación semiautomática. Cierre hidráulico neumático. 1 pieza.
 12. Compresor de aire para alimentación a bomba y mecanismo de cierre de filtro prensa, Marca Evans o similar, de 5 Hp. 1 pieza.
 13. Suministro de bomba dosificadora de agente desinfectante marca LMI, modelo A141-351TI con una capacidad entre 0,023 y 2,2 lph.
 14. Suministro de tanque de almacenamiento de agente desinfectante marca LMI, modelo 26 350, con una capacidad total de 50 galones; fabricado en polietileno de alta densidad.
 15. Suministro de tablero de fuerza y control marca himel o similar, con guarda motores, luces piloto, selectores de arranque para señalización de alarma, relevadores. Gabinete NEMA 12, con PLC.
 16. Suministro de tanque de acondicionamiento de lodos biológicos, fabricado en placa de polietileno, con una capacidad de 2,5 m³.
 17. Suministro de agitador para tanque de acondicionamiento de lodos con moto reductor, marca Sumitomo o similar flecha y propela. Motor de ¼ HP 200/400 V, 3 fases, 60 Herz.

4.3. Ingeniería hidráulica

Para la obra hidráulica se requiere:

1. Instalación de líneas de interconexión hidráulica de los puntos siguientes:
 - a. Interconexión de líneas de tanque reacción coagulación a DAF.
 - b. Tubería de descarga final.
 - c. Línea de succión y descarga de bomba de alimentación a filtro prensa.
 - d. Línea de descarga de filtrado del filtro prensa a cárcamo proceso.
 - e. Línea de descarga de tanque de lodos a cárcamo proceso.
2. Instalación de línea de transferencia de agua residual desde el cárcamo sanitario, en tubería a/c con costura cédula std 1 ½'' de diámetro incluye aplicación de primario pintura y soportaría
3. Instalación de transferencia de agua residual desde cárcamo de proceso, en tubería a/c con costura, cédula std de 2'' de diámetro. Incluyendo aplicación de primario, pintura y soportaría.
4. Instalación de línea de transferencia de agua residual desde cárcamo sanitario (baños y cafetería), en tubería a/c con costura cédula std 1 ½'' incluye aplicación de primario pintura y soportaría.
5. Aguas residuales proceso. 1,5 m³ / hora.
6. Aguas residuales servicios. 2,5 m³ / hora.

Figura 10. Ubicación general de la planta de tratamiento y tuberías



4.4. Ingeniería eléctrica

Lo necesario para la obra eléctrica requiere de la instalación del centro de control de motores, y tablero de control con accesorios de fuerza y control, PLC Allen Bradley y Terminal operador marca Himel, con luces piloto, botoneras y selectores de posición para el control y monitoreo de los siguientes equipos e instrumentos:

- Bombas de cárcamos de agua residual.
- Actuadores y válvulas de decantación.
- Controladores de válvulas automáticas para filtros.
- Bombas dosificadoras.
- Bombas de alimentación a filtro prensa.
- Sensores de nivel.
- Sensor de pH.

4.5. Ingeniería mecánica

Lo necesario para la obra mecánica se describe a continuación:

1. Soporte de tuberías hidráulicas y eléctricas en acero al carbón, con recubrimiento epóxico, ángulo estructural, incluye placas de anclaje.
2. Suministro y colocación de andador para operación de máquinas.

4.6. Montaje

Incluye maniobras de carga y descarga con grúa, anclaje y nivelación de todos los equipos. Transportación hasta el sitio de instalación.

En las figuras 11 y 12 se pueden apreciar los elementos a instalar y las vistas en perspectiva del sistema de tratamiento de aguas residuales y servicios.

4.7. Arranque y estandarización del sistema

El sistema propuesto considera un período de tiempo, para su estandarización, debido a que se tiene que llevar a cabo la siguiente secuencia operativa o etapas de arranque.

Figura 11. Diagrama de ubicación de los elementos de la PTAR

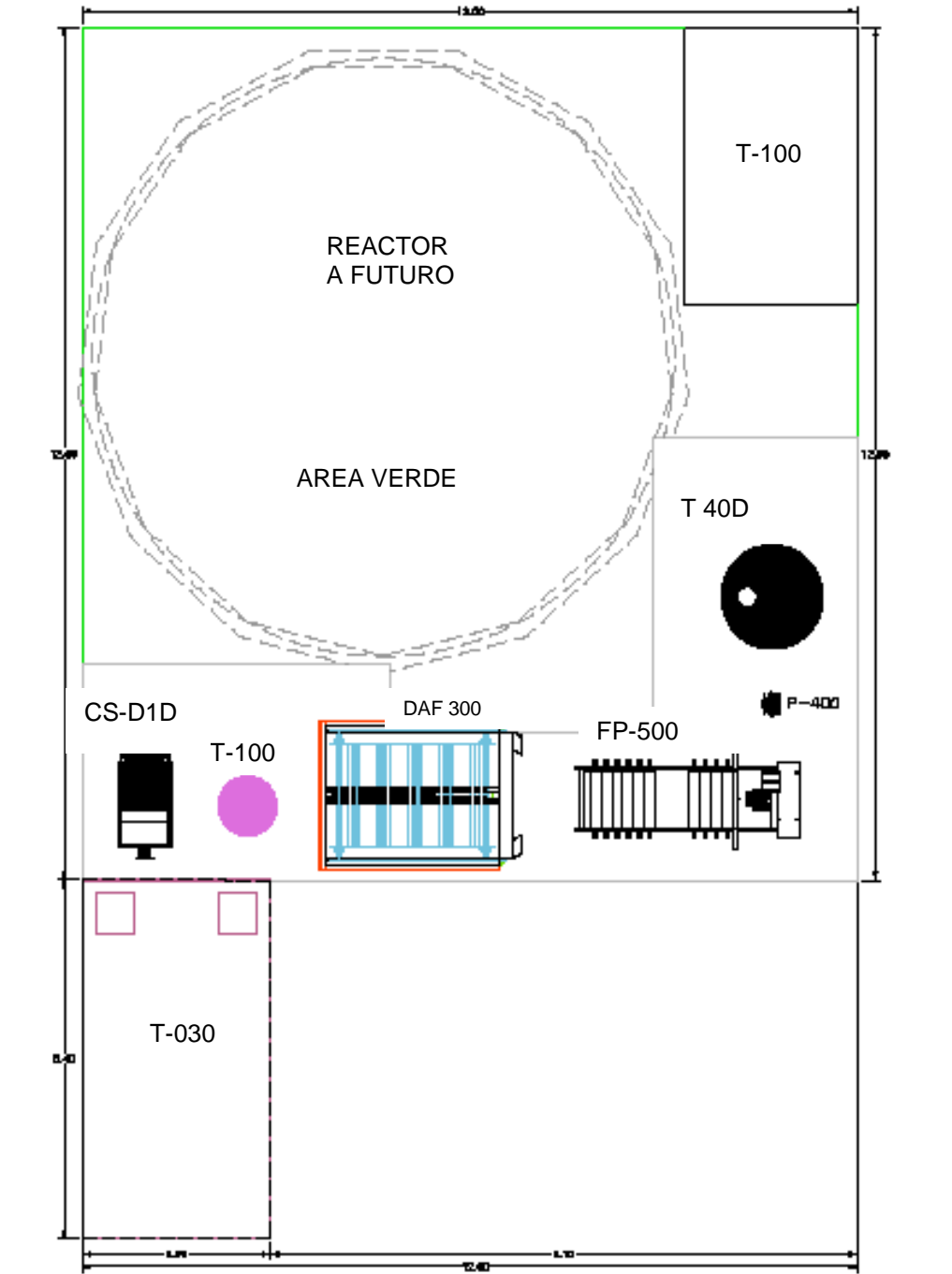
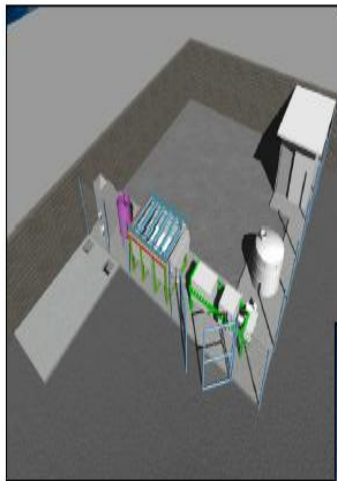
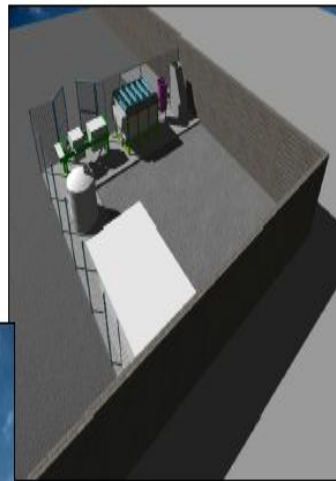


