



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**MONTAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES EN MALHER, S. A.**

Axel Fernando Méndez Divas

Asesorado por la Inga. Sigrid Alitza Calderón de León

Guatemala, junio de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MONTAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES EN MALHER, S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

AXEL FERNANDO MÉNDEZ DIVAS

ASESORADO POR LA INGA. SIGRID ALITZA CALDERÓN DE LÉON

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MÉCANICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, JUNIO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
EXAMINADORA	Inga. Sindy Massiel Godínez de Dávila
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizù Rodas
SECRETARIO	Ing. Pablo Cristian de León Rodríguez (a.i.)

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

MONTAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MALHER, S. A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha de 10 de febrero de 2015.



Axel Fernando Méndez Divas



Guatemala, 10 de marzo de 2016.
REF.EPS.DOC.181.03.16.

Ingeniero
Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Rodríguez Serrano:

Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica Industrial, **Axel Fernando Méndez Divas**, Carné No. **200818945** procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **MONTAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MALHER, S.A..**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

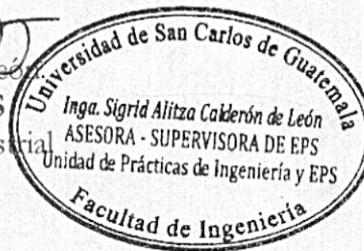
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Sigríd Alitza Calderón de León

Asesora-Supervisora de EPS
Área de Ingeniería Mecánica Industrial



SACdL/ra



Guatemala, 10 de marzo de 2016.
REF.EPS.D.129.03.16

Ingeniero
Juan José Peralta
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Peralta:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **MONTAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MALHER, S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Axel Fernando Méndez Divas** quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Inga. Sigrid Alitza Calderón de León.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora-Supervisora de EPS, en mi calidad de Director, apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS



SJRS/ra



REF.REV.EMI.038.016

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **MONTAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MALHER S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Axel Fernando Méndez Divas**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, marzo de 2016.

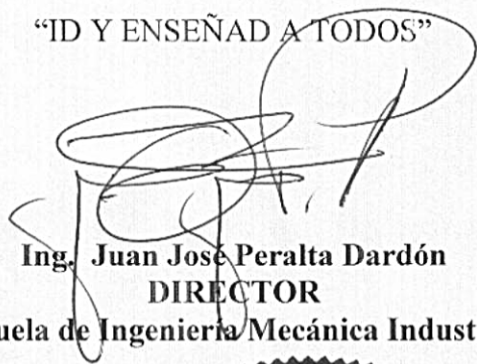
/mgp



REF.DIR.EMI.094.016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **MONTAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MALHER, S. A.**, presentado por el estudiante universitario **Axel Fernando Méndez Divas**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Juan José Peralta Dardón
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, junio de 2016.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala

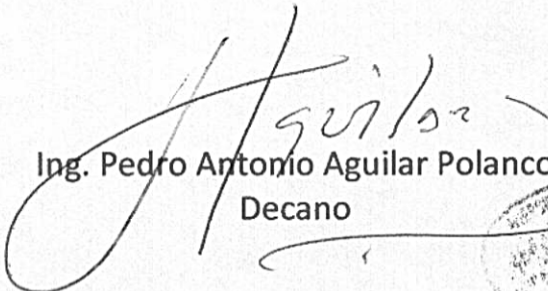


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 277.2016

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 Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **MONTAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN MALHER, S. A.,** presentado por el estudiante universitario: **Axel Fernando Méndez Divas,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, junio de 2016

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la vida y salud, por estar conmigo en todo momento y permitirme culminar esta etapa.
Mis padres	Por el apoyo que me brindaron a lo largo de mi carrera; siendo el más claro ejemplo de lucha que conozco.
Mi hermana	Por contar con su ayuda, apoyo y comprensión incondicional.
Mis hermanos	Por darme el ejemplo de ser personas trabajadoras y responsables.
Mis amigos	Por esa amistad que compartimos dentro de las aulas de nuestra gloriosa casa de estudios.
Guatemala	Con la firme convicción de que el logro de cada guatemalteco es la esperanza de un mejor mañana.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por darme la sabiduría para culminar una etapa más de mi vida.
- Mis padres** Por el apoyo que me han brindado en todo momento en especial a lo largo del desarrollo de mi carrera profesional; mezcla perfecta mi mamá con la teoría y mi papá con la práctica.
- Mi asesora** Inga. Sigrid Alitza Calderón de León, por darme el apoyo y asesoría durante el desarrollo de este proyecto.
- Malher, S. A.** En especial a los ingenieros: Iván Monterroso y Marco Zamora y arquitecto Estuardo Monzón, por el apoyo y enseñanzas brindadas. Así también a todos mis compañeros de trabajo.
- Mis amigos** Alejandro Gonzales, Alberto de León, Fernando Porres, Everardo Roldán, María Castellanos, María Pérez y Josué García, por el apoyo que me brindaron para seguir adelante.
- Universidad de San Carlos de Guatemala** Porque en las aulas alberga los sueños de estudiantes y brinda la oportunidad de hacerlos realidad al egresar como profesionales.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. GENERALIDADES DE MALHER, S. A.	1
1.1. Descripción.....	1
1.1.1. Historia	1
1.1.2. Ubicación	3
1.1.3. Visión.....	4
1.1.4. Misión	5
1.1.5. Política de inocuidad.....	5
1.1.6. Valores	5
1.1.7. Certificaciones y reconocimientos	6
1.1.8. Estructura organizacional	6
1.1.8.1. Empresarial.....	7
1.1.9. Organigrama.....	8
1.1.10. Política integrada.....	9
2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL. MONTAJE DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PLANTA MALHER, S. A.....	11
2.1. Situación actual de la empresa.....	11

2.1.1.	Diagnóstico de la situación actual	12
2.1.1.1.	Diagrama de Pareto	13
2.1.1.2.	Interpretación de resultados.....	16
2.1.1.3.	Descripción general del problema.....	16
2.1.2.	Tratamiento actual de aguas residuales.....	17
2.1.2.1.	Pretratamiento.....	18
2.1.2.1.1.	Cribado o canal de rejas	18
2.1.2.1.2.	Desarenado.....	18
2.1.2.1.3.	Remoción de grasas y aceites.....	20
2.1.2.2.	Opciones de tratamiento primario	20
2.1.2.2.1.	Fosa séptica.....	20
2.1.2.2.2.	Tanques Imhoff	21
2.1.2.2.3.	Sedimentador primario	22
2.1.2.2.4.	Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA)	23
2.1.2.2.5.	Cuerpos de relleno.....	23
2.1.2.3.	Opciones de tratamiento secundario	24
2.1.2.3.1.	Filtro anaeróbico	24
2.1.2.3.2.	Lagunas de estabilización.....	26
2.1.2.3.3.	Humedad.....	27
2.1.3.	Normas de calidad de aguas residuales	28
2.1.4.	Medición del caudal de drenaje de la fábrica	31
2.2.	Situación propuesta.....	32

2.2.1.	Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales	33
2.2.1.1.	Parámetros para diseño de alcantarillado sanitario	33
2.2.1.2.	Cargas de demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	35
2.2.1.3.	Eficiencias de elementos de planta de tratamiento.....	36
2.2.1.4.	Eficiencia global de la planta	38
2.2.1.5.	Otros parámetros según la eficiencia global	38
2.2.2.	Descripción de procesos	39
2.2.2.1.	Canal de rejillas.....	40
2.2.2.2.	Desarenador	47
2.2.2.3.	Caja distribuidora de caudal	51
2.2.2.3.1.	Reactores anaeróbicos de flujo ascendentes (RAFAS) ..	52
2.2.2.3.2.	Filtros percoladores	55
2.2.2.3.3.	Sedimentador final.....	58
2.2.2.4.	Secado de lodos	59
2.2.2.4.1.	Digestión anaerobia.....	59
2.2.2.4.2.	Tratamiento con cal	60
2.2.2.4.3.	Compostaje con residuos orgánicos	60
2.2.2.4.4.	Patio de secar.....	60
2.2.2.4.5.	Reuso de lodos.....	61
2.2.2.4.6.	Lecho de secado	61
2.2.3.	Análisis de costos	63

3.	FASE DE INVESTIGACIÓN. AHORRO EN CONSUMO DE AGUA EN PLANTA MALHER, S. A.	71
3.1.	Situación actual de la empresa	71
3.1.1.	Diagnóstico y consumo	71
3.1.2.	Costos actuales.....	74
3.1.3.	Análisis de datos	77
3.1.4.	Resultados de datos.....	80
3.2.	Propuesta de mejora	82
3.2.1.	Objetivos del plan de reducción de consumo de agua	82
3.2.2.	Metas del plan de reducción de consumo de agua	83
3.2.2.1.	Fugas frecuentes.....	84
3.2.3.	Diseño de plan de reducción de agua	88
3.2.3.1.	Costo energético por bombeo de agua	88
3.2.3.2.	Mantenimiento de circuito de agua.....	90
3.2.3.3.	Registro de control de fugas.....	92
3.2.3.4.	Indicador de consumo de agua	93
3.2.3.5.	Propuestas de mejora	94
3.2.3.6.	Monitoreo diario de fugas.....	96
3.2.4.	Medición de resultados.....	96
4.	FASE DE DOCENCIA. PLAN DE CAPACITACIÓN PARA CONTRATISTAS DE MALHER, S. A.....	101
4.1.	Diagnóstico de necesidades de capacitación.....	102
4.1.1.	Alcance.....	103
4.1.2.	Objetivos	104
4.1.3.	Contenido a impartir	104

4.1.3.1.	Lavado de equipos	105
4.1.3.2.	Concientización sobre el consumo de agua.....	105
4.1.3.3.	Concientización de aguas residuales	106
4.1.3.4.	Procedimientos de emergencia	107
4.1.3.5.	Programa de monitoreo ambiental.....	110
4.1.4.	Personal a participar.....	111
4.2.	Programa de capacitación	112
4.3.	Metodología de trabajo	112
4.3.1.	Modelo cascada.....	113
4.4.	Evaluación	113
4.4.1.	Diagnóstico	114
4.4.2.	Evaluación de capacitación	116
4.5.	Resultados.....	117
4.5.1.	Calificación de evaluación	117
4.5.2.	Retroalimentación.....	117
4.5.3.	Determinación de alcances.....	118
CONCLUSIONES		119
RECOMENDACIONES		121
BIBLIOGRAFÍA.....		123
ANEXOS.....		125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de planta Malher, S. A. zona 12	4
2.	Organigrama Malher, S. A.	8
3.	Política integrada fábrica Malher, S. A.	9
4.	Pareto de problemas del mal funcionamiento de captación de aguas residuales.....	14
5.	Desarenado	19
6.	Fosa séptica utilizada en la fábrica	21
7.	Sedimentador primario.....	22
8.	Cuerpos de relleno.....	24
9.	Filtro anaeróbico	25
10.	Laguna de estabilización.....	27
11.	Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores	28
12.	Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores para aguas residuales municipales	29
13.	Canal de rejillas	40
14.	Desarenado	47
15.	Reactores anaeróbicos de flujo ascendente	53
16.	Partes de filtro percolador	55
17.	Sedimentador.....	58
18.	Lecho de secado.....	62
19.	Gráfica del consumo de agua 2013	72
20.	Sanitarios de caballeros.....	73
21.	Sanitario de damas	74

22.	Formato de encuesta.....	78
23.	Porcentaje de consumo de agua	80
24.	Diagrama Ishikawa de consumo de agua.....	81
25.	Cartelera pública de indicador	94
26.	Análisis iniciales de aguas comparados con la NER	97
27.	Proceso del agua desde 2015	97
28.	Parámetros a inicios de 2016 comparados con la NER.....	98
29.	Mejora en indicadores NER	98

TABLAS

I.	Análisis de los problemas del mal funcionamiento de captación de aguas residuales.....	14
II.	Medición de caudal de fábrica Malher, S. A.....	31
III.	Diagrama de remoción de DBO en kilogramo/día	36
IV.	Sólidos en suspensión	38
V.	Demanda química de oxígeno (DQO).....	39
VI.	Resumen de caudal	51
VII.	Costo de movimiento de tierras	63
VIII.	Costo de canal de rejillas	64
IX.	Costo desarenador	64
X.	Costo RAFA.....	65
XI.	Costo filtros percoladores	66
XII.	Costo secado de lodos	67
XIII.	Costo sedimentador final	67
XIV.	Costo digestor.....	68
XV.	Costo pozos de visita.....	69
XVI.	Otros costos.....	69
XVII.	Costo total de planta de tratamiento de aguas residuales	70

XVIII.	Precio de servicio de agua por rangos de consumo	75
XIX.	Costos de consumo de agua, 2013.....	76
XX.	Distribución de encuestas	77
XXI.	Resultado de encuestas.....	78
XXII.	Consumo de agua por actividad.....	79
XXIII.	Consumo de agua por punto principal.....	80
XXIV.	Objetivos del proyecto.....	83
XXV.	Metas de proyecto.....	84
XXVI.	Encuesta sobre fugas frecuentes.....	85
XXVII.	Auditoría de fugas	86
XXVIII.	Registro de consumo de agua	87
XXIX.	Datos técnicos de bomba de pozo	89
XXX.	Datos técnicos de bomba de pozo contra bomba de agua clorada.....	89
XXXI.	Acciones preventivas del equipo de bomba de agua	91
XXXII.	Acciones técnicas	95
XXXIII.	Registro de compromiso de ahorro de agua	106
XXXIV.	Programación de actividades.....	112
XXXV.	Evaluación sobre concientización de uso del agua.....	114
XXXVI.	Evaluación sobre aguas residuales.....	115
XXXVII.	Resultados de evaluación	117

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Hp	Caballo de fuerza
Q	Caudal volumétrico
DBO	Cantidad necesaria de oxígeno para oxidar biológicamente la materia orgánica presente en el agua.
DQO	Cantidad necesaria de oxígeno para oxidar químicamente la materia orgánica presente en el agua.
°C	Grados centígrados
He	Hora
Kw	Kilowatts
NCE	Mejora continua Nestlé
m³	Metro cúbico
mt.	Metro lineal
Q.	Moneda de quetzal
%	Porcentaje
pH	Potencial de Hidrógeno
Σ	Sumatoria

GLOSARIO

Afluyente	El agua captada por un ente receptor.
Aguas residuales	Las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.
Biomasa	Fuente energética que comprende todo tipo de materia orgánica para ser usada como combustible en la caldera.
<i>By-pass</i>	Vía alternativa que se instala en un sistema para evitar bloqueos o barreras.
Caudal	El volumen de agua por unidad de tiempo.
Coliformes	Grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común y se generan en el agua y alimentos.
Diseño	Trazo o conjunto de líneas de una figura o un edificio.
Entes generadores	La persona individual, jurídica, pública o privada responsable de generar o administrar aguas residuales y cuyo efluente final se descarga a un cuerpo receptor.

Máximo permisible	Es el valor asignado a un parámetro, el cual debe ser excedido en las etapas correspondientes para las aguas residuales.
Monitoreo	Proceso mediante el cual se obtienen, interpretan y evalúan los resultados de una o varias muestras, con una frecuencia de tiempo determinada, para establecer el comportamiento de los valores de los parámetros de efluentes.
Muestra	Es la parte representativa que se va a analizar de las aguas residuales.
Parámetro	Se refiere a la variable que identifica una característica de las aguas residuales, asignándole un valor numérico.
Precipitación	Formación de partículas sedimentables por adición de sustancias químicas.
Productos químicos	Resultado material útil que posee un material activo proveniente de un proceso.
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
Puntos de descarga	Sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en un cuerpo receptor o con otro efluente de aguas residuales.

Residuos industriales

La cantidad de residuos que genera una industria en función de la tecnología del proceso productivo, calidad de las materias primas o productos intermedios, propiedades físicas y químicas de las materias auxiliares empleadas, combustibles utilizados y los envases y embalajes del proceso.

SGA

Sistema de gestión integrado

Sistema

Conjunto de procesos o elementos interrelacionados con un medio para formar una totalidad encauzada hacia un objetivo común.

Tratamiento de aguas

Cualquier tratamiento físico, químico, biológico o una combinación de los mismos, utilizado para mejorar las características de las aguas residuales.

RESUMEN

A través del programa de EPS, se da la propuesta para la instalación de una nueva planta de tratamiento de aguas residuales dentro de la empresa Malher, S. A., esto como parte de la propuesta del plan de ahorro en el consumo del agua; dicha propuesta tiene como alcance el análisis del punto exacto para la instalación de la PTAR, tomando en cuenta factores como espacio, distancia hacia las fosas y acometidas eléctricas, además de contar con un terreno con un estudio de suelos, ya que los equipos que conforman la planta son de bastante peso a considerar.

Es necesario realizar estos análisis antes del montaje para que la PTAR pueda trabajar en óptimas condiciones y con esto darle el tratamiento al agua con la finalidad de cumplir con los estándares locales y con las normas Nestlé en cuanto al cuidado y protección del medio ambiente.

Es responsabilidad de los contratistas garantizar que todos los equipos son seguros y que están en buenas condiciones antes de llevarlos a las instalaciones.

Las herramientas utilizadas en el área de trabajo deben ser las adecuadas; no se permiten hechizas ni improvisadas, no se pueden utilizar de madera dentro de la planta de producción. Las herramientas manuales para trabajos eléctricos deben ser dieléctricas; prohibidos los empalmes. Las herramientas eléctricas serán revisadas y probadas por una persona competente.

Los contratistas deben entregar a la persona responsable de fábrica, un listado con las herramientas y equipos a utilizar antes de ingresar las mismas (las herramientas se detallan por unidad, los insumos no).

Los contratistas deben presentar al jefe de SH&E una lista de los productos químicos a utilizar, también las MSDS (hoja de seguridad de material) en español, con el fin de obtener su aprobación antes del inicio de su trabajo. Los materiales de los contratistas se deben guardar en las áreas asignadas.

Una vez finalizadas las tareas, el contratista se hará cargo del retiro de todos los productos químicos que hayan llevado a la planta. Esta exigencia aplica a los productos químicos peligrosos y no peligrosos, así como también a los contenedores con residuos de productos químicos.

OBJETIVOS

General

Montar una planta de tratamiento de aguas residuales en la empresa Malher, S. A.

Específicos

1. Diseñar el alcantarillado y traslado de las aguas residuales hacia la planta de tratamiento.
2. Realizar la correcta instalación de la planta de tratamiento de aguas residuales, desde la obra gris, hasta tener la planta trabajando en óptimas condiciones, dejando un estimado de equipo de laboratorio a utilizar para cumplir de esta manera con los estándares de la calidad de agua, y así poder ser vertida o reutilizada en los sanitarios de la fábrica.
3. Elaborar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos que componen la planta de tratamiento de aguas residuales, diseñando un mantenimiento programado para establecer directrices sobre el funcionamiento correcto de los equipos, tomando en cuenta el cuidado del medio ambiente.
4. Crear una matriz en la cual se establezca las medidas de seguridad para la manipulación de los distintos equipos y materiales, tomando en cuenta los modos de seguridad creados por Nestlé, para llevar de un modo

crítico a uno de seguridad aceptable, haciéndole llegar el EPP correcto al personal para minimizar los riesgos.

5. Crear un registro de ahorro de la cantidad de agua tratada por la planta de tratamiento, tomando en cuenta el ahorro económico que significará la implementación de este equipo en la fábrica.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, Guatemala, así como otros países del mundo enfrentan muchos problemas de sanidad y salubridad pública, lo que constituye un retroceso al proceso de desarrollo. Esto se debe a muchos factores, la mayoría controlables. Uno de estos factores es la disposición final de las aguas negras, el cual, al igual que otros va agravándose en razón directa con el incremento de la población. Unido a este problema cabe mencionar que muchas veces a las aguas negras no se les ha dado tratamiento previo a evacuarlas, lo que hace aún más nocivos sus efectos en el medio ambiente.

Todas las instituciones públicas y privadas son parte de la problemática, y hoy en día, la empresa Malher, S. A., enfrenta un problema de este tipo. Sus aguas negras no reciben el tratamiento adecuado antes de ser descargadas. La raíz del problema se remonta a algunos años atrás cuando la empresa fue diseñada y construida, ya que se programó una sola fosa séptica para tratar estas aguas. Al pasar los años, se ha descuidado el mantenimiento de la fosa, por lo que esta, al llegar al límite de su capacidad y grado de tratamiento, ha dejado de ser eficiente. Las aguas negras, por lo tanto, solo pasan por la fosa, pero ya no reciben ningún tratamiento.

Este problema se ve agravado con el hecho de que la población de trabajadores ha crecido en los últimos años, hasta hacer necesaria la construcción de más edificios para albergar la demanda de productos. El personal ha crecido y por lo tanto, sus aguas residuales, pero no su capacidad de tratamiento. La mala ubicación de esta pequeña planta ocasiona otro tipo de problemas, ya que es la causa de los malos olores.

El objetivo de este trabajo de tesis es presentar una solución adecuada para el tratamiento de las aguas negras y su disposición final de la empresa Malher, S. A., así como una aproximación de los costos que tendría que absorber para su ejecución.

1. GENERALIDADES DE MALHER, S. A.

1.1. Descripción

“Iniciativa, esfuerzo e ingenio fueron los ingredientes con los que una familia guatemalteca comenzó un pequeño negocio que en pocos años se convirtió en todo un éxito. Los que dieron sabor a este sueño fueron Miguel Ángel Maldonado y su esposa María García”.¹

1.1.1. Historia

“Todo comenzó en la abarrotería "Los Chompipitos", donde ella levantó su primer negocio de comida. El destino llevó a don Miguel Ángel a comer a "Los Chompipitos" y allí se produjo el encuentro que transformaría sus vidas para siempre.

El 25 de agosto de 1949 empezaron su vida matrimonial y al poco tiempo llegó su primogénita, pero también la primera adversidad. La situación política y social de Guatemala, obligó a don Miguel Ángel a exiliarse en México, seguido poco después por su familia. Estando allá emprendieron el comedor “La Pajarera”, ubicado en la avenida Revolución, con el cual se estabilizaron rápidamente.

Por aquellos días en México, una amiga de doña María le enseñó a hacer unas gelatinas que se vendían muy bien y que no necesitaban refrigeración para su transporte. Convencida de que el futuro de la familia

¹ Fuente: archivos de Malher, S. A.

estaba en su tierra, doña María decidió regresar a Guatemala, se instaló de nuevo en su tienda y trajo con ella la innovación para elaborar las gelatinas que tuvieron mucha aceptación.

Con el crecimiento de la demanda y producción, a finales de los 80 se adquirió otra planta de producción en el departamento de Chimaltenango, equipada con maquinaria adecuada para realizar los procesos húmedos para los chiles y frijoles enlatados. En el 2000, la innovación fue nuevamente el ingrediente principal para la llegada del nuevo milenio; fue YUS el encargado de demostrarlo.

YUS, el refresco instantáneo con auténtico sabor a frutas revolucionó el mercado, colocándose en un tiempo récord como líder absoluto. Adicional al éxito obtenido en la categoría de refrescos, lo más representativo de este período fue la introducción de la cartera de productos en dos mercados muy importantes: México y Estados Unidos.

De esa manera, Malher continuó con la diversificación de productos que tienen como finalidad ahorrar tiempo en la cocina, tales como los preparados, que son sin lugar a dudas un aporte para las nuevas generaciones que no han adquirido la experiencia de la cocina lenta y laboriosa de otras generaciones.

Hoy en día se prepara el plato fuerte, un plato condimentado con la visión de 2 grandes líderes: Malher y Nestlé.

Malher ha sido premiado con el reconocimiento de *Marketing Hall of Fame*, otorgado por el *United States Marketing Institute*, por la preferencia

de las familias de Centro América, Estados Unidos, México y algunos países del Caribe.

Hoy se prepara para trascender a través de las fronteras de la mano de Nestlé, con casi 20 líneas de productos, entre los cuales el consomé ¡El del Pollito! sigue siendo el líder, proveyendo soluciones e ideas a las amas de casa.

