

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL USO DE UN EVAPORADOR EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE UNA EMPRESA DE PROCESAMIENTO DE SUBPRODUCTOS CÁRNICOS.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Rodríguez M., Fabiola A.
Para optar al Título
de Ingeniero Químico

Caracas, 2012

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL USO DE UN EVAPORADOR EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE UNA EMPRESA DE PROCESAMIENTO DE SUBPRODUCTOS CÁRNICOS.

TUTOR ACADÉMICO:
Prof. Armando Vizcaya

TUTOR INDUSTRIAL:
Ing. Alejandro Karcz

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Rodríguez .M, Fabiola A.
Para optar al Título
de Ingeniero Químico

Caracas, 2012

Caracas, Noviembre de 2012

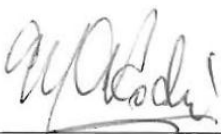
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Fabiola A. Rodríguez M., titulado:

**“EVALUACIÓN DEL USO DE UN EVAPORADOR EN EL
TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES
INDUSTRIALES DE UNA EMPRESA DE PROCESAMIENTO DE
SUBPRODUCTOS CÁRNICOS.”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



Prof. Andrés Rosales
Jurado



Profa. María Rodríguez
Jurado



Prof. Armando Vizcaya
Tutor Académico

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la constancia y la luz para recorrer este camino.

A mis padres porque realmente son los mejores en todo el mundo, nadie que haya conocido tiene seres tan maravillosos a su lado, son perfectos.

A mi hermana por ser como mi bebé.

A mis abuelitos por ser tan amorosos, incondicionales y consentidores.

A Abrah por haberme acompañado durante todos estos años y hacerme entender que todo no es perfecto pero se puede ser feliz.

A todos LOS AMO, aunque a menudo no lo diga.

AGRADECIMIENTOS

A mi Papá por enseñarme que con trabajo duro y constancia se puede hacer cualquier cosa que se desee, por transmitirme fortaleza y que lo importante es tener salud pues el resto se logra en el camino, por dedicar tanto tiempo a cuidarme y protegerme por sobre todas las cosas.

A mi Mamá por el amor que me da a diario, por ser tan esmerada y desinteresada en sus cuidados y detalles, por enseñarme a tener Fe.

A Abrah por hacerme reír, por darme tantos momentos de felicidad durante todos estos años y ayudarme a tomar decisiones.

A mi Hermana Rana por mostrarme que cada generación es diferente y enseñarme que debemos respetar la individualidad de cada ser humano y aun así querernos infinitamente.

A mis abuelitos por esas comidas deliciosas y las bendiciones diarias.

Al Profesor Vizcaya por su paciencia, dedicación y mostrarme otra forma de aprender. Por su entrega diaria y desinteresada a la universidad. Gran Amigo.

A mis compañeros en Mini Bruno por colaborar conmigo en la realización de este trabajo, en especial a Erick L. por ser tan dispuesto y servicial.

Rodríguez M., Fabiola A.

EVALUACIÓN DEL USO DE UN EVAPORADOR EN EL TRATAMIENTO PRIMARIO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE UNA EMPRESA DE PROCESAMIENTO DE SUBPRODUCTOS CÁRNICOS.

Tutor Académico: Prof. Armando Vizcaya. Tutor Industrial: Ing. Alejandro Karcz.

**Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química
Año 2012, 56 pág.**

Palabras claves: Evaporadores, DBO, DQO, Nitrógeno Orgánico, Nitrógeno Amoniacal, pH, Turbidez, Mini Bruno Sucesores C.A., Tratamiento de Aguas Residuales, Productos Cárnicos.

Resumen: El agua es un recurso natural preciado para la vida en el planeta, es por ello que tratar los efluentes generados por el ser humano en todas las actividades relacionadas con su existencia se ha convertido en un objetivo clave en todos los aspectos de nuestra vida. Es responsabilidad de toda industria que genera cualquier producto depurar el agua que emplea en sus procesos. En la actualidad existen diversos métodos para tratar los efluentes residuales industriales. Pensando en ejecutar un tratamiento primario del agua que sea eficiente, de bajos costos y ecológico se ha considerado el proceso de evaporación como una alternativa.

El trabajo de investigación se efectuó en la empresa Mini Bruno Sucesores C.A., la misma está dedicada al procesamiento de subproductos cárnicos para elaborar alimentos concentrados de consumo animal, dicha compañía se encuentra en proceso de adecuación ambiental y existe una empresa que ofrece un evaporador como alternativa de tratamiento de agua residuales razón por la cual se desea estudiar si el empleo de este equipo es viable como tratamiento primario, para ello se decidió utilizar los equipos disponibles en planta y laboratorio a los fines de desarrollar un experimento que permita obtener conclusiones al respecto.