Figura 12. Diferentes perspectivas de vista de la PTAR



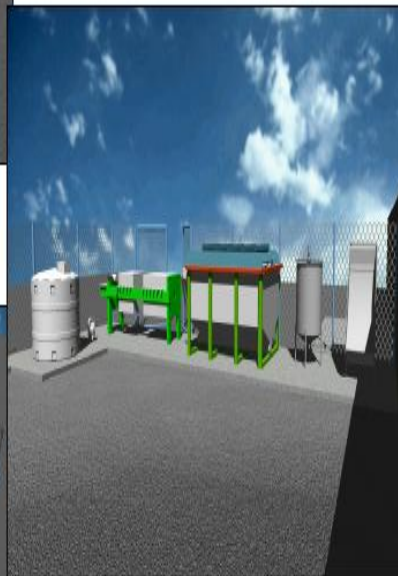
Vista hacia el norte



Vista hacia el oeste



Vista hacia el este



Vista por dentro
viendo al sur



Vista hacia el sur

- Estabilización del sistema. Estabilizar el sistema mediante la regulación de cargas orgánicas. Flujo intermitente.
- Estandarización del sistema. Regular a flujo continuo, que permita dar la eficiencia deseada hasta lograr la operación en estado estable.

5. PRESUPUESTO DEL SISTEMA PROPUESTO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO

5.1. Costo de la planta de tratamiento

Tabla XXIII. Presupuesto para instalación del sistema de la PTAR

	DESCRIPCIÓN	COSTO (USD)	COSTO Q
A	Obra civil	\$ 19 787,79	Q 158 302,32
B	Equipamiento	\$ 177 996,20	Q 1 423 969,60
C	Obra hidráulica	\$ 28 782,00	Q 230 256,00
D	Obra eléctrica	\$ 22 800,00	Q 182 400,00
E	Obra mecánica	\$ 15 950,00	Q 127 600,00
F	Montaje	\$ 11 400,00	Q 91 200,00
G	Ingeniería, pruebas de arranque, puesta en marcha y entrenamiento	\$ 29 703,82	Q 237 630,56
Precio total: Sistema de tratamiento de agua para compañía productora de cosméticos:		\$ 306 419,81	Q 2 451 358,50

Incluyendo un tanque de acero inoxidable con capacidad para 280 m³, que será utilizado como tanque de homogenización, el costo del proyecto es de US\$ 366 381,63.

5.2. Costos de operación del sistema

Tabla XXIV. Costo de energía eléctrica para la operación de la PTAR

EQUÍPO	C	CAPA- CIDAD kw	OPERA- CIÓN (h/día)	CONSU- MO PO- TENCIA kwh-h/día	COSTO US\$/kw-h	COSTO US\$/día
Bomba cárcamo aguas sanitarias	1	1,34	24,0	32,16	0,06	\$ 1,90
Sensor de nivel cárcamo	3	0,02	0,1	0,00	0,06	\$ 0,00
Bomba cárcamo agua de proceso	1	10,50	24,0	252,00	0,06	\$ 14,89
Sensor de nivel cárcamo	3	0,02	0,1	0,03	0,06	\$ 0,00
Agitador tanque de coagulación	1	1,34	20,0	26,80	0,06	\$ 1,58
Bombas dosificadoras	2	0,40	20,0	14,00	0,06	\$ 0,83
Bomba de recirculación de DAF	1	3,00	20,0	60,00	0,06	\$ 3,55
Rastra de natas de DAF	4	0,75	20,0	60,00	0,06	\$ 3,55
Soplador de aire SBR	1	5,70	18,0	102,60	0,06	\$ 6,06
Válvula motorizadas de decantación SBR	1	0,02	1,5	0,03	0,06	\$ 0,00
Sensor de nivel de tanque SBR	4	0,02	0,5	0,05	0,06	\$ 0,00
Agitador tanque de lodos	1	3,00	12,0	36,00	0,06	\$ 2,13
Tablero de fuerza y control filtro prensa	1	3,30	6,0	19,80	0,06	\$ 1,17

C = Cantidad

COSTO	US\$	Q
Total por día	\$ 35,56	Q 284,48
Total por mes	\$ 1087,69	Q 8701,52
Total por año	\$ 13 052,28	Q 104 418,24

5.3. Costos de reactivos

Tabla XXV. Costo de reactivos empleados para mantenimiento PTAR

CONCEPTO	DOSIFICA- CIÓN mg/l	CONSUMO kg/día	P.U. US\$/kg	COSTO US\$/día
Coagulante para agua residual proceso	200,0	19,2	6,55	\$ 125,67
Floculante para lodo biológico	20,0	1,9	4,75	\$ 9,12
Urea comercial (42% N)	20,0	1,9	0,23	\$ 0,44
Bifosfato de Amonio (15% p)	5,0	0,5	0,23	\$ 0,11
Hipoclorito de sodio comercial (13%)	10,0	0,1	0,41	\$ 0,20

COSTO	US\$	Q
Total por día	\$ 135,54	Q 1.084,32
Total por mes	\$ 4128,56	Q 33 028,48
Total por año	\$ 49 542,72	Q 39 634,76

5.4. Costos de mantenimientos preventivos

Tabla XXVI. Costos de mantenimiento preventivo de la PTAR

CONCEPTO	FRECUENCIA	C.U. US\$/Frec.	COSTO US\$/mes
Lubricación	2/Mes	45,45	90,91
Refacciones sopladores SBR No. 1	1/2 Años	1272,73	53,03
Refacciones bombas de cárcamo sanitario	1/2 Años	1018,18	42,42
Refacciones bombas cárcamo proceso	1/2 Años	1527,27	63,64
Bomba neumática	1/Año	445,45	37,12
Válvulas automáticas	1/2 Años	2800,00	116,67
Sensores de nivel	1/Año	545,45	45,45
Bombas dosificadoras	1/Año	300,00	25,00
Filtro prensa	1/2 Años	2670,00	111,25

COSTO	US\$	Q
Total por día	\$ 585,49	Q 4683,92
Total por mes	\$ 19,20	Q 153,60
Total por año	\$ 7025,88	Q 56 207,04

5.5. Costos de personal de operación PTAR

Tabla XXVII. Costos del personal necesario para operación de la PTAR

	CANTIDAD	SALARIO (US\$/mes)	Factor de Beneficios	US\$/mes
Operador	1	\$ 545,45	1,6	\$ 872,72
Ayudantes	3	\$ 272,73	1,6	\$ 1309,10

COSTO	US\$	Q
Total por día	\$ 71,54	Q 572,32
Total por mes	\$ 2 181,82	Q 17 454,56
Total por año	\$ 26 181,89	Q 209 455,12

5.6. Resumen total de costos

Tabla XXVIII. Resumen de costos de operación de la PTAR

CONCEPTO	Q / día	Q / Mes	Q / Año
Energía eléctrica	Q 285,28	Q 8701,52	Q 104 418,08
Reactivos	Q 1082,88	Q 33 028,48	Q 396 342,08
Mantenimiento preventivo	Q 153,60	Q 4683,92	Q 56 423,28
Personal operador	Q 572,32	Q 17 454,56	Q 209 454,56
Gran total	Q 2094,08	Q 63 868,48	Q 766 422,00

VOLUMEN DE AGUA TRATADA (m³/día)	96,00
COSTO AGUA TRATADA US\$/m³	\$ 2,73
COSTO AGUA TRATADA Q/m³	Q 21,84

6. PROGRAMA DE EJECUCIÓN

A continuación, se presenta el programa de actividades, para la instalación de la planta de tratamiento de aguas residuales para la compañía manufacturera de cosméticos, con base en las gráficas 2, 3 y 4.