Malher con el liderazgo en refrescos y sazonadores, la eficiencia y cobertura de un sistema de distribución único y la flexibilidad de sus procesos productivos para satisfacer las necesidades de consumidores emergentes, se une con el liderazgo y experiencia de Nestlé en toda la región, para juntos trascender de nuevo en el mercado y en la historia, compartiendo los valores de sus orígenes: trabajo, innovación, calidad y servicio, ingredientes que aseguran el sabor del éxito en los años que vendrán.”²

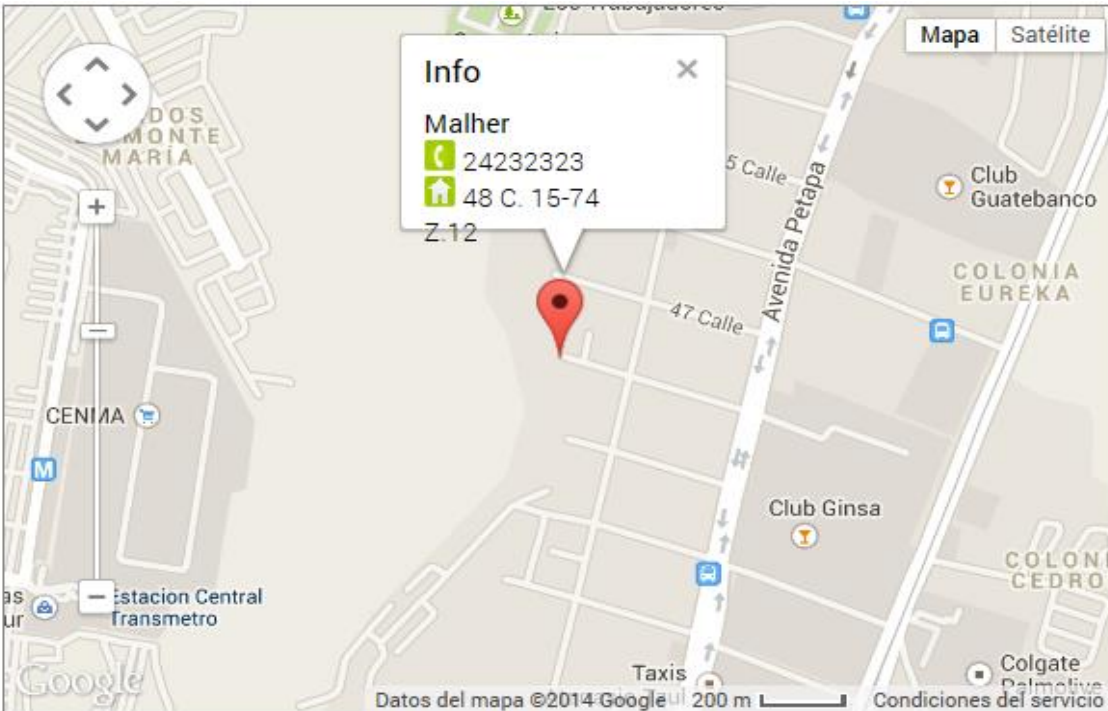
1.1.2. Ubicación

Actualmente la empresa se ubica en la 48 calle, 15-74 zona 12, Guatemala. Las colindancias del predio son:

- Noreste, avenida Petapa
- Sureste, colonia Villa Hermosa, San Miguel Petapa, zona 12
- Suroeste, barranco
- Noroeste, barranco

² Archivos de Malher, S. A.

Figura 1. **Ubicación de planta Malher, S. A. zona 12**



Fuente: Google Maps. Consulta: mayo de 2015.

1.1.3. **Visión**

“Ser la empresa de alimentos más reconocida y exitosa de la región y mercados adyacentes, con innovación, calidad y flexibilidad, siendo líderes en donde participemos, logrando que todos consuman nuestras marcas.”³

³ Archivos de Malher, S. A.

1.1.4. Misión

“Producimos y comercializamos alimentos y bebidas de alta calidad y fácil preparación para satisfacer a los consumidores.”⁴

1.1.5. Política de inocuidad

“Malher S. A., es una empresa dedicada a la producción, empaque, almacenamiento y despacho de productos alimenticios, comprometida con el cumplimiento de los requisitos de los clientes y regulatorios aplicables. Nuestro sistema de gestión de inocuidad y competencia del personal nos permite mejorar los procesos y brindar productos aptos para el consumo humano.”⁵

1.1.6. Valores

- Integridad: “creemos en ser honestos y transparentes, protegiendo el bienestar y la reputación de la compañía y de aquellos que la conformamos.”
- Creatividad: “creemos en aplicar creatividad a todos los aspectos del negocio, a través de la búsqueda constante de innovación y mejora para nuestros productos y procesos.”
- Orientación al cliente: “creemos en establecer relaciones permanentes con los clientes, poniendo a su disposición nuestra pericia y recursos para ser un factor en su éxito y crecimiento.”

⁴ Archivos de Malher, S. A.

⁵ Ibíd.

- Lealtad: “creemos en fomentar un sentido de responsabilidad, compromiso y confianza en nuestro personal, brindando oportunidades para que cada uno desarrolle su potencial al máximo.”
- Responsabilidad social: “creemos en un compromiso continuo con la sociedad y el medioambiente, contribuyendo activamente a su mejora.”⁶

1.1.7. Certificaciones y reconocimientos

Malher, S. A., como proveedor de alimentos para el público guatemalteco y centroamericano, ha formado parte de la cadena de alimentos para estos mercados, los cuales, de manera conjunta han ayudado al progreso y otorgamiento de diversos reconocimientos como:

- ISO 14001, medio ambiente
- OSHAS 18001, salud y seguridad ocupacional
- FSSC 22000 (ISO 22001 + PAS 220), Inocuidad de los alimentos
- NQMS, Sistema de gestión de calidad

1.1.8. Estructura organizacional

Una organización es un grupo humano deliberadamente constituido en torno a tareas comunes y en función de la obtención de objetivos específicos. Para alcanzar los objetivos propuestos, partiendo en la casi totalidad de los casos de recursos limitados, resulta necesaria la construcción de un esquema que permita la interrelación e interacción de los elementos.

⁶ Archivos de Malher, S. A.

La estructura será entonces, la herramienta que le permita a la organización alcanzar los objetivos, porque:

- Permite lograr una determinada disposición de los recursos
- Facilita la realización de las actividades
- Coordina el funcionamiento

Malher, S. A., a lo largo de los años ha perfeccionado su estructura organizacional con el fin de alcanzar los objetivos de productividad y efectividad en sus operaciones.

1.1.8.1. Empresarial

La estructura organizacional se refiere a la forma en que se dividen, agrupan y coordinan las actividades de la organización en cuanto a las relaciones entre los gerentes y los empleados, entre gerentes y gerentes y entre empleados.

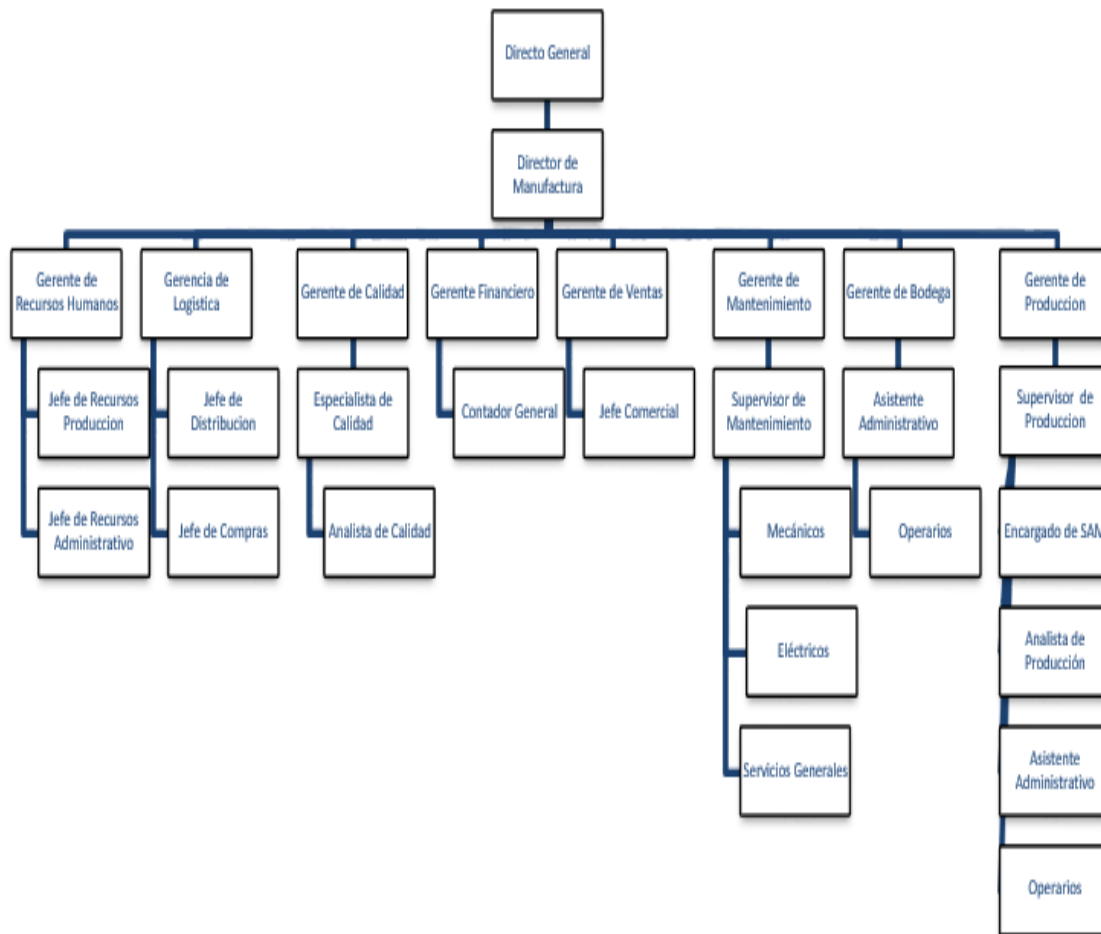
La estructura a nivel empresarial de Malher, S. A., está conformada por los principales niveles de mando dentro de la organización y brinda un mapa general de la manera en que las actividades están delegadas y administradas. Dentro de las actividades delegadas por departamento estan las siguientes:

- Calidad: verificación de sellado en líneas
- Producción: cumplimiento al plan de producción
- Bodega: cantidad de agregados de materia prima
- Ingeniería: cero averías en las maquinas
- Seguridad y medio ambiente: verificar la utilización de EPP

1.1.9. Organigrama

A continuación se presenta el organigrama de la empresa. La fábrica utiliza estructura organizacional vertical, ya que esta distribuye sus mandos de acuerdo a roles y responsabilidades.

Figura 2. Organigrama Malher, S. A.



Fuente: archivos de Malher, S. A.

1.1.10. Política integrada

Esta brinda información de cada una de las políticas de las distintas áreas que involucran el área de Manufactura, tomando en cuenta todos los lineamientos a seguir para cumplir con el plan maestro de operación.

Figura 3. Política integrada fábrica Malher, S. A.



POLÍTICA INTEGRADA DE CALIDAD, INOCUIDAD, MEDIO AMBIENTE, SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

En Malher procesamos y empacamos productos culinarios deshidratados, bebidas y postres en polvo, utilizando procesos regidos por los sistemas de calidad, inocuidad, medio ambiente, salud y seguridad ocupacional.

Estamos comprometidos con la mejora continua de los procesos como herramienta de competitividad, con el deleite de nuestros consumidores y con el cumplimiento de los estándares internos y regulaciones legales locales e internacionales aplicables para asegurar:

- CALIDAD E INOCUIDAD ALIMENTARIA**
Asegurar la inocuidad alimentaria y los estándares de calidad definidos para mantener la confianza y preferencia de los consumidores.
- SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO**
Garantizar la salud y seguridad ocupacional para todos nuestros colaboradores, contratistas y visitantes en el desarrollo de sus actividades.
- RESPECTO AL MEDIO AMBIENTE**
Conservar el medio ambiente utilizando los recursos naturales de forma responsable, previniendo la contaminación.
- DESARROLLO DEL PERSONAL**
Incentivamos el desarrollo de nuestro personal como elemento fundamental en la mejora continua de nuestro sistema integrado de gestión

Fuente: archivos de Malher, S. A.

2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL. MONTAJE DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN PLANTA MALHER, S. A.

2.1. Situación actual de la empresa

Es necesario identificar, describir y analizar la situación actual del control de las aguas residuales en función de los resultados esperados; en este caso los objetivos planteados del proyecto, tienen el propósito de identificar las necesidades y oportunidades de mejoramiento para facilitar el desarrollo de soluciones.

Actualmente, la empresa no cuenta con un manejo de aguas residuales de una manera óptima, ya que toda el agua extraída de los pozos es transportada por medio de tubería subterránea hacia una sola fosa séptica, la cual ya no está en óptimas condiciones después de más de veinte años de su utilización; la misma genera un único proceso en el cual el agua gris pasa a través de dicha fosa séptica; la misma no genera ningún valor agregado en el tratamiento del agua y por consiguiente, la empresa no cumple con las normas locales y menos aún con las normas Nestlé.

El agua residual se desecha por el alcantarillado municipal, aun teniendo conocimiento que esto contamina cualquier agua o sustancia con la que estos desechos lleguen a tener contacto durante su recorrido de desecho, resultando dañinos tanto para el medio ambiente, como para las personas que viven en los alrededores.

Todos los alrededores de la fosa séptica y las tuberías que llegan a los pozos de absorción, ambos, ya no están en las condiciones ideales; sumado a esto que el terreno no es el mejor, varias de dichas tuberías ya poseen fugas que causan un desagradable olor. La empresa puede llegar a tener problemas de cumplimiento con las normativas Nestlé, por la contaminación que este problema genera tanto para colaboradores como para terceros.

Por tal razón se realiza diagnóstico situacional, el cual se detalla a continuación.

2.1.1. Diagnóstico de la situación actual

Se evaluaron las condiciones actuales a través de la técnica de observación directa, donde se busca por medio del uso de herramientas de ingeniería la necesidad de implementación de un proyecto medioambiental, tomando en cuenta la responsabilidad social, empresarial y ambiental que maneja la empresa, además de que la ejecución del proyecto sea lo más eficiente posible.

La empresa posee los diferentes procedimientos en cada área, de acuerdo con la normativa de Nestlé; estos son procedimientos internos que se han desarrollado en diferentes fases, teniendo como objetivo primordial la minimización de riesgos de seguridad, inocuidad, medio ambiente y calidad; todos estos van de la mano con la implementación de la planta de tratamiento de aguas, ya que impactan idealmente en la inocuidad y calidad por temas de olores nocivos y el medio ambiente, ya que con la planta de tratamiento se dará un mejor uso a las aguas que se desechan al vertedero municipal.

Derivado del incumplimiento legal en que se incurre por parte de la fábrica, surge la necesidad de realizar un diagrama de Pareto para encontrar el principal problema y luego de esto utilizar el diagrama de Ishikawa o bien causa-efecto para determinar las posibles causas que impactan esta prioridad. El diagrama causa-efecto está enfocado en el principal problema de la fábrica; de acuerdo con el análisis previo por medio del Pareto, el problema incurre en insuficiencias en el tratamiento primario, es decir, un no tratamiento a las aguas residuales de la empresa, dicho diagrama es el siguiente:

2.1.1.1. Diagrama de Pareto

Para conocer el problema principal del mal funcionamiento de captación de aguas residuales, se desarrolla el diagrama de Pareto, empleando los datos históricos generados por la empresa, en lo que se refiere al mal funcionamiento en la descarga de aguas residuales.

Esta es una herramienta gráfica en la cual se representa la frecuencia para un conjunto de problemas ordenados desde el más significativo hasta el menos significativo. Está vinculado con el principio de Pareto, que sugiere que la mayor parte de los problemas provienen de solamente algunas pocas causas. Se establecen en dos grupos de proporciones 80-20, tales que el grupo minoritario, formado por un 20 % de población ostentaba el 80 % y el grupo mayoritario, formado por un 80 % de población el 20 % y lo que se espera que este diagrama descubra el principal problema para luego utilizar otra herramienta de resolución de problemas que permita encontrar la causa-raíz del problema encontrado. Este diagrama se presenta en la siguiente tabla:

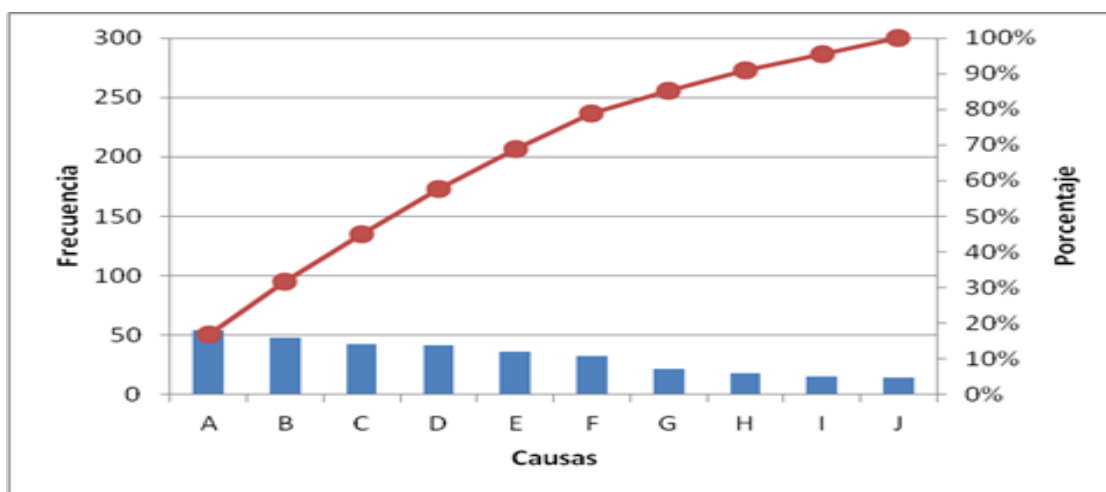
El diagrama de Pareto se muestra a continuación (tabla I, figura 4).

Tabla I. **Análisis de los problemas del mal funcionamiento de captación de aguas residuales**

	Problemas	Total	Porcentaje individual	Porcentaje acumulado	80-20
A	Insuficiencias	54	16,8	16,82	80 %
B	Falta de balance de efluentes en el sistema	48	14,9	31,77	80 %
C	Equipos obsoletos	42	13,0	44,85	80 %
D	Falta de filtros	41	12,7	57,63	80 %
E	Equipos deteriorados	36	11,2	68,84	80 %
F	Falta de purgas al sistema	32	9,96	78,81	80 %
G	Falta de motivación	21	6,54	85,35	80 %
H	No adecuados a la capacidad	18	5,60	90,96	80 %
I	Mano de obra no calificada	15	4,67	95,63	80 %
J	Mal ubicados	14	4,36	100	80 %
	Total	321	100		

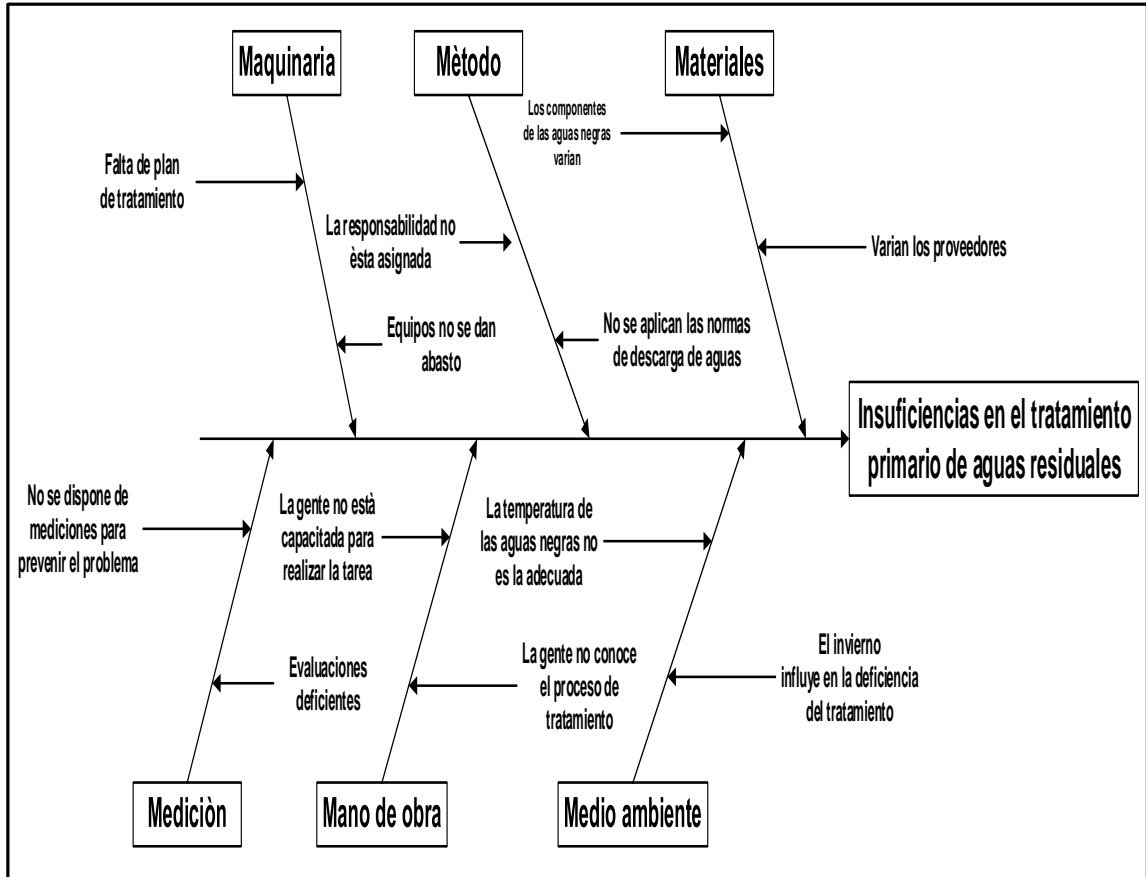
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Pareto de problemas del mal funcionamiento de captación de aguas residuales**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 3. Diagrama de causa-efecto



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

Derivado del diagrama causa-efecto, se encuentra la causa raíz del problema, y se determinó por medio de la herramienta que la empresa no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales; el agua residual sí tiene un tratamiento, pero por el crecimiento de la fábrica y del personal, ya que necesita renovarse porque es un sistema obsoleto.

2.1.1.2. Interpretación de resultados

Los análisis anteriores permitieron determinar el principal problema y enfocar acciones y prioridades en este. Inicialmente se tenía un planteamiento de varios problemas, por lo cual el diagrama de Pareto ayudó a separar de forma gráfica los aspectos significativos, de manera tal, que se sepa a dónde dirigir los esfuerzos para la implementación.

Al analizar el gráfico de Pareto, se puede observar que el 80 % de los causales del problema son: la falta de balance de efluentes, los altos reboses de cajas, equipos obsoletos y deteriorados, la insuficiencia de instrumentos de control y la falta de purgas al sistema; esto da un mayor auge a los problemas que afectan de manera severa, lo cual se deriva de la mala captación de aguas residuales, por lo cual se utilizará el diagrama causa-efecto para determinar las causas.

El gráfico brinda una manera más clara de las principales áreas de oportunidad, en las cuales es importante crear un foco de atención para que la implementación de esta planta de tratamiento sea efectiva para la fábrica y se adecue a las necesidades y lineamientos que requiere Nestlé.

2.1.1.3. Descripción general del problema

Actualmente, las aguas negras son tratadas en una sola fosa séptica, a la cual no se le ha proporcionado ningún tipo de mantenimiento desde hace varios años. Las aguas negras son después evacuadas a un barranco por medio de tuberías. Esta situación ocasiona tres problemas que es necesario solucionar:

- Esta única fosa no es insuficiente para el caudal de aguas negras que se pretende tratar, ya que este sistema fue diseñado para una determinada población y capacidad de personal, la cual ha crecido en los últimos años.
- Al evacuarse las aguas por el barranco y no a la red de alcantarillado municipal, se está contribuyendo a contaminar el medio ambiente, ya que por el problema descrito anteriormente, las aguas no han sido tratadas al salir de la fosa séptica por ya no ser esta efectiva.
- La mala ubicación de dicha fosa junto con el agravante de su insuficiencia, ocasiona olores muy desagradables, sobre todo en horas pico.

Teniendo en cuenta el incumpliendo por parte de la empresa hacia la normativa Nestlé, surge la necesidad de crear un proyecto de tratamiento de aguas residuales, el cual ayudará a mejorar la situación planteada anteriormente, esta es de cierta manera más rigurosa que la normativa nacional; con ello, se le dará seguimiento a las prioridades de la fábrica, como el cuidado del medio ambiente.

2.1.2. Tratamiento actual de aguas residuales

Actualmente, en la fábrica se trata de una manera superficial el agua, teniendo como base la normativa guatemalteca de tratamiento; se puede determinar que con este tratamiento superficial se incurre en incumplimientos a la normativa Nestlé, que evaluándola detenidamente, tiene puntos más rígidos que la normativa nacional.

2.1.2.1. Pretratamiento

Toda el agua residual que llega a la alcantarilla tiene cuerpos sólidos y después de esto van a la planta de tratamiento de aguas residuales, si no son eliminados eficazmente, pueden producir serias averías a cualquier componente de la PTAR. A la planta, también llegan aceites y grasas que no pueden ser eliminadas en su totalidad. Con el pretratamiento se pretende separar del agua residual tanto por operaciones físicas como por operaciones mecánicas, la mayor parte de materias que por su naturaleza o por su tamaño crearían problemas en los tratamientos posteriores.

2.1.2.1.1. Cribado o canal de rejas

Se emplea para reducir los sólidos en suspensión de distintos diámetros. La distancia de las rejillas dependerá del objeto que tengan las mismas, y la limpieza puede darse de forma manual o mecánica. El material que se obtiene se clasifica en finos y gruesos. Para el material fino se utilizan aberturas de 5 mm o menos; generalmente son mallas metálicas de acero, placas de acero perforado y pueden llegar a eliminar entre un 5 % a un 25 % de sólidos en suspensión. Para el material grueso se utilizan aberturas entre 4, 8 o 9 cm, para evitar que sólidos de grandes dimensiones dañen el equipo.