Con el fin de cumplir los objetivos, la investigación se realizó en varias fases. En principio se empleó un evaporador disponible en el laboratorio que consta de un condensador, una bomba de vacío y dos balones de 500 ml, la idea era cumplir con las dos únicas variables suministradas por el vendedor del equipo: 1) funciona a 75°C y 2) la velocidad de evaporación es de 22m/s. Posteriormente se realizaron adaptaciones de un reactor para simular la experiencia; ya que en el ensamblado inicialmente no era posible reproducir los valores mencionados.

Se evaluó, tanto en la corriente de entrada como en el condensado de salida, un total de doce parámetros obteniendo porcentajes de reducción entre un 40 y un 80% en los mismos. Se observó que cuando el equipo operaba a menos de 75°C la velocidad aumentaba y se producía mucho arrastre disminuyendo la calidad del condensado.

Se recomienda en el presente trabajo diseñar un sistema de alimentación continua para evaluar los parámetros que hacen que el equipo funcione a las condiciones de diseño, sin embargo, en vista de los resultados obtenidos se recomienda comprar el equipo ya que la reducción de los parámetros estudiados se consideran muy superiores a las obtenidas en tratamientos primarios convencionales.

INDICE

INDICE	v
INDICE DE FIGURAS	vii
INDICE DE TABLAS	viii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
OBJETIVOS	4
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
CAPITULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
AGUA.....	5
IMPORTANCIA DEL AGUA	5
TIPOS DE AGUA RESIDUALES	6
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	6
IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.....	9
CARACTERÍSTICAS DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE INDUSTRIAS MANEJADORAS DE PRODUCTOS CÁRNICOS	9
PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES	12
EVAPORACIÓN.....	14
TIPOS DE EVAPORADORES.....	14

DESCRIPCIÓN DE LOS ANTECEDENTES	21
CAPITULO III	23
MARCO METODOLÓGICO	23
EVALUACIÓN PRELIMINAR	23
CAPÍTULO IV	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	35
CAPÍTULO V.....	43
CONCLUSIONES.....	43
CAPITULO VI	44
RECOMENDACIONES.....	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

INDICE DE FIGURAS

Figura N°1 Esquema general de tratamiento de aguas residuales.	7
Figura N° 2 Evaporador de Película Descendente	15
Figura N° 3 Evaporador de Película Ascendente.....	16
Figura N° 4 Evaporador de Circulación Forzada.....	16
Figura N° 5 Evaporador de Circulación Natural.....	17
Figura N° 6 Evaporador de Tubos Cortos Horizontales.....	17
Figura N° 7 Evaporador de Tubos Cortos Verticales	18
Figura N° 8 Evaporador de Tubos Largos	19
Figura N° 9 Evaporador de Flujo Expandido.....	19
Figura N° 10 Evaporador de Película Delgada Mecánica	20
Figura N° 11 Evaporador de Baja Temperatura.	20
Figura N° 12 Evaporador ensamblado en el laboratorio de calidad	24
Figura N° 13 Evaporador ensamblado en el laboratorio de diseño y desarrollo.	24

INDICE DE TABLAS

Tabla N°1 Caracterización de aguas residuales de Matadero (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Perú, 1991).	10
Tabla N° 2 Parámetros de descarga a cuerpo de aguas (Decreto 883,1995).....	11
Tabla N° 3 Caracterización de aguas residuales en empresa productora de Sebo (Laboratorio Ambiental SGC. Chile, 2010)	21
Tabla N° 4 Caracterización de aguas residuales en empresa productora de Sebo (México, 2010)	22
Tabla N° 5 Valores de Fósforo según longitud de onda obtenida.....	32
Tabla N° 6 Apertura de la válvula de la bomba de vacío vs. Temperatura de ebullición en el evaporador.....	37
Tabla N° 7 Resultados obtenidos de análisis realizados en el laboratorio de Mini Bruno Sucesores.	38
Tabla N° 8 Resultados obtenidos de análisis realizados en el laboratorio externo (CENPROACA).....	39
Tabla N° 9 Volumen del evaporador ofertado.	40
Tabla N° 10 Volumen de equipos del tratamiento primario aplicado en Planta Santa Cruz.	40
Tabla N° 11 Consumo de químicos de los sistemas considerados.....	41
Tabla N° 12 Número de operadores por turno de los sistemas a comparar.	41
Tabla N° 13 Efluentes a la salida del tratamiento primario en los distintos sistemas.	41

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales industriales es el nombre que se le da al proceso mediante el cual se remueven contaminantes presentes en los efluentes empleados en procesos de manufactura a través de procesos: químicos, físicos y biológicos. Su empleo se remonta hasta el 2000 A. C. cuando los griegos empleaban tanques de aireación para purificar el agua. Posteriormente es a los romanos a quienes se les considera los mayores arquitectos en construcciones de sistemas de tratamiento y redes de distribución de agua (Orozco M, 1998).