Las actividades se cumplieron en general, siendo de gran ayuda como en todo proyecto, los tiempos de holgura para poder trabajar imprevistos que en todo proyecto aparecen.

La empresa de cosméticos donde se realizó la instalación, cerró operaciones de manufactura a finales de 2008, quedando únicamente áreas administrativas de mercadeo, ventas, recursos humanos y finanzas, así como personal de almacenes, distribución y transporte. Esta empresa tuvo una reducción del 33% de su personal, y del 80% de la generación de grasas, químicos y materiales no biodegradables, que eran en su mayoría provenientes de la fabricación y empaque de sus productos cosméticos.

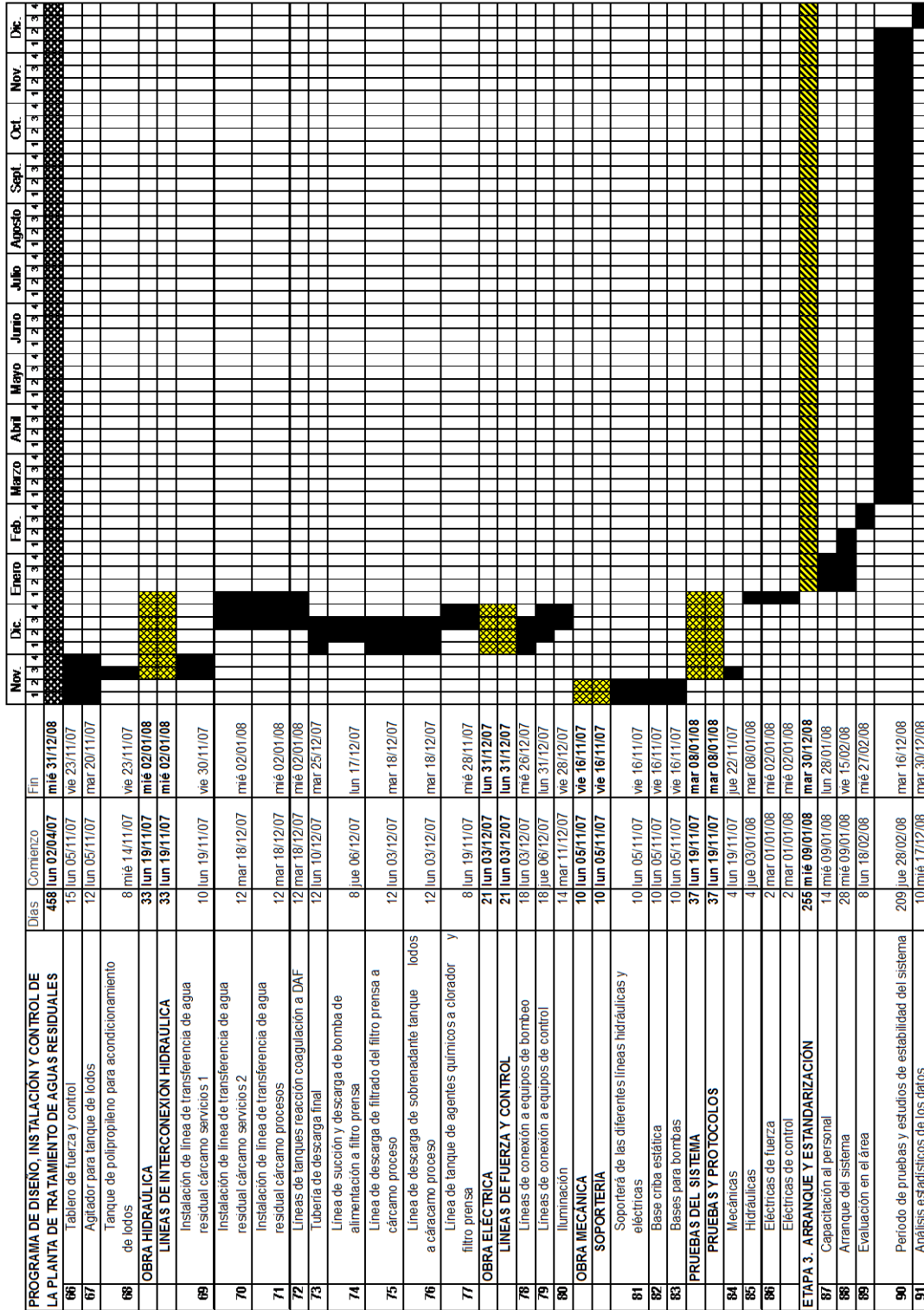
La planta necesito, desde el trabajo de diseño hasta el de instalación de 10 meses, y posteriormente a ello durante 8 meses se monitoreo los resultados para asegurar su correcto funcionamiento. Este proyecto no tuvo como parte el diseño, solamente la supervisión efectiva de la instalación y puesta en marcha efectiva de esta planta.

A continuación, se presenta el cronograma de ejecución de la instalación de la planta de tratamiento, en la figura 13.

Figura No. 13. Cronograma de ejecución de la instalación de la PTAR

	Días	Comienzo	Fin	Julio			Agosto			Sep.			Oct.			Nov.			Dic.			Enero			Feb.			Marzo			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
PROGRAMA DE DISEÑO, INSTALACIÓN Y CONTROL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES																															
33	458	02/04/07	mié 31/12/08	Suministro y colocación de concreto premezclado F'c = 200 kg/cm2																											
34	7	17/09/07	mar 25/09/07	Retiro de cimbra y sellado de troqueles																											
35	5	mié 03/10/07	mar 09/10/07	Acabado de muros																											
EQUIPAMIENTO																															
PROCUREMENTO DE EQUIPOS																															
36	108	02/07/07	vie 28/11/07	Sensores de nivel hidrostático																											
37	60	02/07/07	vie 21/09/07	Bombas de alimentación a criba y unidad de flotación (6)																											
38	60	02/07/07	vie 21/09/07	Agitador sumergible para cárcamos de proceso y servicios (3)																											
39	45	vie 06/07/07	jue 06/09/07	Monitor controlado de pH																											
40	45	02/07/07	vie 31/08/07	Tanque de coagulación de polietileno reforzado																											
41	15	mié 11/07/07	mar 31/07/07	Agitador para tanque de coagulación																											
42	45	vie 06/07/07	jue 06/09/07	Criba estática tangencial																											
43	15	mié 11/07/07	mar 31/07/07	Bomba dosificadora: hipoclorito de sodio, coagulante y floculante (3)																											
44	25	mié 11/07/07	mar 14/08/07	Tanque de almacenamiento y preparación: agente desinfectante y coagulante (3)																											
45	60	02/07/07	vie 21/09/07	Flotador con aire disuelto																											
46	45	vie 06/07/07	jue 06/09/07	Filtro prensa modelo 470 LP con 12 placas																											
47	60	02/07/07	vie 21/09/07	Bomba de desplazamiento positivo tipo diafragma																											
48	15	mié 11/07/07	mar 31/07/07	Compresor de aire 15 Hp																											
49	60	02/07/07	vie 21/09/07	Tablero de fuerza y control																											
50	30	mié 11/07/07	mar 21/08/07	Agitador para tanque de lodos																											
51	45	vie 06/07/07	jue 06/09/07	Tanque de polipropileno para acondicionamiento de lodos																											
IMPORTACION Y TRASLADO																															
52	30	24/09/07	vie 02/11/07	Importación y traslado de equipos																											
MONTAJE DE EQUIPOS																															
53	18	05/11/07	mié 28/11/07	Sensores de Nivel hidrostático (6)																											
54	2	22/11/07	vie 23/11/07	Bombas de alimentación a criba y unidad de flotación (6)																											
55	6	12/11/07	lun 19/11/07	Agitador sumergible para cárcamos de proceso y servicios (3)																											
56	8	12/11/07	mié 21/11/07	Monitor controlado de pH																											
57	2	22/11/07	vie 23/11/07	Tanque de coagulación de polietileno reforzado																											
58	5	mié 14/11/07	mar 20/11/07	Agitador para tanque de coagulación																											
59	5	mié 21/11/07	mar 27/11/07	Criba estática tangencial																											
60	2	mar 20/11/07	mié 21/11/07	Bomba dosificadora: hipoclorito de sodio, coagulante y floculante (3)																											
61	5	mié 07/11/07	mar 13/11/07	Tanque de almacenamiento y preparación: agente desinfectante y coagulante (3)																											
62	5	mié 14/11/07	mar 20/11/07	Flotador con aire disuelto																											
63	12	05/11/07	mar 20/11/07	Filtro prensa modelo 470 LP con 12 placas																											
64	8	12/11/07	mié 21/11/07	Bomba de desplazamiento positivo tipo diafragma																											
65	5	22/11/07	mié 28/11/07	Compresor de aire 15 Hp																											

Figura No. 13. Cronograma de ejecución de la instalación de la PTAR



7. EJECUCIÓN DE LA INSTALACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

7.1. Ingeniería de control y programación

Se propone una revisión continua de la eficiencia del sistema, por medio de un plan de muestreo y caracterización diaria de los puntos de la verificación constante de datos estadísticos, con base en muestreo según los parámetros establecidos en los capítulos 2 y 3.