2.1.2.1.2. Desarenado

El sistema que más se utiliza para retirar la arena es el de tipo rectangular de flujo horizontal, donde los principales elementos son sólidos como arenas, cenizas y grava. Estas pueden causar problemas de operación, ya que pueden llegar a acumularse alrededor de las tuberías de entrada, provocando una obstrucción de la misma.

Este sistema está conformado por una caja o canal, donde los sólidos o partículas se desprenden del líquido por gravedad.

Figura 5. **Desarenado**



Fuente: instalaciones de Malher, S. A.

2.1.2.1.3. Remoción de grasas y aceites

Las aguas residuales domésticas vienen con una gran carga de estos, cuando se permite el ingreso a los tanques existe la posibilidad que sean descargados al efluente. Estos tienden a acumularse sobre la superficie de los sistemas de tratamiento. Para la remoción se aplica un sistema de barrido superficial de espuma o natas; al momento de ingresar las aguas residuales pasan a una zona de remoción de grasas por medio de un vertedero control, donde estas se atrapan y se retiran.

2.1.2.2. Opciones de tratamiento primario

Existen diversas manera de tratamiento primario de las aguas residuales, las cuales permiten manejar de una mejor manera las aguas, entre ellas se cuenta la que actualmente se utiliza en la fábrica.

2.1.2.2.1. Fosa séptica

Este sistema se utiliza para recibir la descarga de agua residual proveniente de residencias individuales o de otras instalaciones sin tener una red de alcantarillado para las mismas. Son tanques que tienen como función sedimentar y desnatar, como un digestor anaerobio, sin tener que mezclar ni calentar y se convierten en un tanque de almacenamiento de lodos. Si un sistema presenta un tanque séptico además una instalación para disposición del efluente por absorción sobre el suelo, se tendrá un sistema convencional para el manejo de las aguas residuales.

Figura 6. **Fosa séptica utilizada en la fábrica**



Fuente: instalaciones de Malher, S. A.

2.1.2.2.2. Tanques Imhoff

Consiste en un sistema donde la sedimentación se da en el compartimiento superior y la digestión y acumulación de lodos en el compartimiento inferior, este se utiliza para tratamiento para aguas provenientes de zonas residenciales. Una de sus principales ventajas es que tiene una sencilla operación, ya que requiere de un control de espuma de forma diaria y de realizar una inversión del flujo dos veces por mes, para lograr una distribución uniforme de los sólidos en ambos extremos del digestor.

2.1.2.2.3. Sedimentador primario

Este sistema tiene como fin la eliminación de arenas, grasas, aceites, materia en suspensión o cualquier otro sólido suspendido presentes en el afluente de entrada. Las medidas de eficiencia que se establecen se basan en la remoción de los sólidos suspendidos, altura útil, tiempo de retención y tipo de sección transversal del tanque. Un tratamiento de este tipo debería remover la mitad de los sólidos suspendidos del agua residual tratada, la biooxidación se considera despreciable. Tiene la ventaja de ser de fácil operación y de bajo costo, aunque sus niveles de eficiencia normalmente no alcanzan para cumplir con las normas de calidad de agua.

Figura 7. Sedimentador primario



Fuente: instalaciones de Malher, S. A.

2.1.2.2.4. Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA)

Como se muestra en fotografías anteriores, el módulo de la planta cuenta con un sistema que separa gas-líquido-sólido, lo que evita la salida de los sólidos del efluente y ayuda a una mejor evacuación del gas. La debilidad de este proceso radica en la lentitud del proceso de arranque del reactor; es necesario darle uniformidad al caudal, corrección de pH continua y requiere un mayor cuidado con relación a otras alternativas.

2.1.2.2.5. Cuerpos de relleno

El uso de soportes o cuerpos de relleno provee superficies de asentamiento a los microorganismos, de manera que su estancia en los depósitos de depuración aumenta en comparación con las aguas residuales que no están en movimiento y de esta forma, crece la capacidad de limpieza de las instalaciones.

Los cuerpos de relleno utilizados suministran los soportes de asentamiento adecuados tanto para el proceso de agua residual móvil como para el de agua residual estática.

En las instalaciones se usan los soportes de asentamiento Bioflow. Su diseño se ha realizado especialmente para esta aplicación, de manera que cuentan con una superficie grande y protegida contra la fricción y al mismo tiempo no ofrecen resistencia para que el agua fluya a través de ellos. Además, su forma garantiza una gran durabilidad, incluso en condiciones medioambientales poco favorables.

Figura 8. **Cuerpos de relleno**



Fuente: instalaciones de Malher, S. A.

2.1.2.3. Opciones de tratamiento secundario

El tratamiento secundario de las aguas residuales incluye la purificación biológica del agua. Estos procesos son un tipo de crecimiento biológico suspendido, como el lodo activado, o un tipo de crecimiento adherido, como los filtros anaeróbico granulares. Los costos energéticos relacionados con cada una de estas opciones obviamente serán el factor decisivo para la selección final.

2.1.2.3.1. Filtro anaeróbico

Son también conocidos como filtros sumergidos, este tipo de sistema está diseñado para que se lleve a cabo un tratamiento anaerobio por medio de un crecimiento de biomasa por adherencia.

La principal diferencia ante un filtro percolador es que la alimentación del agua residual se da por el fondo del sistema y el producto final abandona por la parte superficial o superior. El material se encuentra completamente sumergido en el agua residual entrante y por ello no hay presencia de aire en absoluto, de esta manera crean las condiciones anaerobias necesarias para su funcionamiento.

La única problemática significativa que presenta es que cuando se tienen elevadas concentraciones de sólidos en suspensión pueden obstruir el filtro, lo cual dañaría el sistema.

Figura 9. **Filtro anaeróbico**



Fuente: instalaciones de Malher, S. A.

2.1.2.3.2. Lagunas de estabilización

Las lagunas son balsas con una profundidad entre 1 a 4 metros, dependiendo del tipo de laguna, en la cual se realiza una oxigenación del agua residual mediante aireadores superficiales, turbinas o difusores.

Existen diferentes tipos de lagunas con base en sus características y niveles de depuración tanto para tratamiento primario, secundario e inclusive terciario, pueden ser:

- Lagunas facultativas: tiene una profundidad que varía de 1,5 a 2 metros y una carga de materia orgánica por unidad de volumen, que favorezca el crecimiento de microorganismos aeróbicos y facultativos (estos últimos pueden desarrollarse con o sin oxígeno). Es del tipo de laguna más utilizada porque requieren menos terreno que cualquiera de las otras y la producción de olores es menos.
- Lagunas aerobias: tienen poca profundidad no más de 80 cm, con lo que se propicia el crecimiento y desarrollo de algas, las cuales suministran gran cantidad de oxígeno necesario para el funcionamiento de la laguna. Sus principales desventajas son que se necesita una extensión grande de terreno y no puede utilizarse directo con las aguas residuales crudas, sino que necesitan un pretratamiento para luego pasar a la laguna.
- Laguna de maduración: tienen un tiempo de retención aproximado en 3 y 7 días, ya que reciben el afluente de una laguna facultativa o de otro proceso biológico anterior. La principal función de este tipo de laguna es lograr una alta calidad microbiológica, es decir, eliminar patógenos hasta niveles deseados.

Figura 10. **Laguna de estabilización**



Fuente: instalaciones de Malher, S. A.

2.1.2.3.3. Humedad

Su funcionamiento es parecido al de las lagunas, con la diferencia que se utilizan plantas acuáticas en vez de algas, las cuales brindan el oxígeno para el desarrollo de las bacterias.

Hay que tomar en cuenta que se necesita una cosecha de las plantas periódicamente, con lo que el proceso requiere de más atención que en una laguna. Pero las ventajas que presentan son bajos costos de explotación, gran calidad del afluente al final del proceso, y una parte importante en cuestión de paisaje, ya que puede integrarse al entorno. También son más flexibles y con menor susceptibilidad a las fluctuaciones que puede haber en relación con la carga contaminante.

2.1.3. Normas de calidad de aguas residuales

Existen diversas normas de calidad para las aguas residuales, en las cuales se basa la fábrica, actualmente; se utilizan las Nestlé por ser más rigurosa; entre la normativa nacional se tiene: “Acuerdo Gubernativo 236-2006, artículo 24: Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores para aguas residuales municipales y de urbanizaciones no conectadas al alcantarillado público.” 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 de cualquiera de las siguientes formas, presentadas en la figura siguiente.

Según la normativa local, según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, los límites máximos permisibles de los parámetros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores son:

Figura 11. Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	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
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Miligramos por litro	700	75	30	15	10

Continuación de la figura 11.

Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	< 1x10 ⁵	< 1x10 ⁵	< 1x10 ⁵	< 1x10 ⁴	< 1x10 ⁴
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1300	1000	750	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Fuente: MARN. www.marn.gov.gt. Consulta: enero de 2016.

Todas las municipalidades deberán cumplir con tener en operación, por lo menos con sistemas de tratamiento primario al cumplirse a más tardar el 2 de mayo de 2015. Las municipalidades que reciban descargas de aguas residuales de tipo especial en el alcantarillado público, que contengan compuestos que no puedan ser tratados en un sistema de tratamiento primario, no estarán sujetos a los limitantes máximos permisibles de demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos, nitrógeno y fósforo total en la etapa uno del cuadro anterior, lo cual deberá ser acreditado.

Figura 12. **Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos receptores para aguas residuales municipales**

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro	Dos de mayo de dos mil veintinueve
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7	TCR +/- 7

Continuación de la figura 12.

Grasas y aceites	Miligramos por litro	100	50	10	10	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	700	250	100	100	100
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	300	275	200	100	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	150	150	70	20	20
Fósforo total	Miligramos por litro	50	40	20	10	10
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^7$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	6	1	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	4	3	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.1	0.02	0.02	0.01	0.01
Niquel	Miligramos por litro	6	2	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	4	0.4	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10	10	10
Color	Unidades platino cobalto	1500	1000	750	500	500

Fuente: MARN. www.marn.gob.gt. Consulta: enero de 2016.

De los anteriores parámetros tomados del Acuerdo Gubernativo 236-2006, se trabajó la siguiente tabla en comparación con los datos permitidos en la descarga de aguas residuales y datos de una de las primeras mediciones realizadas en el laboratorio.

Figura 13. **Análisis iniciales de aguas comparados con la NER**

Parámetro	Dimensión	Resultados (Marzo 2015)	Norma Local 2015	Adherencia NER
Temperatura	°C	23.1	✓	✓
Grasas y aceites	Mg/l	16	✓	✗
Sólidos suspendidos	mg/l	320	✓	✗
Nitrógeno	mg/l-N	38	✓	✗
Fósforo	mg/l-P	15.4	✓	✗
pH	U pH	7.8	✓	✓
DQO	mg/l – O ₂	1870	✗	✗
DBO	mg/l – O ₂	900	✗	✗
Color	U pt-Co	561	✓	✗

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

2.1.4. Medición del caudal de drenaje de la fábrica

Al conocer el caudal proyectado, también fue necesario ubicar el caudal actual de las aguas residuales para establecer el comportamiento del mismo durante un día, por medio de esta toma de tiempos y cálculos de volúmenes se identifica cuáles eran los momentos en que se utiliza más el agua; es decir, hay una mayor descarga.

Se identificaron también los momentos de menor descarga, esto con la finalidad de contar con un dato real del alcance que tiene el desfogue de las aguas residuales al cuerpo receptor y conocer el caudal que se tiene en fábrica y verificar el dato de la PTAR para corroborar que sí cumpla con ese volumen de descarga diario.

Tabla II. Medición de caudal de fábrica Malher, S. A.

Conteo	Hora	Volumen	Tiempo	Caudal
1	8:00 a.m.	37,8 litros	3,90 segundos	9,69 l/seg.
2	10:00 a.m.	37,8 litros	4,21 segundos	8,97 l/seg.
3	12:00 p.m.	37,8 litros	5,10 segundos	7,41 l/seg.
4	2:00 p.m.	37,8 litros	4,37 segundos	8,65 l/seg.
5	4:00 p.m.	37,8 litros	3,22 segundos	11,73 l/seg.

Fuente: elaboración propia.

$$\frac{37,8}{3,90} = 9,69 \text{ l/seg}$$

$$\frac{37,8}{4,21} = 8,97 \text{ l/seg}$$

$$\frac{37,8}{5,10} = 7,41 \text{ l/seg}$$

$$\frac{37,8}{4,37} = 8,65 \text{ l/seg}$$

$$\frac{37,8}{3,22} = 11,73 \text{ l/seg}$$

Entonces,

$$\frac{(9,69 + 8,97 + 7,41 + 8,65 + 11,73)}{5} = 9,29 \text{ l/seg}$$

De acuerdo con los cálculos anteriores, el caudal promedio del drenaje es de 9.29 l/seg; estos datos fueron realizados durante un día en cinco horarios distintos, con lo cual se conocería el comportamiento normal diario de las descargas de aguas residuales de la fábrica; con ello se observó la variación significativa del comportamiento del flujo del agua residual diario, para poder realizar un análisis de los horarios en los que más descargas puede haber.

Con base en este proceso se logró determinar la existencia de tres horas pico 8:00 am 10:00 p.m. y 4:00 pm; a estas horas se presentó un mayor caudal en relación con las otras dos horas calculadas, debido a que en estos horarios la fábrica tiene un mayor uso de agua potable y concuerda con las actividades que las personas realizan como el uso de sanitarios, regaderas y producción de desechos de la cafetería.

2.2. Situación propuesta

Dadas las características actuales del tratamiento de agua existen importantes limitaciones; se determina que es necesario implementar y actualizar ciertos estándares de trabajo. De este modo como efecto, tendrá un cumplimiento con las normativas requeridas en toda la estructura NCE.

Con la planta de tratamiento de aguas residuales, se pretende reducir los desechos tirados y contaminar el medio ambiente por medio de las aguas negras que se desechan a diario.

La planta de tratamiento de aguas negras para la Malher, S. A. constará de dos procesos fundamentales: la sedimentación y la filtración biológica. El proceso de sedimentación está formado por un desapretador y cuatro reactores anaeróbicos de flujo ascendentes (RAFA); el proceso de filtración biológica está formado por cuatro filtros percoladores. Finalmente, se dispondrá el efluente en más cercano. Los tratamientos utilizados son los siguientes:

- Primario: constituido por un canal de rejillas y un desarenador.
- Secundario: constituido por cuatro reactores anaeróbicos de flujo ascendente y cuatro filtros percoladores, además de un sedimentador final.
- Tratamiento de lodos digeridos: lechos de secado de lodos.

2.2.1. Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales

A continuación se detalla cuáles serán las especificaciones con las que se trabajarán en la planta de tratamiento de aguas residuales, desde su montaje hasta su ubicación dentro de la fábrica.

2.2.1.1. Parámetros para diseño de alcantarillado sanitario

Teniendo en cuenta que el caudal diario es de 9,29 litros/segundo, se realizaron algunos parámetros para que esta trabajara de una manera óptima y no se diera algún inconveniente en su funcionamiento.

- Caudal de infiltración: según parámetros utilizados por la municipalidad de Guatemala, se puede estimar el caudal de infiltración según la siguiente fórmula:

$$Q = (HA) * 0,1 \text{ litros/segundo}$$

Q = caudal de infiltración

HA = hectáreas que se pretende drenar

Por tanto

$$Q = (142,609 \text{ m}^2) * \left(\frac{1 \text{ HA}}{10,000 \text{ m}^2} \right) (0,1)$$

$$Q = 1,4261 \text{ litros /segundo}$$

$$CTM = Q_{\text{medio diario}} + Q_{\text{infiltración}}$$

$$CTM = 9,29 + 1,4261 = 10,7161 \text{ litros/segundo}$$

Los caudales máximo y mínimo: son proporcionales al caudal total medio según factores obtenidos con base la población o al caudal de descarga de diseño. Según los cálculos se pueden aproximar los factores tanto de caudal mínimo y máximo. Se utilizará la gráfica de factores de acuerdo con la descarga media, ya que si se utiliza la gráfica basada en poblaciones, pudiera haber cierto error, debido a que esta gráfica suele utilizarse en diseños de plantas para lotificaciones, en las cuales la descarga que se toma es aproximadamente de 210 litros/hab/día, mientras que en una planta de una empresa, como en este caso, la descarga asumida fue de 35 litros/hab/día.

Por lo tanto

$$Q_{\text{total medio}} = 10,7161 \frac{\text{litros}}{\text{segundo}} = 925,87 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$K_{\text{max}} = 2,35$$

$$K_{\text{min}} = 0,31$$

Por lo tanto

$$Q_{\text{maximo}} = 2,35 * Q_{\text{total medio}} = 2,35 * 925,87 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$Q_{\text{maximo}} = 2175,8 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 25,18 \text{ litros/segundo}$$

$$Q_{\text{minimo}} = 0,31 * Q_{\text{total medio}}$$

$$Q_{\text{minimo}} = 287,02 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 3,32 \text{ litros/segundo}$$

$$Q_{\text{max}} = 25,18 \text{ litros/segundo}$$

$$Q_{\text{min}} = 3,32 \text{ litros/segundo}$$

2.2.1.2. Cargas de demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El valor comúnmente aceptado para calcular la carga de DBO es de 300 gramos diarios por metro cúbico diario del caudal total medio.

$$Q_{\text{total medio}} = 10,7161 \frac{\text{litros}}{\text{segundo}} = 925,87 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{DBO} = 300 \text{ gramos} \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 925,87 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$\text{DBO} = 227,761 \frac{\text{gramos}}{\text{día}} = 277,76 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

2.2.1.3. Eficiencias de elementos de planta de tratamiento

Es importante conocer la eficiencia de los equipos o elementos que conforman la PTAR. Se da a conocer la razón porcentual de la eficiencia productiva de los elementos para tener una proyección de la disponibilidad y calidad de los mismos:

- Eficiencia de reactores anaeróbicos de flujo ascendente = 70 %
- Eficiencia de filtros percoladores = 60 %
- Eficiencia de sedimentador final = 30 %

Tabla III. Diagrama de remoción de DBO en kilogramo/día

Carga	Remueve RAFAS	Pasan	Remueve filtros	Pasan	Remueve sedimentador	Residual
	Efic = 70 %		Efic = 60 %		Efic = 30 %	
277,76	194,43	83,33	50,00	33,33	10,00	23,33

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el cálculo que se muestra en la tabla III, el diagrama de remoción de DBO presenta la información siguiente:

Remueve RAFAS:

$$277.76 * 70 \% = 194.43$$

$$277.76 - 194.43 = 83.33$$

Remueve filtros:

$$83,33 * 60 \% = 50$$

$$83,33 - 50 = 33,33$$

Remueve sedimentador

$$33,33 * 30 \% = 10$$

$$33,33 - 10 = 23,33$$

Los resultados anteriores indican que las aguas residuales con un valor de caudal total medio de 10.7161 l/s, llegará con una DBO de 23,33 Kg/día, que diluida en el caudal total medio de 10.7161 l/s, que es lo mismo que 925, 871 litros/día, tendrá una concentración de:

$$\begin{aligned} DBO/ml &= 23,33 \text{ Kg/día} / (925,871 \text{ l/día}) = 0,0000251 \text{ Kg/l} \\ &= 25,1 \text{ mg/litro} \end{aligned}$$

Según los parámetros de diseño establecidos por Conama, el límite máximo de DBO que puede descargarse es de 50 mg/litro, por lo tanto, la planta propuesta cumple con la especificación de Conama mencionada al descargar al medio ambiente una DBO de 23,33 mg/litro. Debido a la fuerte contaminación química y bacteriológica de las aguas de los ríos, estas no son aptas para consumo humano, industrial o agrícola (Insivumeh-IGN, 1978), por lo que se hace esta aclaración para que se tome en cuenta la clase de cuerpo receptor que se tiene para el efluente de la planta de tratamiento propuesta.

2.2.1.4. Eficiencia global de la planta

De acuerdo con los datos obtenidos en el diagrama anterior de remoción de DBO en kilogramo/día se puede obtener la eficiencia global de la planta propuesta.

$$\text{DBO removida total} = \text{Carga al inicio} - \text{DBO residual}$$

$$\text{DBO removida total} = 277,76 - 23,33 = 254,43 \text{ Kg/día}$$

$$\text{Eficiencia global} = \text{DBO removida} / \text{Carga al inicio}$$

$$\text{Eficiencia global} = 254,43 / 277,76 = 91,6 \%$$

2.2.1.5. Otros parámetros según la eficiencia global

La eficiencia global permite conocer datos para poder calcular los sólidos de suspensión que contiene la carga; a continuación se muestra la tabla.

Tabla IV. **Sólidos en suspensión**

Carga típica (mg/litro)	91,6 % Remoción	Residual
220	201,52	18,48 mg/l

Fuente: elaboración propia.

La tabla de sólidos de suspensión, mostrada anteriormente, tabla IV, se calculó de la siguiente forma:

$$220 * 91,6 \% = 201,52$$

$$220 - 201,52 = 18,48 \text{ mg/l}$$

De acuerdo con la cantidad de sólidos de suspensión máxima propuesta por Conama de 60 mg/litro, se acepta satisfactoriamente la concentración final obtenida de la tabla anterior (18,48 mg/l) por ser menor a la máxima especificada.

Tabla V. **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Carga típica (mg/litro)	91,6 % Remoción	Residual
500	458	42 mg/l

Fuente: elaboración propia.

La tabla de demanda química de oxígeno, mostrada anteriormente, se calculó de la siguiente forma:

$$500 * 91,6 \% = 458$$

$$500 - 458 = 42 \text{ mg/l}$$

De acuerdo con la DQO máxima propuesta por Conama de 100 mg/litro, se acepta satisfactoriamente la carga final obtenida de la tabla anterior (42 mg/l) por ser menor a la máxima especificada.

2.2.2. Descripción de procesos

En la siguiente descripción se detalla todo el flujo de análisis y cálculo de cada uno de los procesos que conlleva la instalación de la PTAR, desde la obra gris hasta el montaje de la misma.

2.2.2.1. Canal de rejas

Los canales de rejas tienen por lo general una longitud de 3 a 5 metros. Se adoptará una longitud de 5 metros debido a que se cuenta con suficiente espacio en el terreno donde se ubicará la planta. La abertura entre rejas varía de la siguiente forma:

- Gruesa: 40-100 mm
- Media: 20- 40 mm
- Fina: 10- 20 mm

Por lo tanto, se tomará el valor usual para diseño que es de 25 mm (1"). La inclinación de las barras está por lo general en el intervalo de 30° a 60° para fines de limpieza manual. La velocidad para las diferentes fluctuaciones de caudal se debe encontrar entre los siguientes límites:

- $V_{\text{mín}} = 0,30 \text{ m/seg}$
- $V_{\text{máx}} = 0,95 \text{ m/seg}$

Figura 13. Canal de rejas



Fuente: Google. <http://www.fudur.es/wp-content>. Consulta: enero de 2016.