7.1.1. Definición de entradas y salidas del sistema

7.1.1.1. Caracterización de los efluentes

Se tienen los siguientes puntos de control dentro de la operación.

1. Salida general.
2. Efluente DAF.
3. Efluente tanque de aguas servidas.
4. Efluente tanque de procesos.
5. Efluente filtro prensa.
6. Dosificación de químico.
7. Corrida de lodos.
8. Verificación de niveles en tanques de recolección y niveles de pH.

7.1.2. Gráficos de control

Se propone una revisión continua de la eficiencia del sistema, por medio de un plan de muestreo y caracterización diaria de los puntos de control o de muestreo.

La operación de la planta de tratamiento cuenta con puntos de control, en los cuales existen grifos especiales para la toma de muestras; del tipo de agua que está siendo trasegada en ese punto, esto permite un monitoreo constante de los parámetros de la operación, para identificar el buen funcionamiento del sistema, los tipos de controles que existen son los mostrados en las figuras 14 y 15 que se encuentran en las páginas siguientes.

Figura 14. Gráficos de control descarga final DQO

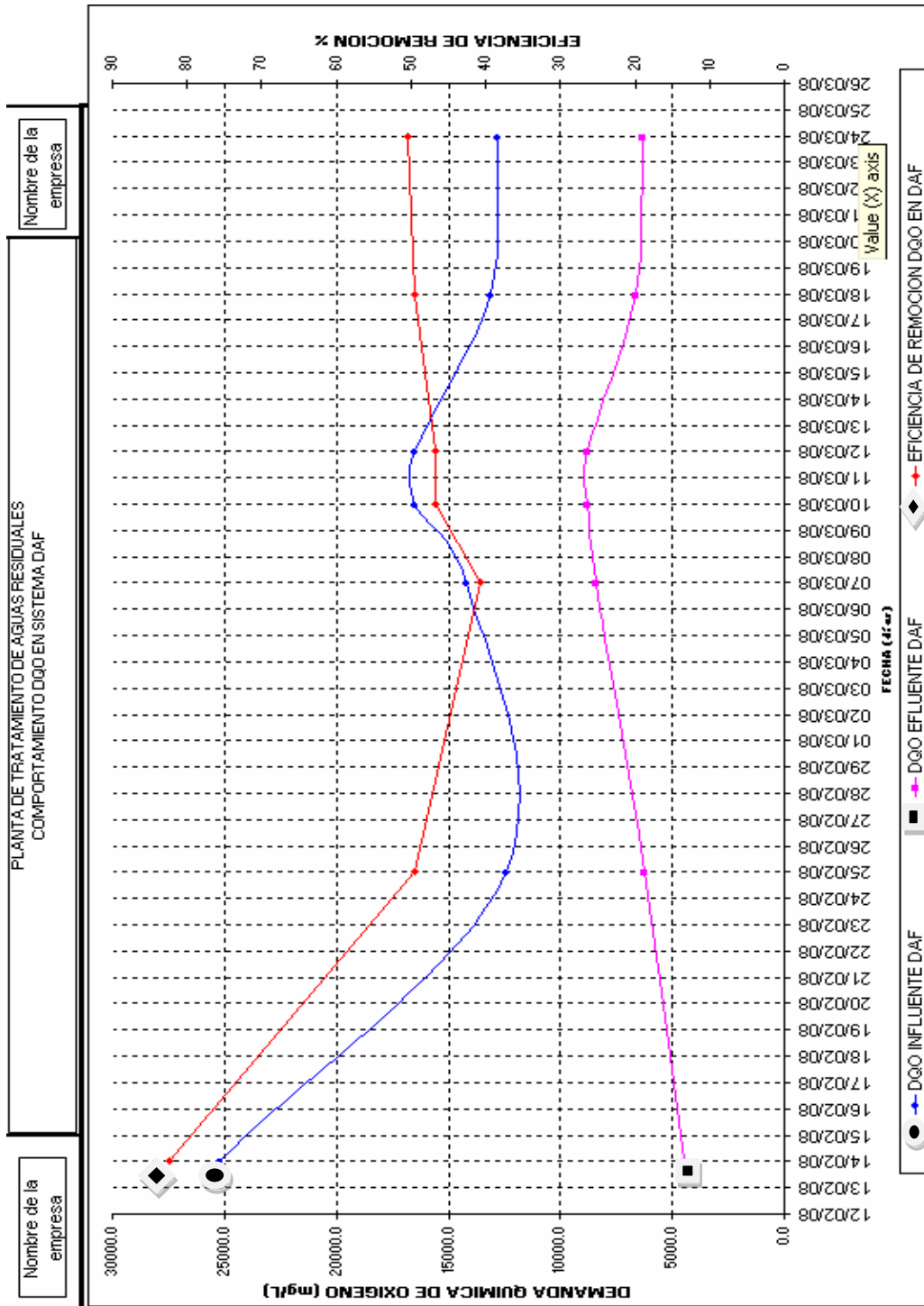
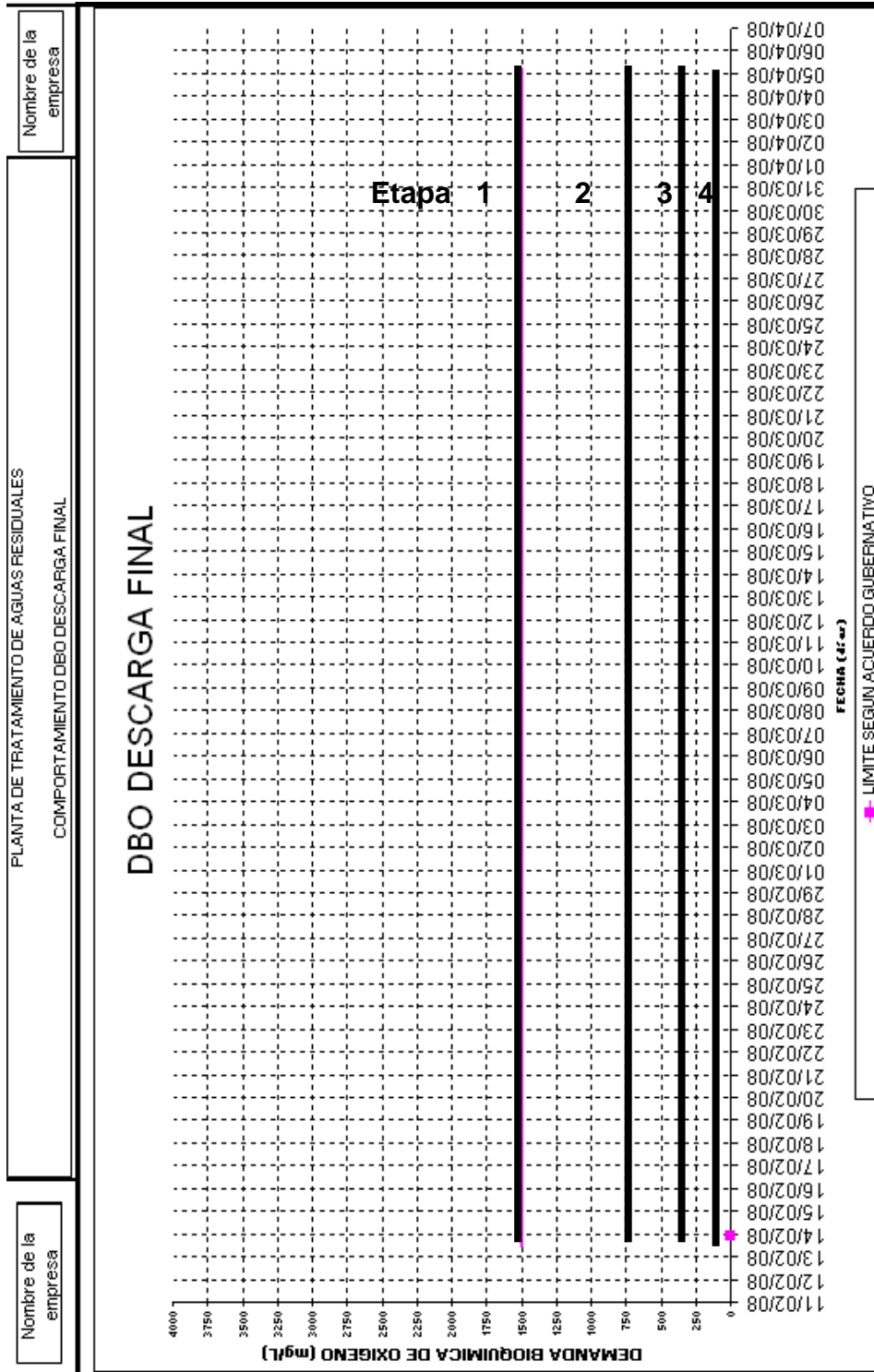


Figura 15. Grafico de control esperado de DBO descarga final



7.2. Procedimientos de operación y control

La implementación del proyecto se debe llevar acabo de acuerdo con las recomendaciones hechas en el capítulo 2 de Bases y cálculos de diseño, así como el capítulo 3 de descripción del sistema de operación, ya que en ellos se detallan los pasos a seguir para que el sistema haya sido implementado adecuadamente.

A continuación, se presenta un procedimiento de operación, el cual emplea los dispositivos electrónicos de control y proporciona las observaciones claves para validar su funcionamiento adecuado:

1. El primer paso es verificar, que ninguna de las alarmas esté activada y si lo está revisar en el panel de control para chequear el problema, normalmente la alarma está activada porque el nivel de algún cárcamo está muy alto debido al fallo de una o varias bombas.
 - a. Si las bombas están en estado de alarma, se debe llamar al proveedor para que le den servicio de limpieza, inmediatamente; ya que los cárcamos pueden sobrepasar su nivel máximo y habría un desbordamiento de agua.
 - b. Si las alarmas están apagadas, se debe revisar el nivel de los cárcamos ya que si uno presenta un nivel alto, se pueden graduar las válvulas de entrada en la planta y controlar el flujo.

2. Una vez hecha la revisión, se verifica la cantidad de químicos disponibles, para la operación de tratado del agua. Normalmente, se usa un tonel de 180 litros con floculante al 0,15 (270 gramos de floculante). El uso del poliflocal C es más reducido, un tonel con 160 litros al 50% puede durar más de una semana, dependiendo de la calidad del agua de

procesos. A veces, el agua entra demasiado espesa, entonces se debe subir el flujo de poliflocal, hasta que el agua pierda su turbidez.

3. Otro proceso importante es la corrida de lodos. Este proceso tarda 3 horas y es necesario verificar el nivel que baja después de cada corrida para aplicar la cal. Normalmente el nivel baja un promedio de 10%, pero si baja sólo un 8%, hay que agregar 1 costal de cal, si baja menos de éste nivel, hay que agregar 2 costales. Las corridas de lodos se efectúan una vez por día, dependiendo del nivel del tanque T-400. El lodo se hecha en toneles con bolsas de 200 libras y se desecha en predios específicos autorizados. Para verificar que el proceso es correcto se toman muestras puntuales, sobre todo de la salida general y del agua del DAF-200, las cuales no deben sobrepasar los estándares dados por el Ministerio de Ambiente.
4. El flujo efluente del DAF-200 debe estar entre 0,23 y 0,25 litros por segundo para que el DQO esté en los estándares. Si el flujo es muy bajo o muy alto los químicos no reaccionan de manera correcta. Un factor importante para el buen funcionamiento del proceso es el pH. Éste debe mantenerse entre 7 y 8. Si el pH baja a 6 se debe subir echando cal al cárcamo de procesos T-020 (1/2 costal de Cal) y también se puede echar una libra diluída al tanque T-100 que es el tanque de homogenización (Poliflocal). La cal también ayuda a evitar los malos olores que emanan de los cárcamos.

7.3. Programación y mantenimiento

7.3.1. Métodos utilizados para la caracterización

7.3.1.1. Caracterización interna

La caracterización y muestreo de los diferentes puntos de control se lleva a cabo internamente, con equipo de laboratorio adquirido por la empresa y que permite operar y hacer las mediciones como parte de este estudio de tesis.

7.3.1.2. Utilización de laboratorio externo

Cuando se requiere de pruebas más puntuales o que únicamente se pueden realizar en laboratorios completos, como los demás parámetros solicitados por el ministerio, se realizan con un laboratorio externo. Los análisis cualitativos y cuantitativos de mercurio, cadmio, magnesio, por ejemplo fueron realizados con este apoyo.

7.4. Puntos de control

Tabla XXIX. Lista de los puntos de control para revisión

No.	Lugar
1	Salida general
2	Salida general
3	Efluente FP-500 (filtro prensa)
4	Efluente criba
5	Efluente DAF-200 (sistema de aire disuelto)
6	Influente T-020 (cárcamo principal procesos)
7	Efluente T-010 (cárcamo principal sanitarias)
8	Efluente T-020 (trampa de grasas)
9	Después de la trampa de grasas
10	Salida general
11	Influente T-020
12	Efluente T-020
13	Efluente T-010
14	Efluente DAF-200
15	Efluente FP-500
16	Efluente criba
17	Salida general
18	Salida general
19	Efluente trampa de grasas
20	Efluente T-020
21	Efluente T-010
22	Efluente DAF-200
23	Efluente FP-500
24	Después de la trampa de grasas
25	Después de la trampa de grasas
26	Tranque de homogenización
27	Lodo (ver gráfica XVIII)
28	Salida general
29	Después de la trampa de grasas

Los análisis que se pueden realizar en esos puntos de control son:

1. DQO (mg/l O₂)
2. DBO (mg/l O₂)
3. Relación DQO/DBO
4. Aceites y grasas (mg/l)
5. Sólidos suspendidos
6. Sólidos disueltos
7. Fósforo total
8. Nitrógeno
9. Color
10. Turbidez
11. Coliformes fecales

7.5. Bitácora de entrenamiento

Se lleva a cabo la capacitación del personal de operación, y mantenimiento de la planta de tratamiento en dos fases:

1. Teórica en aula con el siguiente contenido:

- a. Definición de los procesos de tratamiento.
- b. Descripción de la tecnología instalada.
- c. Descripción de la instrumentación y equipos instalados.
- d. Descripción de la filosofía básica de operación con la secuencia lógica.
- e. Definición de los criterios y parámetros de control.
- f. Definición de los procedimientos de determinación y medición de parámetros de control.

2. Práctica en campo

- a. Ilustración de la ejecución de las actividades de rutina para medición, inspección y verificación de parámetros de control de proceso.
- b. Ilustración de los procedimientos de determinación de parámetros de control.
- c. Ilustración de los mecanismos y procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo.
- d. Ilustración de las actividades de rutina en la inspección y verificación del funcionamiento correcto de equipos instrumentos de medición e indicación.
- e. Ilustración de procedimientos de detección de fallas y guía de soluciones.

7.6. Problemas posteriores a la instalación y su solución

7.6.1. Esponjamiento filamentoso o *bulking*

Se produce, debido al crecimiento excesivo de bacterias filamentosas, que hace que las mismas interfieren en la compactación del flóculo en el decantador secundario, provocando problemas de sedimentación, ya que las mismas forman entramados, flotando en la superficie. Por este motivo, resulta primordial analizar la muestra, a través de la observación microscópica, como método de detección de estos microorganismos. Este inconveniente puede ser debido a:

- Problemas de diseño.
- Mal cálculo de retención hidráulica entre otras causas.
- Problemas del efluente.