Para diseñar el canal de rejas se necesita tomar en cuenta las fluctuaciones de caudal diario. Como se estimó anteriormente, según cálculos:

- $Q_{\text{máx}} = 25,18 \text{ l/seg}$
- $Q_{\text{mín}} = 3,32 \text{ l/seg}$

Según el grosor y la separación entre las rejas se determina la eficiencia a partir de la siguiente relación:

$$E = a/(a + t)$$

$a = \text{espacio entre rejas}$

$t = \text{grosor de reja}$

Cuanto menor sea el grosor de la reja, mayor será la eficiencia, por lo que para el presente caso se asumirán rejas de $\frac{1}{4}$ " de grosor. Por lo tanto

$$E = \frac{a}{a + t} = 1'' \frac{1}{1'' + \frac{1}{4}''} = 0,8 = 80 \%$$

El área efectiva de la sección de flujo se determina a partir del caudal y la velocidad máximos, para luego encontrar la sección neta que afectada por la eficiencia cumpla con la requerida. Se asumirá una velocidad cercana a la máxima (0,68 m/seg).

$$A_e = Q_{\text{máx}} / V_{\text{máx}} = 0,02518 \text{ m}^3/\text{seg} / 0,68 \text{ m/seg} = 0,037 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Neta}} = A_{\text{efectiva}} / E = 0,0336 \text{ m}^2 / 0,8 = 0,0463 \text{ m}^2$$

Para un canal rectangular la sección es igual a la base (b) por la altura de agua o tirante (y). Por lo tanto, se asume la base de 0,3 m, se obtiene obtenemos un tirante de:

$$Y = A_{\text{neta}} / b = 0,0463 \text{ m}^2 / 0,3 = 0,154 \text{ m}$$

Para determinar la pendiente óptima para el canal, se debe calcular con la ecuación de Manning:

$$Q = A * R^{2/3} S^{1/2} / n$$

$$Q = \text{Caudal} = 0,02518 \text{ m}^3 / \text{segundo}$$

$$A = \text{Área de la sección} = 0,0463 \text{ m}^2$$

$$R = \text{Radio hidráulico} = \frac{A}{\text{Per}} = \frac{A}{b + 2 * y} = 0,0463 \text{ m}^2 / (0,3 + 2 * 0,154) \text{ m} \\ = 0,076 \text{ m}$$

S = pendiente

N = Coeficiente de Manning (para alcantarillado de hormigón o madera = 0,013)

Por lo tanto

$$0,02518 = 0,0463 * (0,0761)^{2/3} * S^{1/2} / 0,013$$

$$S = 0,0015 = 1,5 \text{ TM}$$

Chequeo de velocidad máxima:

$$V_{\text{máx}} = Q_{\text{máx}} / A_{\text{neta}} = 0,02518 / 0,0463 = 0,54 \text{ m/seg} < 0,95 \text{ m/seg} \quad \checkmark \text{ Aceptado}$$

Chequeo de tirante para caudal mínimo:

$$\frac{Q_n}{S^{1/2}} = A \frac{R^2}{3}$$

$$\left(\frac{Q_n}{S^{1/2}} \right)^3 = A^3 R^2 = A^3 * \left(\frac{A}{P} \right)^2$$

$$\left(\frac{Q_n}{\frac{S_1}{2}}\right)^3 = \frac{A^5}{P^2}$$

$$\left(\frac{Q_n}{\frac{S_1}{2}}\right)^3 = \frac{(b * y)^5}{(2 * y + b)^2}$$

$$\left(\frac{0,00332 * 0,013 * 0,00151}{2}\right)^3 = \frac{(0,3y)^5}{(2y + 0,3)^2}$$

$$1,384 \times 10^{-9}(4y^2 + 1,2y + 0,09) = 0,00243 y^5$$

$$0 = 0,00243 y^5 - 5,536 \times 10^{-9} y^2 - 1,661 \times 10^{-9} y - 1,246 \times 10^{-10}$$

$$y = 0,038 \text{ m}$$

Por lo tanto para el caudal mínimo se obtiene un tirante por el método algebraico de 3,8 cm; mientras que si se estima por métodos gráficos en curvas para determinar el tirante, se obtiene un tirante de 3,1 cm, por lo que utilizará un promedio de los dos, es decir:

$$Y = 3,44 \text{ cm}$$

Chequeo de velocidad mínima para caudal mínimo:

$$A = y * b = 0,0344 * 0,3 = 0,01 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{mín}} = \frac{Q_{\text{mín}}}{A * E} = 0,00332 * (0,01 * 80 \%) = 0,42 \frac{\text{m}}{\text{seg}} > 0,4 \text{ m/seg } \checkmark \text{ aceptado}$$

Por lo tanto se diseñará un canal de rejillas de 5 metros de largo por 0.30 metros de ancho, el cual tendrá una pendiente de 1.5TM, un tirante para caudal máximo de 15,4 centímetros, y otro para caudal mínimo de 3,44 cm.

Diseño del *by-pass*: en caso de deshabilitarse el canal de rejas, se dejará provisto un canal paralelo para desviar el caudal. A este canal se le llama *by-pass*. Para que el caudal fluya hacia el *by-pass*, se debe construir un pequeño vertedero rectangular con contracciones laterales. La fórmula para este tipo de vertedero es la siguiente:

$$Q = 1,71(L + 0,2H)H^{3/2}$$

Donde

L = base del vertedero

H = altura de descarga

Por lo tanto, asumiendo una base de 0,3 m

$$0,02518 \text{ m}^3/\text{seg} = 1,71(0,3 + 0,2 * H)H^{1,5}$$

$$H = 0,125 \text{ m}$$

El *by-pass* debe tener una pendiente, así que se asumirá el ancho del *by-pass* de 0,4 metros y H = 0,125 m, así que aplicando la fórmula de Manning:

$$Q = A * R^{2/3} S^{1/2} / n$$

Q = caudal = 0,02518 metros³ /segundo

A = área de la sección = 0,05 m²

R = radio hidráulico = A/Per Moj= A/(b + 2*y) = 0,05 m²/(0,4 + 2*0,125)m
= 0,077 m

S = pendiente

N = coeficiente de Manning (para alcantarillado de hormigón o madera = 0,013)

Por lo tanto

$$0,02518 = 0,05 \cdot (0,077)^{2/3} \cdot S^{1/2} / 0,013$$

$$S = 0,0013 = 1,3\text{TM},$$

Cálculo de la pérdida de carga: se debe chequear la pérdida de carga para un grado de ensuciamiento de las rejas del 50 %. Se determina el valor de la pérdida de carga en las rejas por medio de las siguientes dos fórmulas, de las cuales se tomará la mayor. A esta pérdida se le sumará el valor de pérdida estándar para el resto del canal, que es de 0,3 m.

$$\text{Fórmula de Metcalf – Eddy: Hrejas} = (V^2 - V_0^2) / (2g \cdot 0,7)$$

$$\text{Fórmula de Kirshmer: Hrejas} = B(t/a)^{4/3} \cdot \text{sen} \alpha \cdot V_0^2 / (2g)$$

V = vel. entre las aberturas = $V_{\text{máx}} / 50\% \text{ ensuciamiento} = 0,68 / 0,5 = 1,36$
m/s

V_0 = velocidad aguas arriba = 0,54 m/seg

α = ángulo de inclinación de la reja (entre 30° y 60°), se asumirá 45°

t = espesor de la barra = 1/4"

a = espacio entre rejas = 1"

B = factor de forma, el cual para barras redondas es de 1,79

Por lo tanto

$$\text{Metcalf – Eddy: Hrejas} = (1,36^2 - 0,54^2) / (19,6 \cdot 0,7) = 0,11 \text{ m}$$

$$\text{Kirshmer: Hrejas} = 1,79(0,25/1)^{4/3} \text{sen}(45)0,542/(19,6) = 0,003 \text{ m}$$

Por lo tanto se asumirá la pérdida mayor que es de 0,11 m. La pérdida total del canal es entonces: $0,3 \text{ m} + 0,11 \text{ m} = 0,41 \text{ m}$

Diseño de la transición del tubo de descarga: la tubería de llegada al canal tiene cierto diámetro, el cual al llegar al canal pudiera sufrir un ensanchamiento brusco de ser muy diferente el diámetro al ancho del canal. Para evitar esto, la sección del canal debe irse ensanchando poco a poco desde el diámetro de la tubería de llegada, hasta alcanzar el ancho total. Para encontrar la longitud en la cual debe darse este ensanchamiento gradual se utiliza la siguiente fórmula:

$$L \geq (\text{Ancho del canal} - \text{diámetro de tub.}) / (2\text{tg}12^\circ30')$$

$$L \geq (0,3 - 0,3) / (2\text{tg}12^\circ30') \geq 0 \text{ m}$$

La razón que la distancia de ensanchamiento sea cero, es porque el diámetro de la tubería del efluente del sistema de drenajes actual de la planta es de 12", o sea 30 cm; por lo que con ese mismo diámetro llegará hasta la planta. En la transición de la tubería al canal se asume una pérdida de carga estándar entre 10 a 15 cm.

Estimación del número de rejillas: para determinado ancho de canal, corresponde determinado número de rejillas según el grosor y el espaciamiento entre estas. Para "N" barras, corresponde "N + 1" aberturas, por lo tanto:

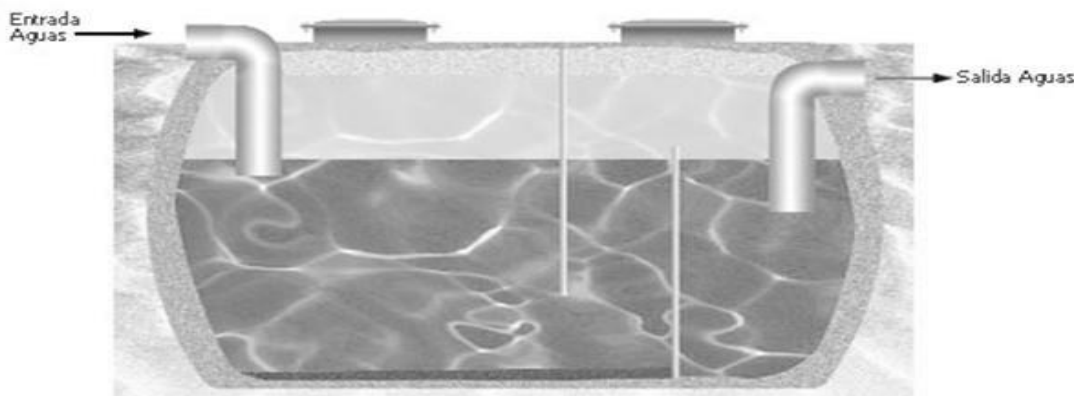
$$B = Nt + (N + 1)a$$

$$N = (B - a) / (t + a) = (0,3 - 0,025) / (0,025 * \frac{1}{4} + 0,025) = 9 \text{ barras}$$

2.2.2.2. Desarenador

El desarenador debe estar provisto con dos compartimentos cuya habilitación se hará por medio de compuertas que se abrirán o cerrarán, según el caso, con fines de mantenimiento y extracción de arenas.

Figura 14. Desarenado



Fuente: Remosa. <http://www.remosa.net/>. Consulta: abril de 2015.

Los desarenadores generalmente se diseñan para remover partículas de diámetros alrededor de 0,2 milímetros, con densidades relativas alrededor de 2,65. Por lo general, la eficiencia de los desarenadores en la remoción de estas partículas se encuentra entre un 60 y 70 %. La velocidad de sedimentación de estas partículas es de aproximadamente 0,02 m/seg, mientras que su velocidad horizontal debe de estar alrededor de 0,30 m/seg. Las tasas de remoción de partículas en los desarenadores oscilan alrededor de 1200 $m^3/m^2/día$. La longitud del canal no debe ser mayor a 25 veces el tirante del mismo. Para determinar esta relación se utiliza el siguiente procedimiento:

$$Q/A = SV/A = BHV/A = BHV/(BL) = HV/L$$

$$L = HV/(Q/A)$$

$$\frac{Q}{A} = \text{tasa de remoción de partículas} = 1200 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

$$H = \text{tirante (m)}$$

$$V = \text{velocidad horizontal} = 0,3 \text{ m/seg} = 25,920 \text{ m/día}$$

$$L = \text{longitud del canal (m)}$$

Por lo tanto

$$L = 25920 * H/1200 = 21.6H < 25H \checkmark \text{ Aceptado}$$

Con el fin de lograr que las partículas se precipiten se debe mantener una velocidad constante menor a 0,30 metros/segundo a través del desarenador, por medio de un vertedero proporcional para cada desarenador. Cada vertedero proporcional consta de una plancha a través de la corriente con una abertura para la descarga libre del agua.

El vertedero se diseñará como tipo sutro, en el cual las dimensiones de la abertura pueden calcularse en forma tal que la razón Q/A en el estanque sea constante; es decir: la velocidad no cambiará aunque el nivel varíe según el gasto.⁷ La altura de su base se debe diseñar para un caudal menor del mínimo, o sea menor a 3,32 l/seg. Para calcular tanto el ancho, como la altura de esta base utilizamos la siguiente fórmula:

$$Q = 2,74 * a^{1/2} b(H - a/3)$$

$$Q = \text{caudal menor que el mínimo (se asumirá } 3,0 \text{ l/seg} = 0,003 \text{ m}^3/\text{seg)}$$

⁷ BARNES, George. *Tratamiento de aguas negras y desechos industriales*. p. 39.

a = altura de la base del vertedero (m)

b = ancho de la base del vertedero (m)

H = altura de agua (para el caudal menor que el mínimo se asumirá H = a)

Por lo tanto

$$0,003 = 2,74(a)^{1/2}b(a - a/3) = 2,74^{1/2}b(2 * a/3) = 1,827^{1/2}a^{3/2}b$$
$$0,00164 = a^{3/2}b$$

Se asume a = 0,05 m,

$$0,00164 = 0,05^{3/2}b$$
$$b = 0,147 \text{ m}$$

Chequeo del tirante y ancho máximos para el caudal máximo

$$H = \frac{a}{3} + \left(\frac{Q}{2,74a^{1/2}b} \right) = \frac{0,05}{3} + \frac{0,02518}{2,74 * 0,05^{1/2} * 0,147}$$
$$H = 0,296 \text{ m}$$
$$B = Q/(VH) = 0,02518/(0,3 * 0,296)$$
$$B = 0,284 \text{ m}$$

Por lo tanto, se puede encontrar el largo del desarenador con la relación

$$L = 25H = 25 * (0,296) = 7,4 \text{ m}$$

Diseño de la tolva: es la parte del fondo del desarenador donde se acumula la arena al precipitarse, por lo general se diseña de manera trapezoidal, con una altura de aproximadamente 10 cm con un ángulo de 45°.

Por lo tanto, si el ancho del desarenador es de 28,4 cm, la parte superior de la tolva será de ese mismo ancho y la parte inferior se reduce en 10 cm de cada lado por ser ángulo de 45°, o sea será de 8,4 cm. Para América Latina el parámetro de retención de arena en época lluviosa en un desarenador es de 30 a 40 litros material por 1000 m³ de caudal. Se asumirá un promedio de 35 lts/1000 m³. Por lo tanto:

$$Q = 10,7161 \text{ l/s} = 925,87 \text{ m}^3/\text{día} = 0,926 \text{ miles m}^3/\text{día}$$

$$\text{Arena retenida} = 35 \text{ lts/mil m}^3 * 0,926 \text{ mil m}^3/\text{día}$$

$$\text{Arena retenida} = 32,4 \text{ litros/día} = 0,0324 \text{ m}^3/\text{día}$$

Para calcular el período de limpieza de la tolva del desarenador en uso, se debe calcular el volumen de esta, para luego establecer en cuántos días se llenará según la retención diaria de arena calculada. Por lo tanto:

$$\text{Volumen tolva} = \text{Área tolva trapezoidal} * \text{Longitud del desarenador}$$

$$\text{Vol} = h(b_1 + b_2)/2 * L = 0,1\text{m}(0,284 + 0,084)/2 \text{ m} * 7,4 \text{ m} = 0,1362 \text{ m}^3$$

$$\text{Período de limpieza} = \text{Volumen}/ \text{Arena retenida} = 0,1362 \text{ m}^3/0,0324\text{m}^3/\text{día}$$

$$\text{Período de limpieza} = 5 \text{ días}$$

Diseño del vertedero tipo sutro: como se estimó anteriormente, la base del vertedero y la altura de la base son de 0,147 m y 0,05 m, respectivamente; por lo que se estimarán a continuación los valores de la abertura parabólica en dirección del eje “x”, para cada altura “y”. El factor de forma del vertedero se calcula a partir del caudal máximo de la siguiente forma:

$$Q_{\text{Max}} = 0,02518 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$K = Q_{\text{Max}} / (4,2h) = 0,02518 / (4,2 * 0,296) = 0,0203$$

El valor para la abertura (x) del vertedero para cada valor de “y” se obtiene por medio de la fórmula $X = K/y^{1/2}$. El caudal de aproximación diferencial será obtenido según la fórmula $Q = 4,2 Ky$, mientras que el área para cada valor de “y” se obtendrá con la multiplicación del mismo y el ancho del vertedero (0,284 m). El resumen de los datos mencionados se representa en el siguiente cuadro, así como la verificación de la velocidad constante de aproximación.

Tabla VI. **Resumen de caudal**

Y (m)	X = K/y^{1/2} (m)	Q = 4,2 KY (m³/s)	A = 0,284Y (m²)	V = Q/A (m/s)
0,296	0,0372	0,02524	0,084	0,30
0,25	0,0406	0,02132	0,071	0,30
0,20	0,0454	0,01705	0,0568	0,30
0,15	0,524	0,01279	0,0426	0,30
0,10	0,642	0,00853	0,0284	0,30
0,05	0,0908	0,00426	0,142	0,30
0,025	0,1284	0,00213	0,0071	0,30

Fuente: elaboración propia.

2.2.2.3. Caja distribuidora de caudal

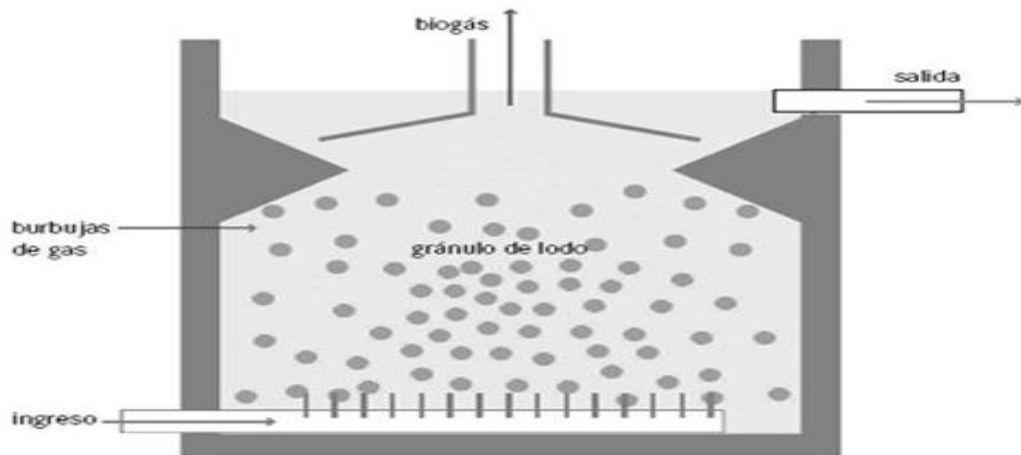
Para el caudal proveniente del desarenador se deberá proyectar una caja distribuidora para repartir el caudal de forma ecuánime a los cuatro reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFAS) que se encuentran a continuación en el proceso de tratamiento.

2.2.2.3.1. Reactores anaeróbicos de flujo ascendentes (RAFAS)

Para esta planta se utilizarán reactores anaeróbicos de flujo ascendente por ser estos la alternativa más conveniente para las características de la planta por las siguientes razones:

- La topografía del lugar escogido para la planta tiene las pendientes necesarias para este elemento, ya que el caudal fluye por gravedad, y este elemento no requiere de bombas para impulsar el efluente.
- Se cuenta con suficiente área para una planta de este tipo, ya que las plantas paquete son ideales para las condiciones en que ni el área ni la pendiente son las adecuadas.
- No consume energía eléctrica.
- No requiere de personal calificado para su funcionamiento, funcionan por sí solos.
- Como productos del tratamiento se obtiene metano, el cual es un gas con un alto valor energético.

Figura 15. Reactores anaeróbicos de flujo ascendente



Fuente: *Alianza por el agua*. <http://alianzaporelagua.org/infografias-de-alianza-por-el-agua.html>.
Consulta: enero de 2016.

Cada reactor deberá diseñarse para la cuarta parte del caudal total medio = 10,7161 litros/segundo $10,7161 / 4$ litros/seg = 2,68 litros/seg = 0,00268 m³/seg. Todos los reactores serán de idénticas dimensiones entre sí. El período de retención para cada reactor es aproximadamente de 8 horas para reactores de alta eficiencia.⁸ Para este caso se asumirá una planta cuadrada de dimensiones 4,4m x 4,4m, o sea, con un área en planta de 19,36 m². El volumen de cada reactor se calcula a partir del caudal diario destinado para cada reactor y el período de retención. Por lo tanto

$$\text{Vol} = Q * \text{P. de retención} = 0,00268 \text{ m}^3/\text{seg} * 8 \text{ horas} * 3600 \text{ seg} / 1 \text{ hora}$$
$$\text{Vol} = 77,18 \text{ m}^3$$

⁸ BAUBAGES, Gabriel; GARCÍA SERRANO, Joan. *Diseño, construcción y explotación de reactores anaerobios de flujo ascendente* (RAFA). p. 32.

La profundidad efectiva de cada reactor puede calcularse con el volumen obtenido y el área adoptada de la siguiente forma:

$$H = \text{Vol}/\text{Área} = 77,18 \text{ m}^3 / 19,36 \text{ m}^2 = 3,99 \text{ metros}$$

El caudal de entrada deberá repartirse en el fondo por medio de tuberías difusoras. Cada tubería debe repartir caudal a un área máxima de 4 a 5 metros cuadrados, según especificaciones. Por lo tanto, se diseñará para 6 tuberías, cada una de las cuales repartirá a un área de $19,36/6 = 3,23 \text{ m}^2$, lo cual es menor que el límite máximo. La tasa superficial de escurrimiento deberá ser menor a $20 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, la cual se calcula dividiendo el caudal de cada reactor dentro del área del mismo. Por lo tanto

$$\text{Esc} = Q/A = 0,00268 \text{ m}^3/\text{seg} * \left(86,400 \frac{\text{seg}}{\text{día}}\right) / 19,36 \text{ m}^2 = 12 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

En la salida de cada reactor se debe diseñar un vertedero, de manera de que el caudal unitario sea menor a 1,5 litros/seg/lineal. El caudal unitario se obtiene dividiendo el caudal dentro de la longitud del vertedero.

$$Q_{\text{unit}} = Q/L = 2,68 \text{ l/s} / 4,4 \text{ m} = 0,61 \text{ l/seg/m. lineal}$$

$$Q_{\text{unit}} = 0,61 \text{ litros / segundo / metro lineal} < Q_{\text{unit}} \text{ máximo} = 1,5 \text{ lit / seg / m. lineal}$$

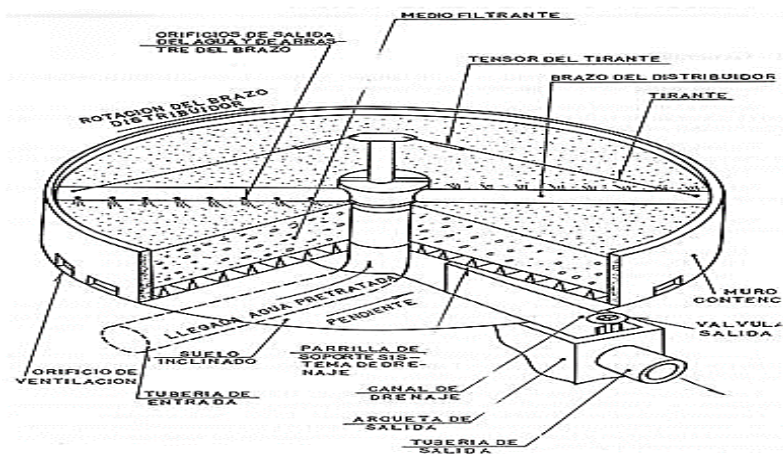
El biogás producido no generará mal olor por el tipo de plata que se utilizara, por lo que el tratamiento y las etapas para eliminar el mismo no son necesarios en este caso en particular. En el anexo 1 están descritas las formas en que este biogás pudiera aprovecharse. Para la situación de la empresa, la forma más factible para utilizar el biogás sería en la cafetería, con la adaptación de las estufas comerciales de gas propano a biogás, lo que traería consigo un ahorro considerable al disminuir el consumo de gas propano.

2.2.2.3.2. Filtros percoladores

Se proyectará un filtro percolador por cada reactor, es decir, cuatro filtros. El caudal depurado de cada RAFA será conducido a su respectivo filtro, como puede verse en el esquema de conjunto. Cada filtro funcionará con el mismo caudal con el que operará su respectivo RAFA. Los efluentes de cada filtro se reunirán en una sola caja para ser conducidos a un sedimentador final y posteriormente a los pozos de infiltración.

Los filtros percoladores sin recirculación pueden tratar una carga orgánica entre 80 y 400 gramos/m³ roca/día y una carga hidráulica entre 1 y 4 m³/m²/día. En la actualidad se utiliza con frecuencia la recirculación en los filtros promedio de una bomba que impulsa el efluente del filtro de regreso a la entrada del mismo para lograr una mayor eficiencia. Los filtros con recirculación pueden tratar cargas orgánicas entre 400 y 4,800 gramos/m³ /roca/ día y cargas hidráulicas entre 8 y 40 m³/m²/día.

Figura 16. Partes de filtro percolador



Fuente: Miliarium. <http://www.miliarium.com>. Consulta: febrero de 2016.

Los filtros percoladores se diseñarán para las cargas mencionadas anteriormente (filtros sin recirculación). La profundidad de los filtros se obtendrá por medio de la carga orgánica, pero no podrá ser menor a 1,50 metros. Se adoptarán valores para las cargas orgánica e hidráulica promedio entre los límites establecidos. Por lo tanto

$$\text{Carga orgánica} = 240 \text{ gr} / \text{m}^3 \text{ roca} / \text{día} = 0,24 \text{ Kg.} / \text{m}^3 \text{ roca} / \text{día}$$

$$\text{Carga hidráulica} = 3,5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{día}$$

Dimensiones para carga hidráulica

$$\text{Caudal medio total para cada filtro} = 231,47 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$\text{Área superficial} = 231,47 \text{ m}^3 / \text{día} / 3,5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{día} = 66 \text{ m}^2$$

Por lo tanto se adopta un filtro de 8,13 m X 8,13 m, lo cual proporciona un área de 66,1 m². La carga hidráulica real será entonces 231,47 m³/día / 66,1 m² = 3,502 m³/m²/día.

Dimensiones para carga orgánica

$$\text{Carga a remover por los filtros} = 50,00 \frac{\text{Kg}}{\text{Día}}$$

$$\text{Carga por cada filtro} = 50,00 \frac{\frac{\text{Kg}}{\text{día}}}{4} = 12,5 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

$$\text{Volumen} = 13,07 \text{ Kg} / \text{día} / 0,24 \text{ Kg} / \text{m}^3 \text{ roca} / \text{día} = 54,4 \text{ m}^3$$

$$\text{Profundidad} = 54,4 \text{ m}^3 / 66,1 \text{ m}^2 = 0,82 \text{ metros}$$

Para fines de comparación se proporcionarán los datos obtenidos si los filtros se diseñaran para que tengan recirculación.

Para esto se asumirá una carga hidráulica de 24 m³/m²/día y una carga orgánica de 2,000 gramos/m³ roca/día.

Área = 9,64 m², por lo tanto cada filtro sería de 3,1 m X 3,1 m.

Profundidad = 0,68 metros

El caudal será distribuido uniformemente por medio de 6 tuberías perforadas de PVC de 3" en la parte superior del filtro calculadas según la velocidad máxima de circulación: 0,30 metros/segundo.

Entonces, asumiendo una velocidad de circulación de 0,20 metros/segundo se obtiene el número de tuberías necesarias para un diámetro entré 3" (0,076 m) y 4" (0,1016 m) y las cuales trabajarían a media sección llena, según la siguiente relación.

$$A = \frac{Q}{V} = 0,00268 \frac{\frac{m^3}{seg}}{1} 0,20 \frac{m}{seg} = 0,0134 m^2$$

$$A = No. tub * \frac{\frac{\pi d^2}{4}}{2} = No. * \frac{\frac{\pi (0.076)^2}{4}}{2} = 0,00227 * No.$$

$$No. = \frac{A}{0,00227} = \frac{0,0134}{0,00227} = 6 \text{ tuberías}$$

Este caudal será captado en su parte inferior por 18 canales secundarios y conducidos a dos canales principales situados exteriormente.

2.2.2.3.3. Sedimentador final

El sedimentador final tiene como objeto remover parte de la DBO y los sólidos que aun han pasado. La tasa superficial usual en los sedimentadores es de $40 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ y el tiempo de retención es de 120 minutos⁹.

Por lo tanto, siendo el caudal total de $925,871 \text{ m}^3/\text{día}$:

$$A = 925,871 \text{ m}^3/\text{día} / 40 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

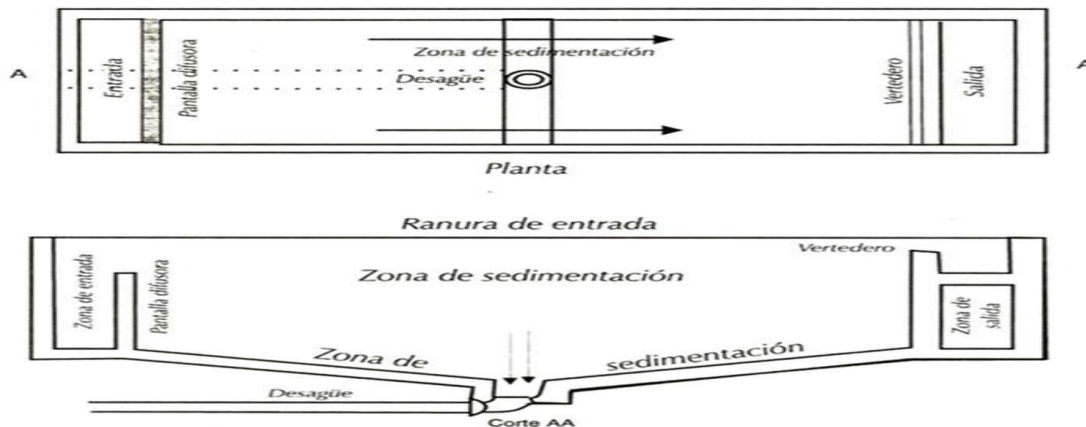
$A = 23,15 \text{ m}^2$, por lo tanto se adoptará un sedimentador de $4,81 \text{ m} \times 4,81 \text{ m}$.

Volumen = caudal * período de retención

$$\text{Vol} = 10,7161 \text{ litros/seg} \times 120 \text{ min} \times 60 \text{ seg/min} / 1,000 \text{ litros/m}^3 = 77,16 \text{ m}^3$$

$$\text{Profundidad} = \frac{\text{volumen}}{\text{àrea}} = \frac{77,16 \text{ m}^3}{23,15 \text{ m}^2} = 3,33 \text{ metros.}$$

Figura 17. Sedimentador



Fuente: Google. <http://repositorio.sena.edu.co/>. Consulta: enero de 2016.

⁹ YÀNEZ, Fabián. *Programa de desarrollo tecnológico en el campo de tratamiento de aguas residuales en Guatemala*. p. 70.

Como se mencionó anteriormente, antes del sedimentador final, se deberá proyectar una caja compuerta, cuya función será hacer funcionar un *by-pass*, para fines de mantenimiento de este.

Es recomendable construir un digestor después del sedimentador, ya que de este se extraerán lodos, los cuales antes de pasar al proceso de secado, deben estabilizarse debido a que el filtro percolador contribuye a estabilizar el efluente pero no los lodos.

2.2.2.4. Secado de lodos

Los lodos que se extraen de las distintas fases de tratamiento consisten de 80-99 % de agua por peso, en los cuales se concentran los patógenos, con lo cual es necesario un tratamiento o estabilización para reducir los patógenos y eliminar olores que resulten ofensivos.

El tratamiento para estabilizar los lodos consiste en aplicar ya sea químicos o una combinación entre tiempo y temperatura para la remoción o transformación de los patógenos y los componentes orgánicos que puedan producir los malos olores. Una vez tratados se dispone de un proceso para secar el agua en exceso para facilitar el reuso o disposición final. Existen distintas manera de tratar los lodos, a continuación se describen algunas de las opciones.

2.2.2.4.1. Digestión anaerobia

Consta de un proceso de descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno; la metodología consiste en introducir el lodo

en un tanque cerrado y en el cual liberará gas (principalmente metano). Este se calienta a través de un intercambio de calor externo.

2.2.2.4.2. Tratamiento con cal

Si el volumen de los lodos es poco y no se cuenta con suficiente espacio para secarlos o se encuentra cerca de una zona urbana, se toma la alternativa de esterilización con alteración de pH con cal, con la finalidad de elevar el pH a los lodos a 12 por 30 minutos.

2.2.2.4.3. Compostaje con residuos orgánicos

Se mezcla los lodos como basura orgánica en un proceso de compostaje; con esto se genera una acción exotérmica (70 °C) de las bacterias, liberando a los mismos de los agentes patógenos.

2.2.2.4.4. Patio de secar

Es la forma de tratamiento de lodos más sencillo, ya que el lodo tiene mucho contenido líquido; se coloca este en una plataforma de ladrillo; la base está conformada por diferentes tipos de suelos con la función de filtrar el residuo líquido de los lodos.

Empleando la radiación solar se deshidratan los lodos hasta que se vuelvan sólidos, este sistema dependiendo de factores como la temperatura solar, intensidad de lluvias, humedad de los suelos y la ubicación, tendrá un periodo de secado que varía de 3 a 6 meses.

2.2.2.4.5. Reuso de lodos

El lodo ya tratado y estabilizado que se genera puede ser valioso como fuente de nutrientes y como acondicionador del suelo, puede tener aplicación en la agricultura como fertilizante.

La ventaja que brinda es que permite una mayor retención de la humedad, adiciona al suelo los nutrientes necesarios para las plantas y facilita su retención; además de incrementar la actividad biológica del suelo y con su uso disminuir la aplicación de fertilizantes químicos.

2.2.2.4.6. Lecho de secado

Se deberá proyectar dos lechos de secado de lodos, uno para los RAFAS y el otro para el tanque de sedimentación final. El parámetro de diseño comúnmente utilizado es de 0,05 m²/hab, o bien se utiliza el volumen de cada reactor dejando una altura de agua sobre la superficie del lodo de 40 cm antes de extraerlo y dejando un 20 % de los lodos sin extraer, para que ese lodo sirva para degradar los lodos nuevos que entren al reactor. Cuando se utiliza el parámetro de 0,05 m²/hab/día, el lecho del reactor se diseña al final dividiendo el volumen dentro del número de reactores, porque todos los reactores utilizan el mismo lecho de secado pero en diferentes épocas, empleando por lo general períodos de 15 días para cada uno.

El área en planta que ocupa cada lecho de secado al utilizar el parámetro de 0,05 m²/hab se obtiene así:

$$\text{Área} = 0,05 \frac{\text{m}^2}{\text{hab}} * \text{habitantes} = 0,05 \frac{\text{m}^2}{\text{hab}} * 22,932 \text{ hab} = 1,147 \frac{\text{m}^2}{4}$$

$$A = 287 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, si se diseña de forma cuadrada, los lechos de secado de lodos medirán 17 m X 17 m.

El área en planta que se necesita si se diseñan los lechos, según el volumen de los reactores, se obtiene dejando una capa de 30 centímetros de secado, de manera que las dimensiones de los lechos se calcularían así:

$$\text{Altura} = \text{altura reactor} - 40 \text{ centímetros de agua} = 3,99 - 0,4 = 3,59 \text{ m}$$

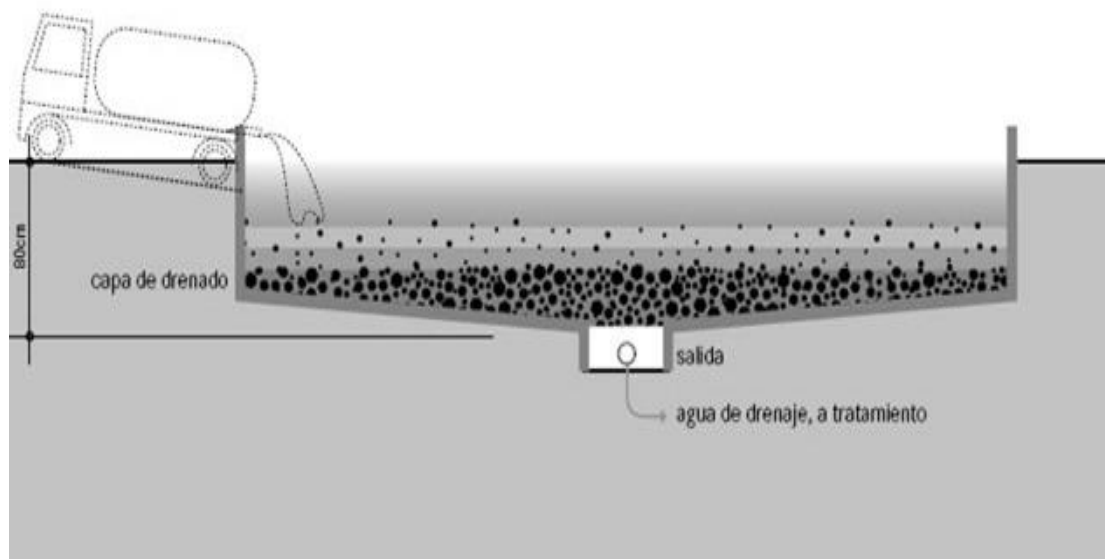
$$\text{Volumen} = \text{area} * \text{altura} = 19,36 * 3,59 = 69,5 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen a extraer} = \text{volumen lodos} - 20 \% = 69,5 - 13,9 = 55,6 \text{ m}^3$$

$$\text{Área de secado} = \text{Volumen} / 0,3 \text{ metros} = 185 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, los lechos serán de forma cuadrada de 13,6 m X 1,6 m.

Figura 18. **Lecho de secado**



Fuente: Google. <http://repositorio.sena.edu.co/>. Consulta: enero de 2016.

Se utilizará este método por ser el que da una solución con la menor área posible. Para efectuar la extracción de los lodos se dejará prevista una rampa de acceso vehicular, para que sea posible el ingreso de bombas a la hora de ser necesaria una limpieza. El volumen de lodos calculado en este inciso da una idea del tamaño del digestor que se debe proyectar después del sedimentador final, de la siguiente manera:

$$\text{Volumen de lodos} = 55,6 \text{ m}^3$$

$$\text{Para un digestor cúbico: } 3\sqrt{55,6} \approx 4 \text{ m}$$

Por lo tanto, puede proyectarse un digestor de 4 m x 4 m x 4 m.

2.2.3. Análisis de costos

A continuación se presenta un análisis de los costos directos en que la empresa tendría que incurrir para construir la planta propuesta, con base en costos unitarios calculados por aparte. Para construir la planta propuesta se necesita conformar distintas plataformas donde estarán ubicados los diferentes elementos de la planta. Por métodos gráficos se determinó que el volumen total de movimiento de tierras necesario para este fin es de 4 877,3 m³.

Tabla VII. Costo de movimiento de tierras

Concepto	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Total
Movimiento de tierras	4 877,30	m ³	Q 40,00	Q 195 092,00
Total				Q 195 092,00

Fuente: elaboración propia.

Canal de rejillas: para la construcción del canal de rejillas se incurrieron en los siguientes costos.

Tabla VIII. **Costo de canal de rejas**

Concepto	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Total
Excavación	9,00	m ³	Q 35,00	Q 315,00
Losas	20,00	m ²	Q 23,00	Q 4 700,00
Acabados	20,00	m ²	Q 80,00	Q 1 600,00
Rejilla	1,00	Unidad	Q 840,00	Q 840,00
Ayudante	20,00	Jornal	Q 50,00	Q 1 000,00
Total				Q 8 455,00

Fuente: elaboración propia.

Desarenado: para la construcción del desarenador se incurrieron en diversos costos, los cuales se detallan a continuación:

Tabla IX. **Costo desarenador**

Concepto	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Total
Excavación	25,00	m ³	Q 35,00	Q 875,00
Losas	59,00	m ²	Q 235,00	Q 13 865,00
Acabados	59,00	m ²	Q 80,00	Q 4 720,00
Rejilla	2,00	Unidad	Q 560,00	Q 1 120,00
Ayudante	24,00	Jornal	Q 50,00	Q 1 200,00
Total				Q 21 780,00

Fuente: elaboración propia.

Reactores anaeróbicos de flujo ascendente: para construir cada RAFA se requieren diversos costos, se detallan a continuación:

Tabla X. Costo RAFA

Concepto	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Total
Excavación	78,00	m ³	Q 35,00	Q 2 730,00
Losa superior	20,00	m ²	Q 235,00	Q 4 700,00
Acabados de losa superior	20,00	m ²	Q 80,00	Q 1 600,00
Levantado de <i>block</i>	70,00	m ²	Q 194,00	Q 13 580,00
Acabados de <i>block</i>	140,00	m ²	Q 80,00	Q 11 200,00
Pantallas	4,40	m ²	Q 235,00	Q 1 034,00
Acabados	4,40	m ²	Q 80,00	Q 352,00
Losa inferior	19,36	m ²	Q 235,00	Q 4 549,60
Acabados en losa inferior	19,36	m ²	Q 80,00	Q 1 548,80
Relleno compactado	56,00	m ³	Q 75,00	Q 4 200,00
Cajas exteriores	16,00	m ²	Q 235,00	Q 3 760,00
Válvula de compuerta	1,00	Unidad	Q 4200,00	Q 4 200,00
Losa de canales	4,35	m ²	Q 235,00	Q 1 022,25
Acabados de canales	4,35	m ²	Q 80,00	Q 348,00
Tubería de 4"	30,00	ml	Q 35,00	Q 1 050,00
Tubería de 8"	6,00	ml	Q 75,00	Q 450,00
Tee sanitaria de 4"	6,00	Unidad	Q 35,00	Q 210,00
Codos PVC de 4"	1,00	Unidad	Q. 28,00	Q 28,00
Tee sanitaria de 8"	1,00	Unidad	Q 380,00	Q 380,00
Codos PVC de 8"	1,00	Unidad	Q 360,00	Q 360,00
Pegamento	1,00	Global	Q 100,00	Q 100,00
Otros	1,00	Global	Q 500,00	Q 500,00
Mano de obra PVC	1,00	Global	Q 5 70,00	Q 5 470,60
Losas de vertedero	3,80	m ²	Q 235,00	Q 893,00
Acabados de vertedero	3,80	m ²	Q 80,00	Q 304,00
Muros fundidos	21,00	m ²	Q 235,00	Q 4 935,00
Maestro de obra	54,00	Jornal	Q 140,00	Q 7 560,00
Ayudante	54,00	Jornal	Q 50,00	Q 2 700,00
Total				Q 79 765,25

Fuente: elaboración propia.

Filtros percoladores: para construir cada filtro percolador se requieren diversos temas a tomar en cuenta, a continuación se detallan cada uno de los que se requieren:

Tabla XI. Costo filtros percoladores

Concepto	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Total
Excavación	132,00	m ³	Q 35,00	Q 4 620,00
Losas	132,00	m ²	Q 235,00	Q 31 020,00
Acabados de losa superior	132,00	m ²	Q 80,00	Q 10 560,00
Levantado de <i>block</i>	48,00	m ²	Q 194,00	Q 9 312,00
Acabados de <i>block</i>	48,00	m ²	Q 80,00	Q 3 840,00
Muro de contención	24,00	m ²	Q 245,00	Q 5 880,00
Acabados en muro	24,00	m ²	Q 80,00	Q 1 920,00
Válvula de compuerta de 6"	2,00	Unidad	Q 4 200,00	Q 8 400,00
Losa de canales	35,00	m ²	Q 235,00	Q 8 225,00
Acabado de canales	35,00	m ²	Q 80,00	Q 2 800,00
Tubería de concreto perforada	72,00	ml	Q 100,00	Q 7 200,00
Piedra bola	90,00	m ³	Q 160,00	Q 14 400,00
Tubería de 6"	6,00	ml	Q 65,00	Q 390,00
Tee sanitaria de 6"	1,00	Unidad	Q 154,00	Q 154,00
Codos PVC 6"	4,00	Unidad	Q 140,00	Q 560,00
Tubería de 3"	51,00	ml	Q 20,00	Q 1 020,00
Pegamento	1,00	Global	Q 100,00	Q 100,00
Otros	1,00	Global	Q 500,00	Q 500,00
Mano de obra PVC	1,00	Global	Q 4 630,80	Q 4 630,80
Maestro de obra	56,00	Jornal	Q 140,00	Q 7 840,00
Ayudante	56,00	Jornal	Q 50,00	Q 2 800,00
Total				Q 126 171,80

Fuente: elaboración propia.

Lechos de secado de lodos: para construir cada lecho de, se incurren diversos costos, los cuales, se realizarán una vez, debido a que se tendrá para próximas producciones:

Tabla XII. **Costo secado de lodos**

Concepto	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Total
Excavación	196,00	m ³	Q 35,00	Q 6 860,00
Losas	185,00	m ²	Q 235,00	Q 43 475,00
Acabados de losas	185,00	m ²	Q 80,00	Q 14 800,00
Levantado de concreto	110,00	m ²	Q 235,00	Q 25 850,00
Acabado en paredes	110,00	m ²	Q 80,00	Q 8 800,00
Arena	55,00	m ³	Q 85,00	Q 4 675,00
Piedrín	110,00	m ³	Q 150,00	Q 16 500,00
Losa de canales	14,00	m ²	Q 235,00	Q 3 290,00
Acabado de canales	14,00	m ²	Q 80,00	Q 1 120,00
Tubería de 6"	20,00	ml	Q 65,00	Q 1 300,00
Pegamento	1,00	Global	Q 100,00	Q 100,00
Otros	1,00	Global	Q 200,00	Q 200,00
Ayudante	20,00	Jornal	Q 50,00	Q 1 000,00
Total				Q 127 970,00

Fuente: elaboración propia.

Sedimentador final: para construirlo se requiere de diversas actividades, las cuales se detallan a continuación:

Tabla XIII. **Costo sedimentador final**

Concepto	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Total
Excavación	77,00	m ³	Q 35,00	Q 2 695,00
Losas	46,00	m ²	Q 235,00	Q10810,00
Acabados de losas	46,00	m ²	Q 80,00	Q 3 680,00
Levantado de <i>block</i>	64,00	m ²	Q 194,00	Q 12416,00

Continuación de la tabla XIII.

Acabados en <i>block</i>	128,00	m ²	Q 80,00	Q 10 240,00
Válvula de compuerta de 6"	1,00	Unidad	Q 4 200,00	Q 4 200,00
Losa en canales	23,00	m ²	Q 235,00	Q 5 405,00
Acabados en canales	23,00	m ²	Q 80,00	Q 1 840,00
Tubería de 10"	10,00	MI	Q 96,00	Q 960,00
Pegamento	1,00	Global	Q 50,00	Q 50,00
Otros	1,00	Global	Q 200,00	Q 200,00
Mano de obra PVC	1,00	Global	Q 2 057,60	Q 2 057,60
Ayudante	30,00	Jornal	Q 50,00	Q 1 500,00
Total				Q 56 053,60

Fuente: elaboración propia.

Digestor: para construir el digestor se requieren de diversas actividades, las cuales se detallan en la tabla siguiente:

Tabla XIV. **Costo digestor**

Concepto	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Total
Excavación	70,00	m ³	Q 35,00	Q 2 450,00
Losas	32,00	m ²	Q 235,00	Q 7 520,00
Acabados de losas	32,00	m ²	Q 80,00	Q 2 560,00
Levantado de <i>block</i>	64,00	m ²	Q 194,00	Q 12 416,00
Acabados en <i>block</i>	128,00	m ²	Q 80,00	Q 10 240,00
Tubería de 6"	6,00	MI	Q 65,00	Q 390,00
Pegamento	1,00	Global	Q 50,00	Q 50,00
Otros	1,00	Global	Q 100,00	Q 100,00
Mano de obra PVC	1,00	Global	Q 918,00	Q 918,00
Ayudante	20,00	Jornal	Q 50,00	Q 1 000,00
Total				Q 37 644,00

Fuente: elaboración propia.

Pozos de visita: para los pozos de visita, se requieren diversas actividades y suministros los cuales se detallan a continuación:

Tabla XV. **Costo pozos de visita**

Concepto	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Total
Perforación	40,00	Varas	Q 100,00	Q 4 000,00
Tubería de 10"	85,00	MI	Q 96,00	Q 8 160,00
Codo de 10"	7, 00	Unidad	Q 480,00	Q 3 360,00
Mano de obra PVC	1,00	Global	Q 19 584,00	Q 19 584,00
Ayudante	20,00	Jornal	Q 50,00	Q 1 000,00
Total				Q 36 104,00

Fuente: elaboración propia.

Otros costos: existen diversos costos, y no existen un concepto directo al cual cargarlos; este costo, se detalla a continuación.

Tabla XVI. **Otros costos**

Concepto	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Total
Caja distribuidora	1,00	Unidad	Q 9 800,00	Q 9 800,00
Interconexiones de 8"	40,00	MI	Q 75,00	Q 3 000,00
Cajas exteriores	4,00	Unidad	Q 310,00	Q 1 240,00
Excavación	40,00	MI	Q 35,00	Q 1 400,00
Cunetas	170,00	MI	Q 95,00	Q 16 150,00
Rampa para extracción	451,00	m ²	Q 390,00	Q 175 890,00
Pegamento	1,00	Global	Q 50,00	Q 50,00
Otros	1,00	Global	Q 500,00	Q 500,00
Ayudante	25,00	Jornal	Q 50,00	Q 1 250,00
Transporte	12,00	Camión	Q 800,00	Q 9 600,00
Total				Q 218 880,00

Fuente: elaboración propia.

A continuación se detallan los costos totales del proyecto, los cuales se debieron al lanzamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales en la fábrica Malher, S. A.

Tabla XVII. **Costo total de planta de tratamiento de aguas residuales**

Renglón	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Total
Movimiento de tierras	1,00	Global	Q 195 092,00	Q 195 092,00
Canal de rejillas	1,00	Unidad	Q 8 455,00	Q 8 455,00
Desarenado	1,00	Unidad	Q 21 780,00	Q 21 780,00
Reactores anaeróbicos de flujo ascendente	4,00	Unidad	Q 79 765,25	Q 319 061,00
Filtros percoladores	4,00	Unidad	Q 126 171,80	Q 504 687,20
Lechos de secado de lodos	2,00	Unidad	Q 127 970,00	Q 255 940,00
Tanque de lavado de gases	1,00	Unidad	Q 9 136,40	Q 9 136,40
Sedimentador final	1,00	Unidad	Q 56 053,60	Q 56 053,60
Digestor	1,00	Unidad	Q 37 644,00	Q 37 644,00
Pozos de visita	1,00	Global	Q 36 104,00	Q 36 104,00
Otros	1,00	Global	Q 218 880,00	Q 218 880,00
Total				Q. 1 662 833,20

Fuente: elaboración propia.

Es necesario agregar a este costo directo el costo indirecto, el cual depende de varios factores que solo las autoridades de la empresa podrían determinar según las circunstancias en las cuales se construya la planta. El porcentaje de costos indirectos podría variar dentro de un rango del 30 % al 70 % del costo directo.

3. FASE DE INVESTIGACIÓN. AHORRO EN CONSUMO DE AGUA EN PLANTA MALHER, S. A.

A continuación se presenta la situación actual del consumo de agua en los sanitarios de la planta de producción de Malher, S. A., seguido de la propuesta para la minimización del mismo.