- Provocado por desbalance de nutrientes, concentración inadecuada de oxígeno, aparición de moléculas complejas, que podrían ser tóxicas, presencia de material, entre otros factores.
- Problemas operativos.
- Debido a inapropiada recirculación, formación de zonas sépticas, incorrecta concentración de oxígeno, o cualquier otro inconveniente causado por la persona encargada de operar la planta.

Los métodos que se pueden aplicar para solucionar las dificultades ocasionadas por la presencia de *bulking* son los siguientes:

- **Biológicos**

- Agregar bacterias comerciales que compitan y degraden a las filamentosas.
- Adicionar a los otros microorganismos presentes en el agua a tratar, potenciadores de crecimiento, como por ejemplo, ácido fólico, ya que las bacterias filamentosas no lo aprovechan de manera apropiada.

- **Mecánicos**

- Airear.
- Re circular.
- Eliminar zonas muertas.

- **Químicos**

- Colocar microbicidas (por ejemplo cloro) para eliminar a los microorganismos en cuestión.
- Ajustar los nutrientes.
- Efectuar los procesos de coagulación y floculación en la salida del sedimentador secundario.

7.6.2. Espumamiento biológico o *Foaming*

Se produce, debido a que los microorganismos filamentosos originan una espesa espuma coloreada, (en colores del blanco al marrón) y en muchos casos, abundantes flotantes, que hacen que el barro no sedimente. Generalmente, se debe a la presencia de Nocardias y Gordonas, dos organismos filamentosos. Por este motivo, al igual que en el caso de bulking, es muy importante mandar a analizar la muestra para saber las especies existentes en el efluente, y, en base a los resultados corregir dicho inconveniente. En la mayoría de los casos la espuma se debe a:

7.6.2.1. Problemas de diseño

Causado cuando la salida del reactor biológico no es por reborde, provocando que se genere y acumule espuma.

7.6.2.1. Problemas operativos

Debido a la aplicación de aireación incorrecta o excesiva que hace que las microburbujas generen espumas. Los métodos que se pueden utilizar, en este caso, para su corrección son

- **Mecánicos:** disminuir la aireación, incorporar lluvia con inyección de aire y antiespumante y re circular.
- **Biológicos:** adicionar a los otros microorganismos presentes en el agua a tratar, potenciadores de crecimiento, como por ejemplo, el ácido fólico, ya que las bacterias filamentosas no lo aprovechan bien.
- **Químicos:** aplicar microbicidas (por ejemplo cloro).

8. RESULTADOS

A continuación, se presentan los datos resultantes de laboratorio, contando ya con una planta de tratamiento de aguas residuales. En el se puede ver que la hipótesis fue comprobada.

La planta de tratamiento físico-químico para aguas residuales que se instalará en una compañía productora de cosméticos, es capaz de alcanzar y cumplir con los requerimientos gubernamentales que especifica la ley o decreto 236-2006, en su etapa 1, con valores antes de instalación de DBO total de 8409 y GYA de 1008 para una empresa productora de cosméticos que tiene una carga de aguas residuales de proceso de 1,5 m³/h y de aguas residuales de servicios de 2,3 m³/h. Y que logra ser eficaz para cumplir en los próximos 5 años, considerando un crecimiento del 7% anual de su producción y personal.

Es importante considerar que la empresa donde se realizó la instalación tiene objetivos de DBO y DQO mucho más exigentes que los que el ministerio solicita.

8.1 Resultados finales de los parámetros de control PTAR

Tabla XXX. Resultados finales de los parámetros de control de la PTAR

No.	Control	DQO (mg/l O ₂)	DBO (mg/l O ₂)	Relación DQO/DBO	GYS (mg/l)	Sólidos suspendidos	Sólidos disueltos	P total	N	Color	Turbidez	Coliformes fecales
1	Salida general	2292	1560	1,5	15	286		1	24,4	364		1100
2	Salida general	2720	1740	1,6	136							
3	Efluente FP-500	11 000	5550	2		102						
4	Efluente criba	900	440			644						
5	Efluente DAF/200	10 175	6525			34						
6	Influyente T-020	22 425	14 560			1213						
7	Efluente T-010	550	290			300						
8	Efluente T-020	22 825	14 063			1480						
9	Después de la trampa de grasas	14 340	9900		466							
10	Salida general	1194	825	1,4	7			34,4	41	302		2 400 000
11	Influyente T-020	13 560	9300			1620						
12	Efluente T-020	15 630	13 200			1710						
13	Efluente T-010	756	328			228						
14	Efluente DAF-200	8065	5250			14						
15	Efluente FP-500	8515	5100			10						
16	Efluente criba	720	295			250						
17	Salida general	3140	2460	1,3	20			38,4	36	449		4 600 000
18	Salida general	7040	3900			132				1463	205	
19	Efluente trampa de grasas	23 300	14 400			304				6993	8200	
20	Efluente T-020	22 100	13 800			644				3376	9300	
21	Efluente T-010	771	465			184				1094	230	
22	Efluente DAF-200	7145	3600			94				309	38	
23	Efluente FP-500	9780	6600			116				529	250	
24	Después de la trampa de grasas	48 200	44 900			1604	1240					
25	Después de la trampa de grasas	55 600	26 500			2176	2976					
26	Trampa de homogenización	70 700	27 780			3800	1900					
27	Lodo											
28	Salida general	2720	1740	1,6	136							
29	Después de la trampa de grasas	8220	4050	2	714							