3.1. Situación actual de la empresa

Para conocer la situación actual del consumo de agua se lleva a cabo un control en metros cúbicos por parte del Departamento de Mantenimiento para verificar el consumo actual de las diferentes áreas en donde se prevé la minimización en el consumo, siendo estas áreas los baños de hombres y mujeres, cafetería, laboratorio de investigación y desarrollo, área de lavado de piezas, laboratorio sensorial, laboratorio fisicoquímico, laboratorio de microbiología, aduana de ingreso a la planta y el lavado de tarimas.

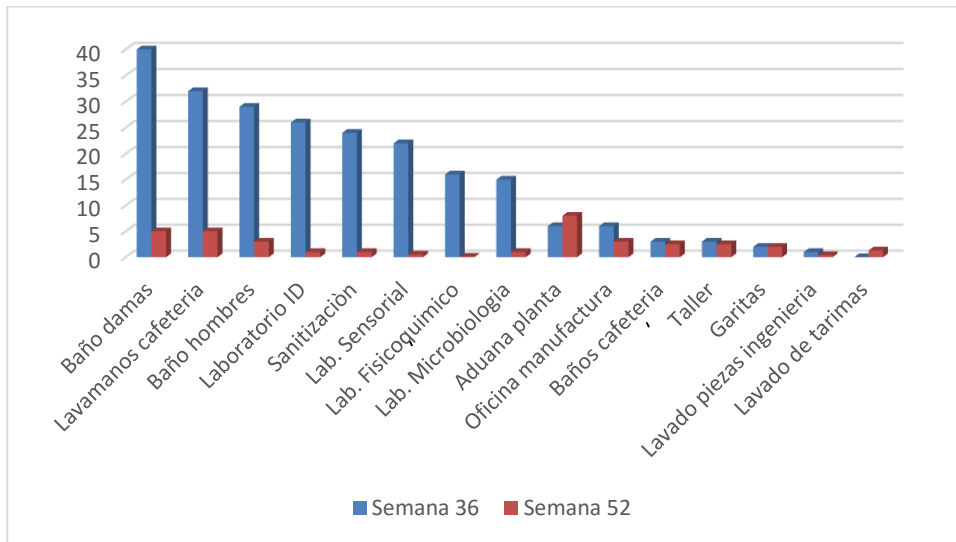
Para lo cual se realizó un diagnóstico como se puede apreciar en los puntos siguientes.

3.1.1. Diagnóstico y consumo

La siguiente figura muestra la gráfica del consumo comparativo de agua entre las semanas 36 y 52, mostrando las diferentes áreas en donde se encuentra su mayor consumo; es importante mencionar que estas áreas son utilizadas por una gran cantidad de la población que labora para la empresa.

Estos son los servicios sanitarios más concurridos, ya que los utilizan siete departamentos, están los del personal de manufactura.

Figura 19. **Gráfica del consumo de agua 2013**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

La gráfica de la figura 19 muestra que los picos más altos tanto para las áreas evaluadas se encuentran en las semana 36 en el baño de damas, cafetería y baño de hombres; para la semana 52 se pudo observar una disminución del consumo de agua, siendo los picos más altos el baño de hombres, sanitización y la aduana de la planta, que aunque son los más altos en estas áreas; también se visualiza una considerable reducción en el uso del agua; según información recabada en el mes de agosto se realizaron 3 capacitaciones por semana, a cargo de los bomberos, enfocadas a la extinción de fuego.

Dichas capacitaciones forman parte del curso de Bomberos Malher, S. A. impartido a todo el personal de la empresa, tanto operativo como administrativo,

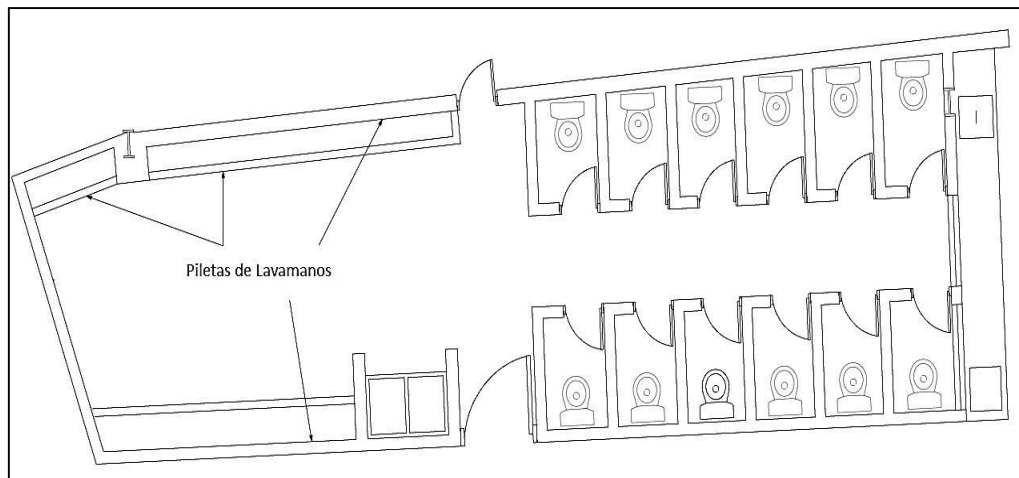
con el fin de tenerlos preparados para cualquier inconveniente que se genere en la planta y consiste en realizar simulacros de incendios en los cuales se llenan camiones a los que se les provee por medio de la tubería que alimenta los sanitarios, lo que generó mayor consumo de agua en dicho mes. Así también en la gráfica de la figura 19 se puede observar que el laboratorio de tarimas se mantuvo entre los picos más bajos, ya que disminuyó la demanda en muchos de los productos.

Se realizó un estudio acerca de la utilización del agua de los sanitarios de la planta de producción. Se dividió en tres puntos principales:

- Lavamanos
- Inodoros
- Duchas

Teniendo su distribución de la siguiente manera:

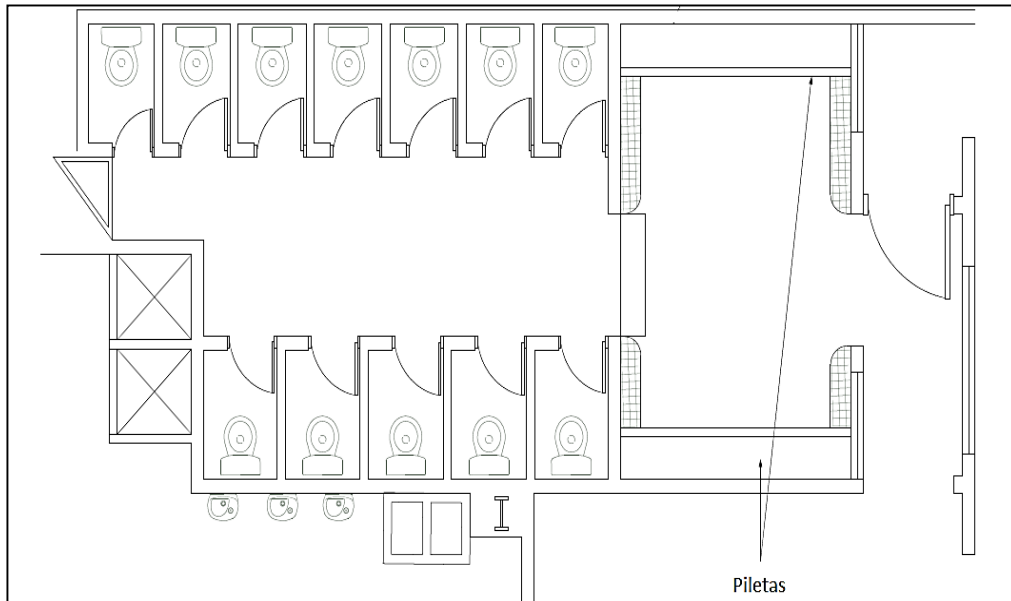
Figura 20. **Sanitarios de caballeros**



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk 3D.

Tal como se puede ver en la figura 20, el baño de caballeros consta de 10 lavamanos, 12 inodoros y 15 duchas ubicadas en los vestidores a 2 m de la entrada del baño.

Figura 21. **Sanitario de damas**



Fuente: elaboración propia, empleando Autodesk 3D.

En la figura 21 se observa la distribución en el baño de damas, el cual cuenta con 9 lavamanos, 12 inodoros y 12 duchas ubicadas en los vestidores a 2 m de la entrada del baño.

3.1.2. **Costos actuales**

Los costos en los cuales se incurre con el consumo de agua para los sanitarios de la planta de producción están definidos por rangos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala.

Empagua ha establecido cinco rangos de consumo de agua: el primero, de 1 a 20 m³; el segundo: de 21 a 40 m³; el tercero de 41 a 60 m³; el cuarto de 61 a 120 m³ y el quinto, de 121 m³ en adelante. Los metros cúbicos consumidos, situados en un rango bajo también tienen un costo bajo, en tanto los que se sitúan en un rango alto, tienen un costo alto, dependiendo también de la categoría en la cual estén ubicados.

Para los usuarios situados en el primer rango (consumo de 1 a 20 m³ de agua) tienen un costo de Q. 1,12 por m³. En cambio para los usuarios situados en el quinto rango (mayor a 121 m³) tienen un costo de Q. 5,60 m³. Adicional al valor total que la empresa paga por el agua que consume, se genera un componente variable determinado por el rango de consumo, otros dos componentes: el valor del alcantarillado y el costo fijo. El valor de alcantarillado es un valor proporcional del 20 % sobre el costo del agua (según el rango) y el costo fijo, que es siempre y en cualquier caso de Q 16,00.

A nivel general, Empagua ha publicado una tabla en la cual se incluyen los rangos y costos según el consumo de cada usuario:

Tabla XVIII. **Precio de servicio de agua por rangos de consumo**

Rango por consumo (m³)	Precio x m³ (no incluye IVA)	(+) Alcantarillado sobre total de consumo	(+) CARGO FIJO (no incluye IVA)
1 a 20	Q 1,12	20 %	Q 16,00
21 a 40	Q 1,76	20 %	Q 16,00
41 a 60	Q 2,24	20 %	Q 16,00
61 a 120	Q 4,48	20 %	Q 16,00
121 a más	Q 5,60	20 %	Q 16,00

Fuente: Municipalidad de Guatemala.

A continuación se detalla el consumo total por mes y los costos en los que incurrió la empresa en el 2013; es importante mencionar que por los datos presentados en la tabla XXXIV, la empresa se encuentran en el rango de (121 a más), por lo que el costo por metro cúbico de agua es de Q 5,60.

Tabla XIX. **Costos de consumo de agua, 2013**

CONSUMO ESTIMADO 2013						
Mes	Consumo	Costo	Costo (IVA incluido)	Alcantarillado	Costo fijo (IVA incluido)	Total
Enero	611	3 421,6	3 832,20	122,2	17,92	3 972,31
Febrero	645	3 612,0	4 045,44	129	17,92	4 192,36
Marzo	448	2 508,8	2 809,86	89,6	17,92	2 917,37
Abril	674	3 774,4	4 227,38	134,8	17,92	4 380,04
Mayo	803	4 496,8	5 036,41	160,6	17,92	5 214,93
Junio	818	4 580,8	5 130,49	163,6	17,92	5 312,01
Julio	926	5 185,6	5 807,87	185,2	17,92	6 010,99
Agosto	1266	7 089,6	7 940,35	253,2	17,92	8 211,47
Septiembre	665	3 724,0	4 170,88	133	17,92	4 321,80
Octubre	667	3 735,2	4 183,42	133,4	17,92	4 334,74
Noviembre	569	3 186,4	3 568,76	113,8	17,92	3 700,48
Diciembre	538	3 012,8	3 374,33	107,6	17,92	3 499,85
Total	8 630	4 832,8	54 127,36	1726	215,04	56 068,40

Fuente: elaboración propia.

La tabla XIX detalla el consumo mensual, donde se denota que el pico más alto se dio en el mes de agosto; posteriormente a este mes se ha venido a la baja; esto se debió a que en esta época del año las máquinas se programaron menos por el Departamento de Planificación, por lo que no se mantenía el mismo volumen de personal en la planta.

3.1.3. Análisis de datos

Para conocer el consumo de agua de los puntos anteriormente mencionados (lavamanos, inodoros y duchas) de los sanitarios, se lleva a cabo una encuesta donde participaron 122 colaboradores de los 210 de la planta de producción.

Las encuestas fueron numeradas para facilitar la tabulación y distinguir a qué área se encuestó; a continuación se muestra la distribución utilizada para las encuestas.

Tabla XX. **Distribución de encuestas**

Departamento	Núm. de encuesta
Mantenimiento	1 al 14
Manufactura	15 al 96
Calidad	97 al 105
Bodega	106 al 114
Investigación y desarrollo	115 al 122

Fuente: elaboración propia.

La encuesta utilizada para la recopilación de información se presenta a continuación.

Figura 22. Formato de encuesta

Núm. de encuesta _____

ENCUESTA SOBRE EL USO DEL AGUA

Uso de lavamanos

- ¿Cuántas veces al día se lava las manos? _____
- ¿Cuántas veces al día se lava la cara? _____
- ¿Cuántas veces se lava los dientes al día? _____
- ¿Lava usted algún tipo de utensilio (vaso, tazas, en los lavamanos)? Sí No

De ser afirmativa su respuesta a la pregunta anterior, ¿Cuántas veces lava los utensilios en el día? _____

Uso de inodoros

- ¿Cuántas veces utiliza el inodoro al día? _____

Uso de duchas

- ¿Se ducha usted dentro las instalaciones? Sí No

De ser afirmativa su respuesta a la pregunta anterior, ¿Cuántas veces se ducha en el día? _____

Fuente: elaboración propia.

Las respuestas de dicha encuesta se tabularon y los resultados fueron los siguientes.

Tabla XXI. Resultado de encuestas

Preguntas/respuestas	0	1	2	3	4	5	Total de encuestas
¿Cuántas veces al día se lava las manos?	0	0	0	7	45	70	122
¿Cuántas veces se lava los dientes al día?	0	0	18	104	0	0	122
¿Cuántas veces utiliza el inodoro al día?	0	0	49	66	7	0	122
¿Cuántas veces se ducha en el día?	119	3	0	0	0	0	122

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXI se pueden observar los servicios con mayor demanda, como: lavarse las manos, cepillarse los dientes y utilizar el inodoro. En función de esto y de la cantidad de litros de agua que consume cada actividad, se calcula el porcentaje de uso de agua de los 3 puntos principales, en los servicios sanitarios.

En la siguiente tabla se detalla el consumo promedio de agua en litros por actividad que se desarrolla en los sanitarios y duchas que se tienen para el uso del personal de las áreas antes mencionadas.

Tabla XXII. **Consumo de agua por actividad**

Actividad	Consumo de agua (litros)
Lavarse las manos	10
Lavarse los dientes	20
Uso de inodoro	18
Ducha de 5 minutos	100

Fuente: elaboración propia.

Los datos que se muestran en la tabla XXII, en las actividades de lavarse las manos, cara, dientes y utensilios, corresponden al consumo promedio de la actividad con la llave abierta.

En la siguiente tabla se muestra el consumo total de litros por punto principal de consumo de agua en servicios sanitarios, según los resultados de la encuesta.

Tabla XXIII. **Consumo de agua por punto principal**

Punto	Consumo en litros
Lavamanos	14 149
Inodoros	5 832
Duchas	300
Total	20 281

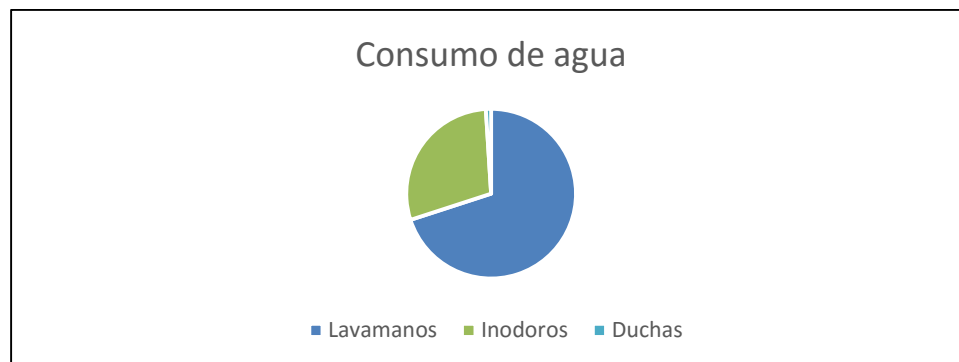
Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXIII se observa que el uso de lavamanos es el que tiene mayor demanda, luego los inodoros y por último las duchas, ya que rara vez se duchan en la empresa.

3.1.4. Resultados de datos

Con los datos presentados en la tabla XXXIX se puede calcular el porcentaje de consumo de agua de cada punto principal en los servicios sanitarios. A continuación los porcentajes en la siguiente gráfica (ver figura 23):

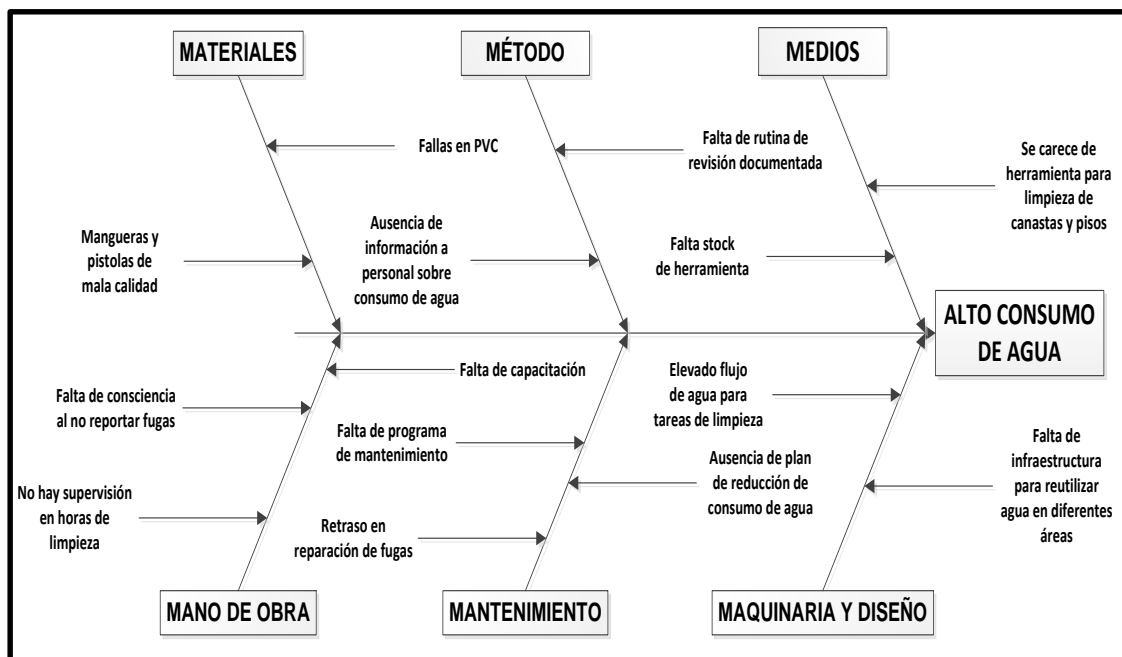
Figura 23. **Porcentaje de consumo de agua**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

La figura 23 muestra que el punto de mayor consumo de agua en los servicios sanitarios corresponde a los lavamanos con el 70 %; le sigue el uso de inodoros con el 29 % y el 1 % para la utilización de duchas. Esto se debe a la falta de conciencia ambiental del personal al lavarse las manos, la cara, los dientes o bien al lavar utensilios, ya que lo realizan con la llave abierta, lo que representa mayor consumo de agua. Para minimizar el consumo de agua se realizó un diagrama Ishikawa sobre los principales causales que puedan estar influyendo en el alto consumo de agua en la fábrica.

Figura 24. Diagrama Ishikawa de consumo de agua



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

Después de analizar el anterior diagrama, se determina que la causa raíz del problema es la falta de un plan de reducción de consumo de agua, teniendo como efecto cantidades elevadas en el consumo de la misma.

3.2. Propuesta de mejora

Con los costos que se tienen surge la necesidad de reducirlos para beneficio de la empresa y sobre todo disminuir el consumo de agua en beneficio principal para el medio ambiente.

De acuerdo con el resultado de la encuesta, el cual muestra un mayor consumo de agua en los lavamanos, se propone implementar los dispositivos con sensor, lo cual según las especificaciones, reduce en un 40 % el consumo actual; con esto se evitará la mala costumbre de dejar encendido el chorro.

Dada la certificación, este supuesto es de mucha importancia, ya que a corto plazo la empresa cumplirá con la reducción del consumo de agua y de esta manera se cumplirá satisfactoriamente con los requerimientos medioambientales solicitados por la Norma ISO 14001, para tener sin ningún problema la descertificación.

Esta propuesta se trabaja de acuerdo con el Departamento de Proyectos, ya que este es el encargado de emplear los recursos necesarios de una manera correcta, creando proyectos de mejora continua. Este departamento fue el encargado de solicitar cotizaciones y concretar con el proveedor más conveniente.

3.2.1. Objetivos del plan de reducción de consumo de agua

Los objetivos planteados dentro del proyecto para reducir el consumo de agua tienen como fin reducir el impacto negativo en el medio ambiente, y aprovechar los recursos naturales de la mejor forma posible, obteniendo beneficios para el planeta y también para la empresa; los mismos han sido

establecidos con la visión de ser una de las empresas con mejor desempeño en los programas ambientales que exige un Sistema de Gestión Ambiental; estos fueron establecidos y basados en la Norma ISO 14001:2004, los mismos se encuentran documentados como se muestra a continuación.

Tabla XXIV. **Objetivos del proyecto**

General <ul style="list-style-type: none">• Disminuir indicador de consumo general de agua en los procesos de producción de la planta.
Específicos <ul style="list-style-type: none">• Reducir consumo global de agua a los kilos procesados mensualmente, es decir, tonelaje versus consumo.• Reducir aparición de fugas en los diferentes equipos y tuberías de alimentación de agua.• Reutilizar agua desechada en áreas donde se necesita, esto como parte de acción junto con la planta de tratamiento de aguas residuales.• Crear registros para darle seguimiento a cualquier aparición y reparación de fugas.

Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Metas del plan de reducción de consumo de agua

Las metas son los principales medios para alcanzar los objetivos planteados en un determinado proyecto, por lo tanto, atendiendo los compromisos definidos en los proyectos ambientales se requiere monitorear y medir los resultados para la constante evaluación del proceso, que lleva al cumplimiento de los objetivos que se han fijado en aspecto ambiental de

reducción de consumo de agua; por lo tanto se establecen las metas documentadas en el Sistema de Gestión Ambiental (SGA).

Tabla XXV. **Metas de proyecto**

- Reducir el número de aparición de fugas subterráneas a 4 por año y su tiempo de reparación de 12 horas.
- Reducir en un 50 % el indicador de consumo por cada kilogramo procesado sobre el consumo actual, en un período de 6 meses de implementación del SGA.
- Reducir un 25 % el indicador de consumo en m³ sobre el consumo actual de 4,900 m³ mensuales en un período de 6 meses de implementación del SGA.

Fuente: elaboración propia.

3.2.2.1. Fugas frecuentes

En el momento que se inician las verificaciones para realizar el diagnóstico sobre el exceso de consumo de agua dentro de la planta, a través de sondeo de encuesta personal a aproximadamente 10 empleados sobre la existencia de fugas y otras interrogantes relacionadas, la información obtenida determina que la mayoría de personal tiene conocimiento de la incidencia constante de fugas; la información recopilada se puede observar en tabla XXVI.

Tabla XXVI. Encuesta sobre fugas frecuentes

Número de entrevistado	Aspecto que causa el alto consumo de agua	¿Avisa usted cuando hay fugas?	¿Se atiende con prontitud la reparación de las fugas?
1	Fuga	Sí	No
2	Barrer con agua	Sí	Ho
3	Herramientas de mala calidad	No	No
4	Fuga	Sí	No
5	Barrer con agua	Sí	Regular
6	Fuga	Sí	No
7	Fuga	Sí	A veces
8	Pistolas de mala calidad	No	No
9	Fuga	No	Regular
10	Fuga	No	No

Fuente: elaboración propia.

En el recorrido que se realizó en las distintas áreas, se puede observar que las fugas más comunes se encuentran en las herramientas y equipos de trabajo, tales como mangueras, pistolas y tuberías de alimentación de agua.

Se efectuó un sondeo en lugares donde es recurrente la existencia de fugas, donde se pudo verificar la existencia de varias de estas; se ha realizado una medición de la cantidad de agua perdida en las mismas; en el procedimiento se utilizaron las siguientes herramientas:

- *Beaker* de capacidad de 0,5 lts
- Cronómetro
- Libreta de apuntes
- Calculadora

La referencia de volumen medido para cada fuga es el mismo. Posteriormente se procedió a realizar los cálculos para obtener los resultados, los cuales se muestran en la tabla XXVII.

Tabla XXVII. **Auditoría de fugas**

Núm.	Lugar de fuga	Volumen	Tiempo	Litros por hora	Litros por día	Litros por mes
1	Manguera de desinfección	0,5 Lts	2 min 2 seg	14,15	1 698	5 094
2	Manguera en área norte	0,5 Lts	4 min 10 seg	7,19	8 628	2 588,4
3	Manguera para lavado de líneas	0,5 Lts	4 min 10 seg	7,19	17 256	5 176,8
4	Manguera de lavado de ollas	0,5 Lts	8 min	3,75	90	2 700
5	Fuga de llave	0,5 Lts	11 min 16 seg	2,66	3 192	957,6
6	Lavamanos baño de mujeres	0,5 Lts	38 min	0,79	1 896	568,8
7	Regadera vestidores de hombres	0,5 Lts	36 min 6 seg	0,83	19,92	597,6
8	Lavamanos en entrada de producción	0,5 Lts	50 min	0,6	14,4	432
9	Lavamanos en entrada de producción	0,5 Lts	3 min 50 seg	7,83	187,92	5 637,6
10	Lavado de botas	0,5 Lts	5 min	6,1	146,4	4 392
Totales				51,09	1 226,16	36 784,80

Fuente: elaboración propia.

Es importante mencionar que las fugas verificadas son aquellas que se encuentran visibles, pero se tiene en cuenta que el volumen de pérdida se

incrementa cuando las fugas son subterráneas o se presenta algún desperfecto en tuberías; a través del seguimiento de lectura de consumos durante enero del 2015, se puede observar en 4 días la diferencia de consumo en relación con los otros días; los mismos se señalan con flechas en la tabla XXVIII.

Tabla XXVIII. Registro de consumo de agua

Fecha	Lectura inicial	Lectura final	Consumo en m ³
01/01/2015	128 712	128 990	278 ←
02/01/2015	128 990	129 156	166
03/01/2015	129 156	129 297	141
04/01/2015	129 297	129 462	165
05/01/2015	129 462	129 619	157
06/01/2015	129 619	129 779	160
08/01/2015	129 779	130 070	291 ←
09/01/2015	130 070	130 290	220
10/01/2015	130 290	130 386	96
12/01/2015	130 516	130 567	51
13/01/2015	130 567	130 655	88
15/01/2015	130 655	130 959	304 ←
16/01/2015	130 959	131 135	176
17/01/2015	131 135	131 254	119
18/01/2015	131 254	131 273	19
19/01/2015	131 273	131 388	115
20/01/2015	131 388	131 464	76
22/01/2015	131 464	131 660	196
23/01/2015	131 660	131 816	156
24/01/2015	131 816	131 964	148
25/01/2015	131 964	132 118	154
27/01/2015	132 278	132 414	136
29/01/2015	132 414	132 713	299 ←
30/01/2015	132 713	132 830	117
31/01/2015	132 830	133 021	191
Total			4 309

Fuente: elaboración propia.

En los días señalados de la tabla anterior se pudo verificar que hubo existencia de fugas subterráneas lo cual se refleja en un elevado consumo de m³ de agua.

3.2.3. Diseño de plan de reducción de agua

Actualmente, la empresa cuenta con fuente de abastecimiento propio a través de un pozo; el sistema cuenta con dos cisternas, 3 bombas de diferentes capacidades de succión y 2 hidroneumáticos de 220 galones cada uno; una bomba está ubicada en el pozo, la segunda es utilizada para bombear agua libre de cloro hacia otros lugares de servicio externo, y la tercera para abastecer agua clorada a áreas de producción.

Se ha investigado el costo por metro cúbico que paga la comunidad cercana a la empresa que les abastece agua, el cual tiene un valor de Q 2,70 por m³; se debe calcular relacionando el consumo de energía de las bombas con el precio por kilowatt/hora., que la empresa paga actualmente por consumo de energía; el costo que se paga a la Empresa Eléctrica de Guatemala por kilowatt/hora es Q 2,30.

3.2.3.1. Costo energético por bombeo de agua

Previo a presentar las propuestas de mejoras se realiza el análisis del costo por cada m³ de agua que la empresa utiliza; para determinar el mismo se toman en cuenta los siguientes elementos:

- Bombeo de pozo
- Bomba para agua clorada de producción

Tabla XXIX. **Datos técnicos de bomba de pozo**

Datos técnicos	Bomba de pozo
Potencia	7,5 HP
Conversión Kw.	5,625
Galones / minuto	30
Conversión m ³ /hr	6,8

Fuente: elaboración propia.

Con la información contenida en la tabla XXIX, se procede a calcular los siguientes datos:

Consumo de energía por hora en bomba de pozo:

Potencia en kilowatt/hora capacidad de succión en metro cúbico/hora.

$$5,625 \text{ kilowatt/hora} / 6,80 \text{ m}^3\text{-hr} = 0,827 \text{ kilowatt/hora/m}^3$$

En los cálculos anteriores se determina que la bomba de caldera consume 0,827 Kw/hr por cada m³ que succiona; el valor económico resulta de multiplicar este factor por la cantidad de metros cúbicos consumidos y multiplicado por Q.2,30 que es la tarifa de pago por cada kilowatt/hora.

Tabla XXX. **Datos técnicos de bomba de pozo contra bomba de agua clorada**

Datos técnicos	Bomba de pozo	Bomba agua clorada
Potencia	7,5 HP	3 HP
Conversión kilowatt.	5,625	2,25
Galones / minuto	30	45
Conversión metro cúbico/hora	6,8	10,22

Fuente: elaboración propia.

Con la información contenida en la tabla XXX, se procede a calcular los siguientes datos:

Consumo de energía por hora en bomba de pozo

Potencia en kilowatt/capacidad de succión en metro cúbico/hora.

$$5\,625 \text{ Kw}/6,80 \text{ m}^3/\text{hr} = 0,827 \text{ Kw}/\text{hr}/\text{m}^3$$

Consumo de energía por hora en bomba para agua clorada

Potencia en kilowatt/capacidad de succión en metro cúbico/hora.

$$2,25 \text{ Kw}/10,22 \text{ m}^3/\text{hr} = 0,220 \text{ Kw}/\text{hr}/\text{m}^3$$

Consumo total de energía = consumo energía bomba pozo + energía bomba

$$\text{Consumo total de energía} = 0,827 \text{ Kw}/\text{hr}/\text{m}^3 + 0,220 \text{ Kw}/\text{hr}/\text{m}^3$$

$$\text{Consumo total de energía} = 1,047 \text{ Kw}/\text{hr}/\text{m}^3$$

$$\text{Costo total energía} = 1,047 \text{ Kw}/\text{hr} \times \text{Q. } 2,30 \text{ (costo Kw}/\text{hr}) \times \text{m}^3 \text{ de agua}$$

Con los cálculos anteriores se determina que la bomba de agua clorada consume 1,047 Kw/hr. Por cada metro cúbico que se succiona, el valor económico resulta de multiplicar este factor por la cantidad de metros cúbicos consumidos y multiplicado por Q 2,30 que es la tarifa de pago del kilowatt/hora, que paga la empresa por energía eléctrica.

3.2.3.2. Mantenimiento de circuito de agua

Tomar acciones preventivas en el mantenimiento de los equipos, los cuales son parte del sistema de abastecimiento de agua, ayuda a disminuir riesgos en la suspensión del servicio, evitando interrumpir los procesos de producción.

En la siguiente tabla se detallan acciones básicas para mantener el óptimo funcionamiento en dicho sistema; las acciones y períodos descritos en la tabla

han sido previamente consultados con personal del Departamento de Mantenimiento y con personal externo de la empresa dedicado a labores especializadas en el ramo de pozos y bombas de agua.

Tabla XXXI. **Acciones preventivas del equipo de bomba de agua**


Bomba de agua para producción	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar fugas del sello mecánico, desgaste y desalineamiento. • Revisar estructura y carcasa exterior de la bomba; que no existan fugas. Revisar ruidos extraños y vibración de la bomba. • Motor eléctrico: medir temperatura del motor, revisar ruidos de cojinetes y ruido del ventilador. 	Cada mes	Supervisor de mantenimiento
Sistema de agua clorada (hidroneumático y flotes del nivel)	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar presión de tanque, corregir presión de bolsa de aire, revisar y corregir fugas de agua en el tanque presurizado, flotador tuberías y válvulas. • Revisar el funcionamiento adecuado del control de presión. 	Cada mes	Supervisor de mantenimiento
Mangueras y suavizador	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza de manguera y revisión de fugas, revisión de tuberías, válvulas y accesorios. 	Cada mes	Personal de mantenimiento

Fuente: elaboración propia.

3.2.3.3. Registro de control de fugas

Actualmente, no se lleva un registro de control de fugas; este es necesario para contar con información de los antecedentes en los lugares donde se presenta dicha problemática; también es necesario que exista evidencia de un reporte sobre la recepción del aviso de la existencia de la misma. La operación de control de fugas consiste en que todo el personal que verifique una fuga puede reportar la existencia de esta a través del llenado de un registro y pedir la firma de enterado a su supervisor inmediato o al personal de mantenimiento mecánico, y posteriormente llevar el registro al archivo general en la oficina de producción; de esta forma se puede dar seguimiento a la fecha en la cual fue emitido el reporte y en la cual se ha realizado la corrección respectiva.

Tabla XXXII. Registro de control de fugas

 MALHER® CONTROL DE FUGAS	
Fecha:	
Descripción del lugar de la fuga:	
Nombre y firma de quien reporta:	Nombre y firma del supervisor quién recibe el aviso:
Archivar registro en oficina de encargado de producción	

Fuente: elaboración propia.

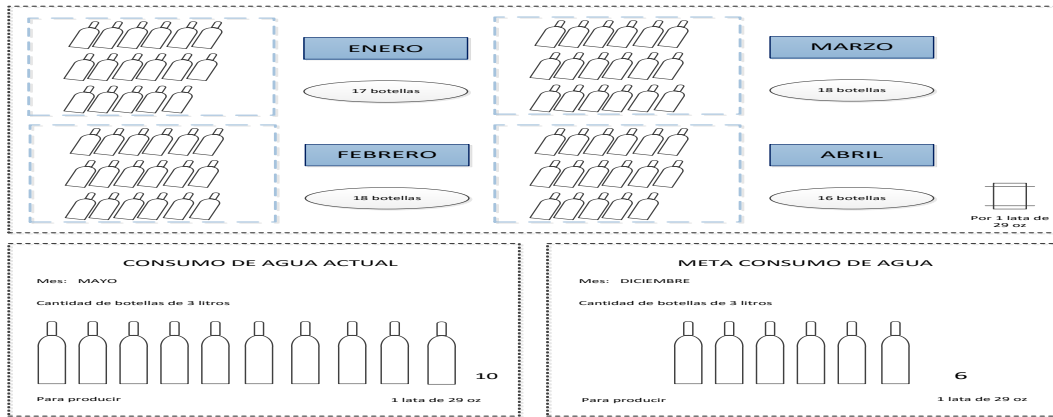
3.2.3.4. Indicador de consumo de agua

Actualmente la empresa no comunica al personal los resultados de consumos de agua, por lo cual se ha decidido conjuntamente con el comité de implementación del Sistema ISO 14001:2004 comunicar en una cartelera pública dicha información; esta se trasladará de la siguiente forma:

- Consumo de agua histórico: comunica y retroalimenta los consumos de los 4 meses anteriores.
- Consumo actual: informa sobre el consumo que se obtiene durante el mes actual.
- Meta de consumo: informa la meta que se quiere lograr y en el mes que se quiere alcanzar.

El indicador de consumo de agua que se requiere optimizar es litros/kilogramo procesado; a la vez se dará seguimiento a los metros cúbicos de consumo general; para evaluar dicho indicador de consumo de agua se ha diseñado un medio para trasladar la información al personal, de tal forma que esta sea comprensible para todos, tomando en cuenta que la mayoría de los empleados cuenta con bajo nivel de escolaridad y tiene dificultad para comprender medidas de litros y kilogramos; por tal razón se busca la imagen de botellas de gaseosa que contienen 3 litros para indicar el volumen de agua, y una lata de 29 onzas para aproximar la medida de kilogramo, tomando como referencia que 1 kg. = 35 onzas.

Figura 25. **Cartelera pública de indicador**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio.

La razón de publicar botellas de 3 litros dentro de la información, tiene relación con el volumen que contienen los envases de bebidas gaseosas, debido a que hay personal con bajo nivel de escolaridad, y se le dificulta comprender la medida en litros y en kilogramos.

De igual forma se traslada la información relacionando la lata de 29 onzas; se conoce que 1 kg.= 35 onzas, por lo tanto se les aproxima con la medida de 29 onzas.

3.2.3.5. **Propuestas de mejora**

A través del diagnóstico realizado se establece la propuesta de las mejoras enfocada en 2 grupos:

- Acciones técnicas: estas se basan en identificar oportunidades de reutilización de agua, modificaciones en los equipos que proveen la misma, reemplazo de equipos que provocan fugas constantes,

considerar la reparación eficiente de fugas y cambios en los procedimientos de operaciones de los procesos que involucran el uso de agua.

- Acciones para cambio de conducta: se basan en trabajar los cambios de hábito en el uso óptimo del agua; al lograr cambio de actitud en el uso racional del agua, se pueden obtener ahorros significativos sin necesidad de hacer cambios en los equipos existentes.

Tabla XXXII. **Acciones técnicas**

Núm.	Propuesta de mejora	Beneficios esperados	Responsable de ejecución
1	Monitoreo diario de fugas.	Reparación de fugas en menor tiempo.	Encargado de producción
2	Compra de recipiente para lavado de canastas.	Ahorro de aprox. 55 % agua y ahorro de tiempo.	Gerencia Industrial
3	Disminuir flujo de agua en chorros de lavado.	Ahorro del 45 % de agua que se utiliza en la actualidad.	Encargado de producción
4	Instalación bomba para reutilización de agua de condensado.	Utilizar agua de condensado para operaciones varias.	Gerencia Industrial, y encargado de mantenimiento.
5	Reutilización de agua clorada de lavadora.	Ahorro de agua, empleando agua de desecho de lavadora para limpieza.	Gerencia Industrial.
6	Cambio de sistema de lavado de gomeros.	Ahorro 8 galones de agua por cada gomero lavado.	Encargada de área de etiqueta.

Fuente: elaboración propia.

3.2.3.6. Monitoreo diario de fugas

La propuesta de mejora para implementar un monitoreo de fugas consiste en la creación de un formato que se controla a través del registro que se describe; el mismo detalla la forma de llenado y el control que se desea realizar; las fugas significan una dificultad que se ha presentado por falta de documentación de las mismas, lo que permite a los responsables velar por estas, tomar una actitud de conformismo y no proceder a su pronta reparación; a través del monitoreo de fugas podrán documentarse las fechas que se identificaron en las mismas y la persona que dio aviso de estas.

3.2.4. Medición de resultados

Como parte de los requerimientos de la implementación del Sistema de Gestión Ambiental se deben monitorear los resultados de las metas planteadas en los aspectos ambientales significativos que se han trabajado, por lo tanto es de gran importancia la constante medición de los indicadores establecidos; en el presente informe se deben verificar resultados de los proyectos de alto consumo de agua y manejo de aguas residuales; actualmente se han aplicado varias acciones que han reflejado resultados obtenidos en las respectivas mediciones. En las siguientes gráficas se dan a conocer los análisis comparados en la NER, antes y después.

Figura 26. Análisis iniciales de aguas comparados con la NER

Parámetro	Dimensión	Resultados (Marzo 2015)	Norma Local 2015	Adherencia NER
Temperatura	°C	23.1	✓	✓
Grasas y aceites	Mg/l	16	✓	✗
Sólidos suspendidos	mg/l	320	✓	✗
Nitrógeno	mg/l-N	38	✓	✗
Fósforo	mg/l-P	15.4	✓	✗
pH	U pH	7.8	✓	✓
DQO	mg/l - O2	1870	✗	✗
DBO	mg/l - O2	900	✗	✗
Color	U pt-Co	561	✓	✗

Fuente: archivos de Malher, S. A.

Figura 27. Proceso del agua desde 2015



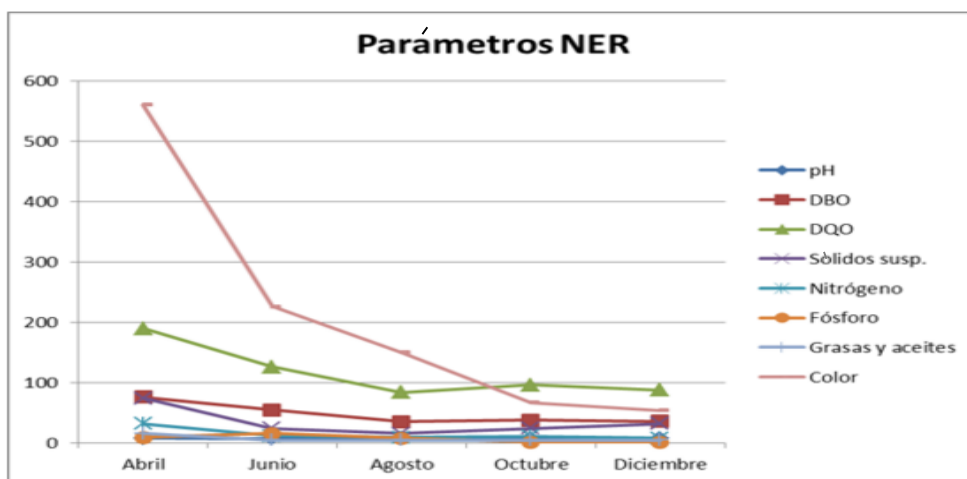
Fuente: archivos de Malher, S. A.

Figura 28. **Parámetros a inicios de 2016 comparados con la NER**

Parámetro	Dimensión	Resultados (Marzo 2015)	Resultados Enero 2016	Adherencia a NER
Temperatura	°C	23.1	22.1	✓
Grasas y aceites	Mg/l	16	8	✓
Sólidos suspendidos	mg/l	320	62	✗
Nitrógeno	mg/l-N	38	8	✓
Fósforo	mg/l-P	15.4	1.4	✓
pH	U pH	7.8	7.6	✓
DQO	mg/l – O ₂	1870	148	✓
DBO	mg/l – O ₂	900	34	✓
Color	U pt-Co	561	47	✓

Fuente: archivos de Malher, S. A.

Figura 29. **Mejora en indicadores NER**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel.

Impacto positivo ambiental:

- Descarga de aguas con materia orgánica controlada
- Disminución de carga microbiológica descargada
- Colaboración con el cuidado de las aguas residuales
- Conservación de recursos para ayudar a comunidades vecinas
- Compromiso con el cuidado del medio ambiente

4. FASE DE DOCENCIA. PLAN DE CAPACITACIÓN PARA CONTRATISTAS DE MALHER, S. A.

En el mercado competitivo de hoy, las empresas han identificado que es necesario invertir en los empleados para generar altos niveles de habilidades, conocimientos y capacidad para llevar a cabo los proyectos implementados.

La utilización del agua en las empresas alimentarias es esencial para el desarrollo de la actividad productiva. En el caso de Malher Nestlé, planta zona 12, siendo esta de producción seca (su proceso no implica la utilización de agua), los datos indican que se tiene un alto consumo de agua; es por esta razón que surge el proyecto para la instalación de una planta nueva de tratamiento de aguas residuales, la cual cuenta con un sistema biológico que permite aprovechar de un equipo con un costo de operación limitado y sobre todo de alta eficiencia depurativa.

La propuesta ofrece la gran oportunidad de tener una planta completamente prefabricada y preensamblada proveniente de Italia.

En el caso específico, la instalación de la planta conllevará una parte de obra civil y luego la instalación de la planta. El tratamiento del agua inicia con una filtración mecánica; se dispone de rejilla de trabajo y de limpieza manual. La planta contará con un tratamiento biológico híbrido; en la reacción biológica se desarrollan todas las reacciones bioquímicas que llevan a la disolución de las sustancias contaminantes presentes.

Estas reacciones son en todos análogas a aquellas que suceden en los ríos naturales para el intercambio de oxígeno entre la superficie líquida y la atmósfera en contacto, lo cual en este proceso se llevará a cabo en un reducido tiempo y espacio.

Parte de la instalación incluye una rejilla de trabajo y limpieza, la cual se alimenta con una bomba de levantamiento inicial. El agua filtrada cae en una cisterna realizada en una sección del módulo que lleva por nombre FICIT-40BC-SBC; los sólidos separados se acumulan en una bolsa filtrante en dotación al sistema, y el agua tratada finalmente se reutilizará para los sanitarios de hombres y mujeres, además de una cantidad que será desechada al desagüe, cumpliendo con las normas nacionales de tratamiento de aguas industriales y con las normas Nestlé. A continuación se presenta el desarrollo del plan de capacitación.

4.1. Diagnóstico de necesidades de capacitación

A través del desarrollo de la presente fase se contempla informar a todo el personal respecto los objetivos que la empresa desea alcanzar por medio de la implementación del Sistema de Gestión Ambiental basado en la Norma ISO14001:2004, la cual establece dentro de sus requerimientos una fase de capacitaciones y comunicación interna con el personal, para trasladar la información de los programas ambientales que van a implementarse.

Dentro de las acciones en búsqueda de la mejora continua en todos sus procesos, la empresa realiza una programación anual de las necesidades de capacitación para su personal; uno de los principales propósitos del inicio del ciclo era implementar el Sistema de Gestión Ambiental, por tal razón se contemplaron capacitaciones que estuvieran relacionadas con los proyectos de

aspectos ambientales significativos definidos previamente con el comité SGA; por lo tanto se identificó la necesidad de comunicar todo lo relacionado con el aspecto consumo de agua y aguas residuales.

Se realiza la siguiente tabla de los problemas que más aquejan al personal en cuanto al tema de falta de capacitación; de esta manera se pueden enfocar las capacitaciones en las mayores necesidades que presente el personal y luego se procede a utilizar el gráfico de Pareto para encontrar los problemas más representativos y buscar su solución a través de las capacitaciones.

Dentro de la Norma ISO 14001:2004 también se requiere documentación relacionada con los planes de contingencia para las principales emergencias; por tal razón se incluyó el procedimiento de capacitación ante las principales emergencias, las cuales se enfocaron en sismos e incendios, y se determinaron las principales necesidades de capacitación relacionadas con los aspectos ambientales significativos, las cuales son:

- Concientización sobre el consumo de agua para todo el personal de fábrica.
- Concientización respecto del manejo de aguas residuales y reglamento que vela por el mismo.
- Procedimiento ante emergencias.

4.1.1. Alcance

La capacitación sobre concientización de consumo de agua y procedimientos ante emergencias es aplicada a todos los operadores, auxiliares y técnicos de la planta de producción; mientras que la de procedimientos de

emergencias está dirigida especialmente a los contratistas como parte del plan de capacitación de seguridad industrial que tiene la fábrica.

4.1.2. Objetivos

- Mostrar al personal los beneficios medioambientales que generará el cambio a dispositivos con sensor de proximidad en los lavamanos del Área de Producción.
- Concientizar al personal sobre la reducción en el consumo de agua y cuidado del medio ambiente en la fábrica, impulsando los objetivos de la empresa y el cumplimiento de uno de los pilares de Nestlé.
- Impulsar el reuso del agua rescatada de la planta de tratamiento de aguas residuales para minimizar el uso del agua de los pozos de la fábrica.
- Dar a conocer a los contratistas las diferentes formas de reacción al momento que suceda alguna emergencia durante su estadía en la fábrica, impulsando la seguridad industrial

4.1.3. Contenido a impartir

En la capacitación se dará a conocer las variables potenciales con las cuales se puede incurrir en cualquier emergencia generada en la fábrica, distintos tipos de modo de trabajo y los procedimientos a seguir bajo cualquier inconveniente.

En cuanto al consumo de agua, se darán a conocer las gráficas comparativas de consumo tanto en los sanitarios de damas como de caballeros, y asimismo darles a conocer las principales negligencias en las que se incurre, por las cuales el consumo aumenta.

4.1.3.1. Lavado de equipos

Esta capacitación debe dar los lineamientos correctos para hacer el lavado del equipo debido al exceso de agua que se utiliza para su limpieza; a través de presentación audiovisual y material escrito se proporciona la información sobre la forma correcta de realizar el procedimiento.

El lavado del equipo no es significativo en el ahorro de agua, pero se requiere la capacitación debido a que a veces se excede de agua cuando se realiza; también se generan residuos de goma y se permite que vaya directo al drenaje, contaminando aguas residuales.


4.1.3.2. Concientización sobre el consumo de agua

Primeramente se describe y explica en qué consiste la política ambiental que la empresa desea conseguir, a través de análisis de metas y objetivos.

Dentro de la información principal que se debe dar a conocer al personal están los objetivos y la meta que la empresa tiene con el Plan de Reducción de Consumo de Agua; también se deben dar a conocer las principales causas que se han diagnosticado y que contribuyen al elevado consumo de la misma e informar sobre los indicadores actuales de consumo y la meta que se desea alcanzar.

En la presente capacitación se debe crear un registro de compromiso de ahorro de agua, el cual debe ser llenado por cada empleado, y archivado para contar con respaldo documentado del mismo, lo cual ayudará para tomar acciones con el personal, ya que de acuerdo con lo observado, no cumplen con los procedimientos de forma correcta en relación con el uso del agua.