8.2. Resultados de DBO en la descarga final

Figura 16. Gráfico de control DBO descarga final

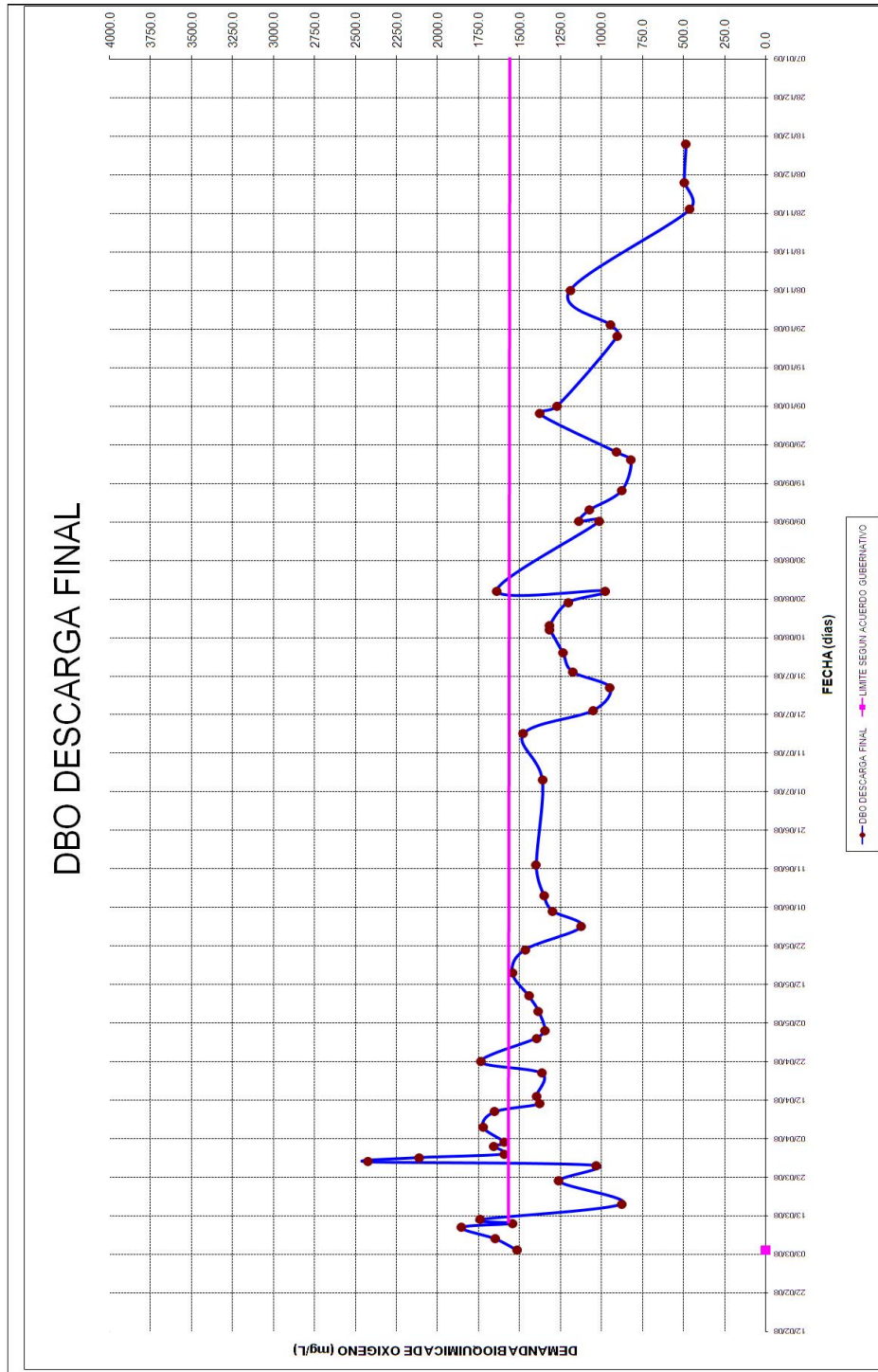


Tabla XXXI. Medición parámetros de la relación DQO-DBO

Fecha	DQO Total efluente final (mg/l)	DBO₅ Total efluente final (mg/l)	Relación DBO₅/DQO
04/03/08	2330,0	1514,5	0,65
07/03/08	2535,0	1647,8	0,65
10/03/08	2852,0	1853,8	0,65
11/03/08	2370,0	1540,5	0,65
12/03/08	2680,0	1742,0	0,65
16/03/08	1350,0	877,5	0,65
22/03/08	1940,0	1261,0	0,65
26/03/08	1590,0	1033,5	0,65
27/03/08	3730,0	2424,5	0,65
28/03/08	3250,0	2112,5	0,65
29/03/08	2450,0	1592,5	0,65
31/03/08	2550,0	1657,5	0,65
01/04/08	2450,0	1592,5	0,65
05/04/08	2650,0	1722,5	0,65
09/04/08	2540,0	1651,0	0,65
11/04/08	2120,0	1378,0	0,65
13/04/08	2150,0	1397,5	0,65
19/04/08	2100,0	1365,0	0,65
22/04/08	2670,0	1735,5	0,65
28/04/08	2150,0	1397,5	0,65
30/04/08	2070,0	1345,5	0,65
05/05/08	2130,0	1384,5	0,65
09/05/08	2220,0	1443,0	0,65
15/05/08	2375,0	1543,8	0,65

Fecha	DQO Total efluente final (mg/l)	DBO₅ Total efluente final (mg/l)	Relación DBO₅/DQO
21/05/08	2255,4	1466,0	0,65
27/05/08	1727,7	1123,0	0,65
31/05/08	1995,4	1297,0	0,65
04/06/08	2076,9	1350,0	0,65
12/06/08	2150,8	1398,0	0,65
04/07/08	2090,8	1359,0	0,65
16/07/08	2272,3	1477,0	0,65
22/07/08	1613,8	1049,0	0,65
28/07/08	1146,0	949,0	0,65
01/08/08	1810,0	1176,5	0,65
12/08/08	2023,1	1315,0	0,65
13/08/08	2030,0	1319,5	0,65
19/08/08	1850,0	1202,5	0,65
22/08/08	1500,0	975,0	0,65
22/08/08	2520,0	1638,0	0,65
09/09/08	1560,0	1014,0	0,65
09/09/08	1750,0	1137,5	0,65
12/09/08	1655,0	1075,8	0,65
17/09/08	1350,0	877,5	0,65
25/09/08	1260,0	819,0	0,65
27/09/08	1396,0	907,4	0,65
07/10/08	2122,0	1379,3	0,65
09/10/08	1954,0	1270,1	0,65
27/10/08	1390,0	903,5	0,65
30/10/08	1453,0	944,5	0,65
08/11/08	1832,0	1190,8	0,65

Fecha	DQO Total efluente final (mg/l)	DBO ₅ Total efluente final (mg/l)	Relación DBO ₅ /DQO
29/11/08	710,0	461,5	0,65
06/12/08	760,0	494,0	0,65
16/12/08	745,0	484,3	0,65

La gráfica muestra que después de mayo, fecha en que la PTAR inicio actividades al 100%, los niveles han estado en el rango que solicita el Ministerio de Ambiente.

Hay un punto alto en la fecha de 22 de agosto. Esto se debió, al mantenimiento realizado a los sensores de nivel de los cárcamos.

Después del 30 de octubre, los niveles bajaron considerablemente debido al cierre de la planta de envasado.

8.3 Beneficios del sistema

Las características y ventajas elementales de la presente propuesta son las siguientes:

1. Se asegura un desempeño estable de la etapa biológica y mejores eficiencias de transferencia de oxígeno, logrando una mayor eficiencia de la esperada.
2. El diseño permite una operación con un mínimo de requerimiento en mantenimiento y recurso humano, así como un espacio compacto.

3. Dado el tiempo de residencia hidráulico y la naturaleza aeróbica del proceso de tratamiento biológico, no se presentan olores desagradables.
4. No existe necesidad de vaciar tanques para el mantenimiento, dadas las consideraciones del equipo mecánico sugerido. Particularmente, por su volumen, el reactor biológico.
5. Capacidad de amortiguamiento en las fluctuaciones de calidad del agua residual, dado el proceso de homogeneización en el tanque de homogenización y el tiempo de residencia hidráulico en el reactor biológico.
6. Producción mínima de lodos del sistema de tratamiento primario y secundario, estimándose como valores promedios de 0,3 a 0,4 kilogramos de SST/kg de materia orgánica contaminante.
7. Sistema integrado para desmontaje en caso necesario de mover a otro lugar.
8. Tiene dispositivos electrónicos de control que facilitan el monitoreo y evitan errores humanos de revisión, adicional a proporcionar una bitácora del funcionamiento de la planta.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según los datos obtenidos durante el año observado y tomando en cuenta las regulaciones de la Ley de Aguas para Guatemala, en su artículo 236-2006, el proceso de sanación del agua de procesos y aguas domésticas de la empresa productora de cosméticos en el municipio de Mixco del departamento de Guatemala, está en un nivel óptimo de parámetros de DQO y DBO.

Llegando a alcanzar niveles de 484 mg/l como se ve en diciembre del 2008, con lo cual se llegó a niveles establecidos por la ley para el 2015, donde el límite máximo permisible es de 750, estando muy cercano al límite máximo permisible para el 2020 en base al artículo 27 del reglamento de las descargas y re-uso de aguas residuales y de la disposición de lodos.

Como se describe en las gráficas anteriores, la medición estuvo dentro de los rangos permitidos, a excepción del día 22 de agosto; según datos de la Tabla XXXI; debido al mantenimiento que fue requerido al proveedor para una revisión de los sistemas de marcación de nivel de agua. La cantidad de químicos utilizados (Poliflocal y Floculante) fueron determinantes para el buen manejo de las aguas residuales esto debido a las pruebas de jarras que se realizaban diariamente, antes de iniciar la operación con el fin de determinar la velocidad con que trabajarían las bombas dosificadoras.

Otro factor sumamente importante para el buen funcionamiento del proceso es el control de potencial hidrógeno pH, el cual debe mantenerse entre 8 y 7. Lo cual fue muy importante de controlar para la obtención de los correctos resultados dentro de parámetros.

CONCLUSIONES

1. Luego de haber realizado la implementación del proyecto se determinó que es posible lograr el objetivo de la calidad de los efluentes según los requerimientos planteados del decreto de Ley 236-2006 en su etapa 1; se pudo determinar los puntos necesarios para el manejo de desechos y los controles que se deben realizar para el óptimo desarrollo de la instalación de la planta de tratamiento de aguas residuales.
2. Se determinó que la dosificación de los químicos, tanto floculante como coagulante, varían de forma directamente proporcional con la concentración y viscosidad del agua de procesos, por lo que los días lunes, luego de estar sin circulación o sin proceso por el fin de semana que es de bajo trabajo en esta planta, se debe aplicar mayor cantidad de estos para estabilizar el sistema. Así debe ser en todo período de descanso para que sea considerado.
3. La retención de sólidos que realiza la criba, se está llevando a cabo de forma exitosa, lo cual ha permitido disponer de estos sólidos de una forma adecuada y evitar que estos no sean vertidos a los ríos o/y fuentes de agua.
4. Se pudo realizar una documentación más exacta de la caracterización de los efluentes de la compañía, lo cual ha permitido lograr la trazabilidad de este proceso y con esto tomar los controles necesarios al momento de salirse de los límites de control.