Tabla XXXIII. **Registro de compromiso de ahorro de agua**

	<p align="center">COMPROMISO DE AHORRO DE AGUA</p>
<p>Yo _____, me comprometo formalmente a contribuir con la empresa en ahorrar agua de la siguiente forma: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	
<p>Fecha: _____</p>	
<p>Firma del empleado _____</p>	

Fuente: elaboración propia.

4.1.3.3. Concientización de aguas residuales

A través de esta capacitación se busca crear conciencia en el personal para el manejo adecuado de los desechos sólidos generados por los diferentes procesos, los cuales afectan en las pruebas que se analizan en las mismas, se

informa sobre las bases legales que se deben cumplir con las normativas gubernamentales, y las sanciones en las que se incurre al no cumplir con lo requerido en las normas establecidas.

Uno de los aspectos que se explicó en la capacitación es el listado de sanciones que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales aplica a las empresas que no cumplen con los límites establecidos en los muestreos de agua, las cuales están definidas en el siguiente listado:

- Advertencia
- Tiempo determinado para la corrección
- Suspensión
- Comiso
- Multas
- Modificación o demolición

4.1.3.4. Procedimientos de emergencia

En la presente capacitación se debe cubrir información sobre las amenazas que impliquen riesgo para la empresa; debido a que el país está expuesto a movimientos sísmicos, constantemente se debe informar sobre el plan de simulacro de evacuación, se deberán dar las principales medidas y acciones a realizar en caso de ocurrencia de tales amenazas.

El objetivo fue capacitar al personal que ingrese a la planta Malher, S. A. sobre la inducción de seguridad y normas dentro de la planta, además de que reciban la capacitación de BBS's.

La forma más común de transmitir conocimientos a los operarios o en este caso, los contratistas, fue de forma verbal, pero este método de decirle al

contratista lo que debe hacer tiene grandes limitaciones, pues no es posible seguir y retener todos los movimientos y explicaciones verbales que se dan sobre algún trabajo. De lo anterior, se desprende que es muy importante seguir un método para la capacitación del operario.

Se investigó, y según datos estadísticos un método que ha dado resultados óptimos consta de cuatro pasos:

- Preparar contratistas: esta fase es muy importante, ya que en ella se llegó a convencer al educando que con lo que va a aprender y a realizar se habrá logrado buena parte de la tarea. En esta operación se requirió que el instructor demostrara entusiasmo por su tarea y seguridad en sus conocimientos. De su actitud dependió en gran parte que se logre una buena instrucción.
 - Demostrar trabajo: en esta segunda parte de la capacitación se realizaron las siguientes actividades:
 - La explicación e ilustración de la tarea que se pretendió enseñar se debe hacer conjugando la teoría y la práctica. Ilustrar la explicación se refiere complementarla con esquemas, planos, ejemplos gráficos, y si es necesario, con películas y proyecciones.
 - Los puntos clave fueron todos aquellos aspectos que era necesario conocer para ejecutar correctamente el trabajo dentro de la planta Malher, S. A., tales como las explicaciones que se referían a cada una de las fases importantes, el porqué, el cómo y consecuencias de las mismas.

- Para explicar claramente fue necesario emplear el lenguaje del aprendiz, evitar toda desviación del tema para no confundirlo y poner especial empeño en explicar cada cosa a su tiempo.
- Demostrar únicamente lo que pueda asimilar: esto debido a que el aprendiz puede desviarse y olvidar lo más importante de la operación.
- Comprobar lo aprendido: en este caso el supervisor verificó el grado en que el trabajador asimiló sus enseñanzas, lo cual se logró solicitándole que ejecute la operación para corregir errores.
- Corregir errores: si los errores que cometió el operario durante la ejecución fueron leves, no se interrumpió al empleado mientras reconstruía la operación que se le enseñó, pero cuando el error podía crear un mal hábito, se le corrigió inmediatamente.
- Examen teórico: fue importante antes de la práctica tener registros de los contratistas que sí captaron la información proporcionada; esto por medio de una evaluación escrita con un formato brindado por SH&E y que debe ser aprobada con una calificación mínima de 80 puntos.

En el tema de sismo, se debe describir la información básica de formas de evacuar y resguardarse en caso de no poder salir; en el tema de incendios la información principal proporcionada fueron los tipos de incendios y cómo se pueden generar y prevenir los mismos; también se mostró un mapeo de los lugares donde se encuentran extintores y la forma de utilizar los mismos.

Con base en la capacitación de procedimientos de emergencia se procedió a realizar una verificación general de la carga de los extintores, los cuales tuvieron que ser cargados debido a que la mayoría mostraba fechas vencidas; posteriormente se reunió al personal y se realizó una práctica de utilización de extintores; en esta capacitación también se informó que se realizaría un simulacro de evacuación, para el cual se debe recordar y poner en práctica los conocimientos básicos tales como:

- Rutas de evacuación inmediatas en cada área.
- Punto de encuentro.
- Personal que forma parte de comisiones, conocimiento de sus principales responsabilidades.

4.1.3.5. Programa de monitoreo ambiental

Al explicar el objetivo que tiene un monitoreo ambiental se hace conciencia siempre que mediante el diseño de un tratamiento de aguas residuales se devolverá al ambiente una pequeña parte que contribuya a la reducción de la contaminación de las aguas residuales expulsándolas al ambiente, a niveles que la naturaleza pueda manejar, ayudando a la amortiguación del impacto ambiental que las mismas producen. Esto es de gran importancia debido que la empresa solo cuenta con un pozo hacia el cual se dirigen todas las aguas residuales.

También se destacó que por medio de un programa de monitoreo ambiental puede detectarse la necesidad del mantenimiento del sistema de tratamiento de aguas residuales, ya que al tomar los datos del agua de alimentación y el efluente de salida, podrá medirse la eficiencia del sistema y verificar que los parámetros del agua tratada en la salida sean directamente

proporcionales; al tiempo puede tomarse como un indicador que el agua de alimentación haya tenido alguna variación o aumento en los parámetros fisicoquímicos evaluados. Si el problema del aumento de los parámetros en la salida es el agua de alimentación, debe corregirse desde ese punto.

El sistema de tratamiento de aguas residuales requiere de mantenimiento, pues de esta manera se promueve la participación del personal que labora en esa área, con el fin de conocer el diseño, funcionamiento, operación y la importancia del programa de monitoreo ambiental.

4.1.4. Personal a participar

Se impartirá la capacitación a supervisores, operadores, auxiliares y contratistas, ya que ellos son los responsables del área de sanitarios de producción y serán los encargados de capacitar al personal de la tripulación; de esta manera se crea un proceso de enseñanza-aprendizaje dentro de la planta con la ayuda de alguna persona que domine el tema, para mayor entendimiento por parte del personal.

Cabe mencionar que el proceso de enseñanza-aprendizaje será dentro de la planta, ya que de ninguna manera se podrán parar todas las líneas de producción para capacitar al personal de la planta. Adicionalmente, se adquiere el compromiso por parte del encargado del proyecto de darle seguimiento, de manera que a cierto lapso de tiempo todo el personal de la planta reciba la capacitación y tenga el concepto claro de por qué es necesario monitorear de manera secuencial los parámetros de cada maquinaria. Adicionalmente, se tendrá al personal contratista para la capacitación de procedimientos de emergencia sobre los cuales tiene efecto, para el sistema de gestión de la fábrica.

4.2. Programa de capacitación

Entre las principales necesidades para la implementación del SGA se incluyen las capacitaciones de los proyectos ambientales tales como el ahorro de agua y el manejo de aguas residuales.

A continuación se presenta la programación de actividades del plan de capacitación.

Tabla XXXIV. Programación de actividades

Tema	Dirigido a:	Impartido	Evaluación	Responsable
Lavado de equipo de trabajo	Personal de etiquetado	4 al 8 de mayo	18 al 22 de mayo	Supervisor de etiquetado
Concientización sobre el consumo de agua	Todo el personal	11 al 15 de mayo	18 al 22 de mayo	Gerencia / encargado de control de calidad
Concientización sobre manejo de aguas residuales	Todo el personal	18 al 22 de mayo	1 al 5 de junio	Encargado de control de calidad
Procedimiento de emergencias	Todo el personal	8 al 12 de junio	22 al 26 de junio	Encargado de producción

Fuente: elaboración propia.

4.3. Metodología de trabajo

Para llevar a cabo las capacitaciones se tomarán en cuenta el alcance, importancia, planificación de los temas a impartir y la metodología a utilizar.

4.3.1. Modelo cascada

El modelo cascada consiste en brindar capacitación a grupos de personas, los cuales posteriormente asumirán el rol de capacitadores de nuevos grupos sobre los mismos temas recibidos y así sucesivamente, hasta que las habilidades funcionales se transmitan al personal de menor nivel.

A continuación, los niveles del modelo de cascada de acuerdo con la organización:

- Primera línea: supervisores de área
- Segunda línea: operadores y auxiliares

4.4. Evaluación

Se denomina evaluación al proceso dinámico a través del cual e indistintamente, una empresa, organización o institución académica puede conocer sus propios rendimientos, especialmente sus logros y flaquezas, así reorientar propuestas o bien focalizarse en aquellos resultados positivos para hacerlos aún más rendidores.



Históricamente, la evaluación surge como una herramienta de control; de modo que a través de ella los establecimientos de enseñanza no solamente controlan el aprendizaje de sus alumnos, sino que además les permite ejercer control sobre la tarea que realizan; el evaluador es quien en definitiva tiene la enorme responsabilidad de llevar a buen puerto; esta cuestión es determinante para el progreso y evolución del desarrollo de las personas a quienes se quiere transmitir el conocimiento. Evaluar la capacitación es básico y fundamental para lograr el desarrollo del personal, de esta manera se logra visualizar el cumplimiento de los objetivos planteados.

4.4.1. Diagnóstico

Este proceso se realizó por medio de una serie de 6 preguntas para la concientización sobre el uso de agua y otra de 10, para verificar su conocimiento y práctica sobre el tratamiento de las aguas residuales.

Se evaluó antes y después de la capacitación; los resultados del antes, en relación con las capacitaciones, dieron un promedio de 70 puntos. Se tomaron las mismas preguntas en ambas fases, ya que con ello se verificó si el personal captó los principales objetivos de la capacitación y evolucionó en los conocimientos sobre los temas tratados, para un mejor desempeño dentro de la línea de producción.

Tabla XXXV. **Evaluación sobre concientización de uso del agua**

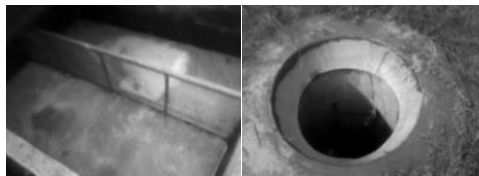
<p>Responda en el espacio sugerido:</p> <ol style="list-style-type: none">1. ¿Cuál es el compromiso hecho con el medio ambiente (política ambiental)?2. ¿Qué relación tiene el compromiso con el ahorro de agua?3. En el futuro, ¿Qué puede suceder si no ahorramos agua?4. ¿Qué recomendaciones puede mencionar para ahorrar agua dentro de la empresa?5. Circular la forma correcta de limpiar para ahorrar agua, e indicar ¿Por qué considera correcta la forma? 6. Circular la forma incorrecta de lavar los contenedores o canastas, e indicar por qué se considera incorrecta. 

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Evaluación sobre aguas residuales**

Se solicita su colaboración en responder a los siguientes cuestionamientos:

1. ¿Qué son aguas residuales?
2. Escriba los nombres de 3 instituciones a las cuales les corresponde la aplicación de la ley de aguas residuales.
3. ¿Cuáles son las principales características a evaluar en las aguas residuales?
4. Explique, ¿Qué se está haciendo para mejorar las aguas residuales?
5. Mencione 2 objetivos del reglamento que velan por la calidad de las aguas residuales.
6. ¿Cuántas muestras de agua residual debe tomar la empresa durante el año?
7. En el último muestreo de aguas residuales no se cumplieron con algunos puntos que la ley exige; mencione 3 de ellos.
8. ¿Cuántas muestras de agua residual debe tomar la empresa durante el año?
9. Mencionar 3 acciones que los empleados deben cumplir para el buen manejo de aguas residuales.
10. Circular la figura donde se realiza el tratamiento de aguas residuales.



Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Evaluación de capacitación

La evaluación es un proceso que debe realizarse en distintos momentos, desde el inicio de un programa de capacitación, durante y al finalizar dicho programa. Esta es un proceso sistemático para valorar la efectividad y la eficiencia de los esfuerzos de la capacitación.

Esta no es solo una actividad más de capacitación, sino una fase importante del ciclo de la capacitación. Ocurre en cada fase del ciclo como un proceso en sí mismo. Debe ser parte de la sesión del plan de capacitación y se le debe destinar un tiempo adecuado.

Los datos que se obtienen son útiles para la toma de decisiones. Por ello, un adecuado programa de capacitación contempla una evaluación del desempeño, un control y un adecuado seguimiento a las actividades que realiza el trabajador.

La evaluación permite la medición científica de los fundamentos, aplicación, efectos a corto y largo plazo de las acciones del diseño y ejecución de los programas de capacitación. Para ello se exponen los pasos necesarios para la ejecución de programas de capacitación: la descripción de los diversos modelos de evaluación, las etapas de la evaluación de la capacitación, los niveles de control y seguimiento de la capacitación, y por último, los errores del proceso de evaluación.

La capacitación impartida fue evaluada de forma escrita; se utilizó la técnica de pregunta directa, donde los participantes debían colocar el concepto claro y conciso, según su conocimiento; la evaluación constaba de una serie de diez preguntas relacionadas con el tema.

4.5. Resultados de evaluación

Los resultados de la evaluación fueron consolidados de acuerdo con cada tipo de maquinaria y cada capacitación que se realizó, tomando en cuenta los operadores asistentes.

4.5.1. Calificación de evaluación

Se calificaron las pruebas escritas aplicadas a los participantes de la capacitación y se les asignó un puntaje comprendido entre cero y cien; los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla XXXVII. Resultados de evaluación

Número	Promedio
Grupo 1	100
Grupo 2	90
Grupo 3	100
Grupo 4	100
Promedio	97

Fuente: elaboración propia.

El promedio obtenido en las evaluaciones fue de 97 puntos.

4.5.2. Retroalimentación

Debido a que los resultados fueron satisfactorios, no hubo retroalimentación inmediata al personal que se le impartió la capacitación. Es importante mencionar que se realizará retroalimentación a los supervisores de producción, para que ellos sean los encargados de acompañar a los

operadores/auxiliares, cuando estos realicen la capacitación modelo cascada, para ahondar más en detalles con dudas o sugerencias por parte del personal que será capacitado.

4.5.3. Determinación de alcances

Los resultados obtenidos de la evaluación aplicada fueron los esperados, por lo que se considera satisfactoria la capacitación impartida.

Efectivamente se logró cumplir con los objetivos propuestos, los supervisores, operadores, auxiliares y contratistas de cada tipo de maquinaria tienen el conocimiento de las variables que afectan el consumo de agua y los tipos de reacción para cualquier emergencia que se dé en cada puesto de trabajo. Así también tienen la capacidad de transmitir el conocimiento al personal de su tripulación, lo cual permite la implementación y aprendizaje del proyecto de una mejor manera.

CONCLUSIONES

1. Se realizó un plan de administración, operación y mantenimiento adecuado para la planta de tratamiento de aguas residuales; con esto se podrá tener un control general del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales y optimizar la utilización del equipo.
2. Se supervisó la correcta instalación de la PTAR, desde la obra gris hasta el momento que el mismo esté trabajando en óptimas condiciones, dejando también el laboratorio para análisis propiamente de las aguas negras, con la finalidad de cumplir con la calidad del agua, para que pueda ser vertida en cumplimiento.
3. Se mantiene un monitoreo constante para garantizar que el agua tratada cumpla con los requisitos y normas legales aplicables para la descarga de aguas residuales por medio de los análisis que se realizarán en el laboratorio, manejando todas las normas para la manipulación de químicos y buscando el nivel de calidad del agua, con la finalidad de ser amigables con el medio ambiente.
4. Se establecieron parámetros de seguridad para cualquier persona que ingrese a la planta de tratamiento de aguas residuales, con el fin de que los peligros encontrados puedan ser minimizados a niveles aceptables o nulos; todo esto se realizó por medio de las matrices de riesgos y de equipo de protección personal a utilizar en el área, dependiendo de la tarea se va a realizar.

5. Se capacitó al personal y a los contratistas que ingresen a la planta, con la finalidad de instruir a toda persona que tenga contacto con la planta de tratamiento de aguas residuales o bien tenga que realizar un trabajo asignado; esto en el caso de los contratistas.

RECOMENDACIONES

1. Al operador de la planta de tratamiento de aguas residuales: deberá obtener muestras y realizar análisis de laboratorio para determinar los parámetros exactos requeridos para el diseño de la planta, es decir características tales como demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, concentración de sólidos totales, sólidos en suspensión, entre otros.
2. Prestarle atención a la inoculación, ya que es el inicio del funcionamiento del reactor, de esto depende la eficiencia final de la planta de tratamiento de aguas residuales.
3. A supervisores de producción, mantenimiento y bodega: realizar retroalimentación constante sobre el uso del agua, ya que con ello se estará cumpliendo con los requerimientos de la fábrica en cuanto a la minimización del consumo de agua.
4. A supervisor de proyectos: realizar estudios tomando en cuenta planes de expansión, para considerar la opción de más plantas tipo paquete, ya que estas funcionan con alta eficiencia en áreas muy pequeñas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARJONILLA, Sixto; MEDINA, José A. *La gestión de los sistemas de información, teoría y casos prácticos*. 3a ed. Madrid: Ediciones Pirámide, 2007. 698 p.
2. BARNES, George. *Tratamiento de aguas negras y desechos industriales*. Barcelona: Gestión, 2008. 337 p.
3. BAU BAGES, Gabriel; GARCIA SERRANO, Juan. *Diseño, construcción y explotación de reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA)*. Barcelona, España: Gestión, 2008.120 p.
4. FINCOWSKY, Franklin. *Organización de empresas, análisis diseño y estructura*. México: Editorial Enrique Benjamín, 2005. 528 p.
5. GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo, ingeniería de métodos y medición del trabajo*. 2a ed. México: Mc Graw-Hill, 2005. 1012 p.
6. International Organization for Standarization. *Traducción certificada ISO 14000:2004. Sistemas de gestión ambiental: edición certificada*. Ginebra, Suiza: AENOR, 2004. 25 p.
7. Malher, S. A. *Tercer elemento del sistema integrado de gestión (SIG)*. Guatemala, 2013. 29 p.

8. Nestlé Panamá. *Instrucciones generales 554, 555 y 556; tratamiento de aguas residuales*. Panamá, 2009. 34 p.
9. NIEBEL, Benjamín. *Ingeniería industrial, métodos, estándares y diseño del trabajo*. México: McGraw-Hill, 2007. 871 p.
10. _____. *Instrucciones generales 331 y 332. Limitaciones generales de tratamiento de agua residuales*. Panamá, 2012. 18 p.
11. POMORSKI, Thomas. *Total Productive Maintenance (TPM). Concepts and literature review, principal consulting engineering books automation*, Inc. USA, 2006. 212 p.
12. SACRISTÁN, Rey. *Mantenimiento total productivo, proceso de implementación y desarrollo*. Madrid: Fundación Confederal, 2004. 410 p.
13. SUZUKI. *TPM en industria de proceso productivo, TGP*. Hoshin, 2008. 718 p.
14. YAÑEZ, Fabián. *Programa de desarrollo tecnológico en el campo de tratamiento de aguas residuales, anexo 1: "Normas de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales"*. [Borrador, para discusión]. Guatemala: Organización Panamericana de la Salud: Programa de Salud y Ambiente. Proyecto: Medio Ambiente y Salud para el Istmo Centroamericano (MASICA), 1993. 163 p.

ANEXOS

Anexo 1. **Aplicaciones del biogás producido por las RAFAS**

- Concepto de biogás: el biogás o gas biológico es llamado así debido a que se obtiene por la degradación que producen organismos vivos a desechos orgánicos en forma natural. El biogás arde con llama azul pálido y los análisis muestran que está compuesto principalmente por metano y bióxido de carbono.

- Utilización del biogás:
 - Quemadores: dispositivos que sirven para mezclar un combustible con un carburante en forma y proporciones convenientes para producir combustión completa.

 - Lámparas: el uso de lámparas en iluminación tiene gran aceptación en aquellas regiones urbanas no electrificadas y donde el costo para la adquisición de combustibles tales como kerosén y propano es alto; en esta rama puede trabajarse con la adaptación de lámparas comerciales que se dispongan en el lugar, o bien podría pensarse en la fabricación de lámparas con accesorios de hierro galvanizado que es de fácil adquisición.

 - Adaptación de estufas a biogás: esta es otra de las aplicaciones del biogás que ha tenido mucho éxito en el área rural, ya que en


distintos casos han sustituido combustibles tradicionales como leña, kerosén y propano.

- Adaptación de estufas comerciales de propano a biogás: básicamente se trata de mantener con esta adaptación el mismo flujo calorífico en cada uno de los quemadores con base en las distintas propiedades y constantes de cada uno de los gases a intercambiar tales como: presión de trabajo, densidad relativa, poder calorífico, calibres de agujeros de peso de gas, entre otros.
- Adaptación de refrigeradoras de absorción: el biogás también puede utilizarse para el funcionamiento de unidades de refrigeración del tipo de absorción, las cuales utilizan como fluido de trabajo una mezcla de agua amoníaco y como combustible tradicional kerosén, gas propano o gas natural. La adaptación consiste en efectuar un trabajo en el quemador para que mantenga una cantidad equivalente de flujo calorífico.
- Adaptación de motores a biogás: el biogás también puede utilizarse para mover motores de combustión interna de cuatro tiempos; los motores de dos tiempos no se pueden adaptar a biogás, ya que en estos el combustible se mezcla con el aceite que lubrica las partes móviles en el interior del motor. Por tener el biogás un poder antidetonante, puede ser utilizado en motores diésel, mezclando el biogás con el aire de admisión y comprimiéndolo sin riesgos de que pueda efectuarse una autoignición. Esta cualidad del biogás permite que se le pueda extraer su máximo poder calorífico cuando este se utiliza en estos motores. Cuando se utilizan motores de gasolina, por tener estos

una relación de compresión menor que los motores diésel, no se le puede extraer su máximo poder calorífico al biogás.

- Adaptación de otros equipos: el biogás puede utilizarse para sustituir combustibles tradicionales tales como diésel, kerosén, propano, entre otros, empleando siempre el concepto de mantener el mismo flujo calorífico, y en algunos casos sacrificando un poco la eficiencia de combustión debido al porcentaje alto de CO₂ en la mezcla, lo cual se hace así para no incrementar los costos de operación que provocaría el filtrado. Entre otras aplicaciones que utilizan los mismos principios de adaptación se encuentran:
 - Incubadoras de lechones y pollos: en grandes avícolas y porquerizas existen aplicaciones, una de ellas es proporcionar a las crías ambientes con temperaturas agradables para evitar la muerte debido a las bajas temperaturas.
 - Secadores de granos y otros productos: el biogás también puede ser utilizado como combustible para intercambiadores de calor indirecto donde el calor generado puede utilizarse para disminuirle la humedad relativa al aire utilizado en el secado de granos.

Anexo 2. Capacitaciones

		CONTROL DE INGRESO A CONTRATISTAS CODIGO: 6678-SHE-REG-00-001		SALUD, SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE (SHE)				
Elaboro: Supervisor de Seguridad Industrial		Reviso: Jefe de Seguridad Industrial		Aprobo: Jefe de Seguridad Industrial				
				Paginas: 1 de 1				
NOMBRE	EMPRESA	CARNE IGSS Ó # POLIZA	FECHA DE LA CHARLA	ENTREGA DE CARNET	Capacitacion Seguridad Industrial	Capacitacion Trabajo en Altura	Capacitacion Trabajo en Caliente	Capacitacion Trabajo Espaci Confinado
CONTROL DE CAMBIOS								
Version		Fecha del cambio		Cambios realizados				

Fuente: archivos de Malher, S. A.

Anexo 3. Constancia de capacitación

safety health environment sustainability **she:**

Nombre: _____

Número de DPI: _____

Empresa contratista: _____

Fecha de vencimiento: _____

Capacitación Recibida:

- Seguridad Industrial
- Seguridad en Transporte
- Trabajos en Altura
- Trabajos en Caliente
- Trabajos en Espacio confinado
- Trabajos Eléctricos

"Recuerde cumplir con todos los requerimientos de seguridad comunicados"

"SH&E se reserva el derecho de retirar este documento ante cualquier incumplimiento de seguridad"

_____ Firma

_____ Sello

Fuente: archivos de Malher, S. A.

Anexo 4. Participación en las capacitaciones



Continuación de anexo 4.



Fuente: instalaciones de Malher, S. A.

Anexo 5. Equipo multidisciplinario



Fuente: archivos de Malher, S. A.

Anexo 6. Desarrollo del proyecto



Continuación del anexo 6.



Continuación del anexo 6.



Fuente: instalaciones de Malher, S. A.