5. Se concluye también que el logro de los objetivos, está ligado directamente con las buenas prácticas de manufactura, ya que si las tolvas, marmitas y demás enseres de producción, tienen un correcto manejo de limpieza antes de lavarlos, estos van a presentar un menor nivel de descarga de aguas.
6. El nivel de los cárcamos depende mucho del buen funcionamiento de las bombas.
7. El tratamiento de agua es necesario para cuidar el medio ambiente, por lo tanto, todas las empresas deberían tener una planta de tratamiento de aguas residuales que tenga los estándares obligatorios del Ministerio de Ambiente.
8. Se debe buscar la reducción de la generación de materia residual más que atacar el efecto que estas producen, ya que los costos son muy altos en la recuperación del agua y el evitar la contaminación ambiental.

RECOMENDACIONES

1. Antes de iniciar cualquier proceso, es necesario verificar el estado de los componentes de la planta de tratamiento.
2. Utilizar todo el equipo de protección antes de hacer una prueba química o colocar cal a los tanques (guantes, mascarilla, lentes, casco), igual al mover un tonel de químicos o sacar una bomba de los cárcamos, utilizar arnés y guantes para evitar accidentes innecesarios.
3. Mantener limpia el área donde se encuentra la planta de tratamiento, ya que si está sucia dará la impresión de que el proceso no se está llevando a cabo. También es necesario que el equipo de laboratorio esté limpio, para que las pruebas de las muestras puntuales sean fidedignas.
4. No dejar los procesos que se puedan hacer hoy para mañana, ya que puede surgir un inconveniente y atrasar el funcionamiento de algunos procesos al día siguiente (limpiar el FP-500 después de haber hecho la corrida de lodos).
5. Llevar un control estricto de los insumos utilizados para prevenir la escasez de los mismos. Recomendable usar un programa y planificación de inventario para esos insumos y reactivos necesarios.
6. El flujo del agua debe ser constante para usar sólo el volumen de químicos necesarios y evitar el exceso de los mismos, ya que puede afectar la medición en los niveles del DQO y DBO.

7. Mantener un rango de pH entre 7 y 8 para facilitar el proceso de separación de los químicos del agua.

8. Como Ingenieros Químicos, creadores, diseñadores y revisores de procesos se debe buscar día a día la oportunidad de reducir la generación de materiales residuales, lo cual contribuye no solo en el ambiente, sino también genera ahorros de costos, eliminando mermas o desperdicios. Es muy necesario en estos tiempos donde la economía global está afectada y para ser competitivos se debe buscar eliminar desperdicios, pudiendo usar metodologías de mejora continua, manufactura esbelta, así como control estadístico de procesos y control estadístico de la calidad, para encontrar y trabajar en esas oportunidades de reducir la generación de materiales contaminantes del ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acuerdo Gubernativo Número 236-2006. Reglamento de las descargas y re-uso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Ministerio de ambiente y recursos naturales de Guatemala. Guatemala, Mayo 2006, 15pp.
2. Burns, Ralph A. **Fundamentos de química.** Cuarta edición. México: Pearson Education de México. 2003, 745pp.
3. Falcón, Cesar. **Manual de tratamiento de aguas negras.** México: Centro regional de ayuda técnica, 1964, 303pp.
4. Giles, Ranald V. y otros. **Mecánica de los fluídos e hidráulica.** Tercera edición. México: McGraw Hill, 2003, 420pp.
5. Instrument manual HATCH, **digital reactor block 200** (DRB200). Germany: Hatch Company, 2003. 32pp.
6. Jenkins David y otros. **Química del agua. Manual del laboratorio.** México: Limusa, 1983. 178pp.
7. Manual de operación de una Planta de tratamiento de aguas residuales. México: Intema. Enero 2007. 144pp.
8. Morrison, Robert Thornton y Robert Neilson Boyd. **Química Orgánica.** Quinta edición. México: Pearson Educación de México. 1998, 1474pp.

9. Skoog, Douglas A. y otros. **Química analítica**. Séptima edición. México: McGraw Hill, 2006, 795pp.

10. Unda Opazo, Francisco. **Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública**. México: Unión tipográfica editorial hispano americana. 1969. 870pp.

ANEXO 1

PARÁMETROS PRINCIPALES DE CONTROL, EXTRAIDO DE LA LEY DE AGUAS CON BASE EN EL ACUERDO GUBERNATIVO 236-2006

Tabla XXXII. Parámetros de regulación DBO de aguas tratadas

Parámetro	Dimensional	Valor Inicial	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Demanda bioquímica de oxígeno	miligramos/litro	3500	1500	750	450	200

Fuente: Reglamento de las descargas y re-uso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Artículo 27, página 12.

Tabla XXXIII. Parámetros de control del agua, extraído de la ley de aguas con base en el acuerdo gubernativo 236-2 006

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	°C	< 40	< 40	< 40	< 40	< 40
Grasas y aceites	mg/l	1500	200	100	60	60
Materia flotante	Ausencia / presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	mg/l	3500	1500	700	400	200
Nitrógeno total	mg/l	1400	180	150	80	40
Fósforo total	mg/l	700	75	40	20	10
Potencial Hidrógeno	Unidades de pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	No. más probable en 100 ml	< 1 x 10 ⁵	< 1 x 10 ⁵	< 1 x 10 ⁵	< 1 x 10 ⁴	< 1 x 10 ⁴
Arsénico	mg/l	1	0,5	0,1	0,1	0,1
Cadmio	mg/l	1	0,4	0,1	0,1	0,1
Cianuro total	mg/l	6	3	1	1	1
Cobre	mg/l	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	mg/l	1	0,5	0,1	0,1	0,1
Mercurio	mg/l	0,1	0,1	0,02	0,02	0,01
Níquel	mg/l	6	4	2	2	2
Plomo	mg/l	4	1	0,4	0,4	0,4
Zinc	mg/l	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

Fuente: Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Artículo 28, página 12.

ANEXO 2

SISTEMA CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE EMPLEADO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO

El sistema utilizado para la comunicación de los tableros de control es un programa PLC (Controlador Lógico Programable o Comunicaciones Mediante Cable Eléctrico). Esta tecnología utiliza líneas de energía eléctrica convencionales para transmitir señales de radio para propósitos de transmisión de datos.

El manejo del tablero se realiza por medio de Touch Screen (pantalla de toque) donde se puede visualizar los niveles de agua y el comportamiento de las bombas, el compresor y el filtro-prensa.

Figura 17. Fotografía 4. Panel de control electrónico del sistema de la PTAR



El compresor se utiliza para dar fuerza a las bombas de succión del tanque de lodos hacia el filtro prensa.

Figura 18. Fotografía 5. Bombas de succión del tanque de lodos



Las bombas sumergibles de los tanques o cárcamos son encendidas o apagadas automáticamente por el PLC dependiendo del nivel de agua que registren los sensores, esto para ahorrar energía y para evitar que se quemen las mismas.

Para proteger los equipos por un mal funcionamiento se colocaron guarda motores. El guarda motor es un disyuntor magneto-térmico diseñado para la protección de motores eléctricos, el cual proporciona al dispositivo una protección mayor a sobrecargas y cortocircuitos y en algunos casos protección a falta de fase.

Figura 19. Fotografía 6. Guarda motores



Figura 20. Fotografía 7. Tablero PLC de la PTAR



Todas las grasas o lodos que son separadas del agua son depositadas en toneles con bolsas de 200 libras para llevarlos a un predio autorizado por la Municipalidad de Guatemala. Este proceso es realizado por un proveedor.

ANEXO 3

DIAGRAMA DE FLUJO ILUSTRATIVO Y DETALLE DE EQUIPOS INSTALADOS

Figura 21. Diagrama de flujo ilustrativo y detalles de equipos instalados