Actualmente el proceso de tratamiento de aguas es frecuente en todos los países del mundo en vista del creciente cambio climático que se vive a diario. Es necesario que se concientice a la población mundial respecto a la importancia del agua como fuente indispensable para la vida y como herramienta de trabajo. El agua después de ser usada a nivel residencial o industrial es contaminada con impurezas que se pueden encontrar en solución, suspensión y partículas coloidales; la misma debe pasar por un proceso de adecuación antes de ser reutilizada o vertida a ríos, mares y lagos. A efectos de la investigación el trabajo se enfocará en las aguas residuales de origen industrial cuyo tratamiento dependerá de los contaminantes que se hayan incorporado en el proceso productivo asociado.

Para la realización del tratamiento de aguas residuales industriales se emplean diferentes etapas, entre las cuales destacan: El tratamiento primario que permite efectuar una separación gruesa de los sólidos, tratamiento secundario que consiste en la remoción de la materia orgánica presente y un tratamiento terciario que sirve como afinamiento para retirar cualquier contaminante presente luego de las etapas previas.

En el presente Trabajo Especial de Grado se estudió el empleo de un evaporador como tratamiento primario de las aguas residuales industriales de la empresa Mini

Bruno Sucesores C.A., ensamblando a escala de laboratorio, un evaporador. Para verificar que el evaporador actuaba descontaminando el agua de alimentación se procedió a caracterizar el líquido a la entrada y el condensado de salida midiendo parámetros como: DBO, DQO, Nitrógeno, Fósforo, Temperatura, pH, Turbidez, sólidos: suspendidos, fijos, volátiles, flotantes, grasas y aceites. Todo ello con el objetivo de determinar si es posible emplear este tipo de equipo como tratamiento primario de efluentes residuales industriales.

La evaporación es un método de separación ampliamente empleado en distintas industrias pero que no ha sido utilizado en sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales. Este proceso emplea vapor vivo para producir el calentamiento de la solución con su consecuente evaporación y posterior condensación, permite obtener dos productos, un condensado que ira a un tratamiento posterior y un concentrado que por la naturaleza de la empresa en la cual se desarrolla el proyecto será reprocesado alimentándolo nuevamente al proceso productivo. La principal ventaja del empleo de este equipo radica en la disminución de costos de aditivos químicos empleados en tratamientos primarios convencionales y en el uso de menores espacios con la obtención de altos porcentajes de reducción de los parámetros de caracterización.

El Standard Method for the Examination of Water and Wastewater (1.995) fue la metodología empleada para la caracterización de los parámetros de entrada y salida que permitieron evaluar el proceso de evaporación como alternativa en el tratamiento primario de aguas residuales industriales.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La sede principal de Mini Bruno Sucesores C. A. está ubicada en la carretera vieja Caracas-Los Teques, esta compañía se dedica al procesamiento de subproductos cárnicos; en los últimos años la zona ha sufrido una explosión demográfica en sus alrededores, razón por la cual han surgido quejas constantes de estas nuevas comunidades por los fuertes olores y descargas de efluentes residuales industriales al Río Guaire. En su constancia y afán por el mejoramiento continuo, la empresa planteó ante el Ministerio del Ambiente un proyecto integrado de mejora ambiental, el cual fue avalado y aprobado por dicho ente gubernamental, esto permitirá además cumplir con los Decretos N° 883 de la Gaceta oficial N° 5021 y 638 de la Gaceta oficial N° 4899 de la República Bolivariana de Venezuela. En el proyecto se contempla el tratamiento de efluentes líquidos; para ello se instalará una planta de tratamiento de aguas residuales. En este sentido la empresa en vista del espacio del que dispone y de la cantidad de reactivos que requiere un tratamiento tradicional se avocó a la búsqueda de nuevas alternativas, encontrando una compañía que ofrece como tratamiento primario un evaporador, es por ello que se plantea la inquietud de verificar a pequeña escala si este proceso de separación unitaria funciona como tratamiento primario de sus efluentes. Éste método no ha sido empleado en este tipo de industria, los únicos antecedentes que se poseen al respecto son en las industrias de pesca de Chile y México donde se emplean estos equipos para recuperar proteínas y alimentarlas nuevamente al proceso. Debido a lo anterior se estudió y evaluó, a escala de laboratorio, el funcionamiento de un evaporador como tratamiento físico-térmico primario de las aguas residuales industriales de la empresa Mini Bruno Sucesores C.A. Todo ello con la finalidad de validar la oferta que le están realizando a la empresa, emplear un proceso de tratamiento novedoso y que ofrezca altos porcentajes de reducción de los parámetros críticos de caracterización.

OBJETIVOS

A continuación se presentan los objetivos a alcanzar durante el desarrollo de éste Trabajo Especial de Grado.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la validez del proceso de evaporación como alternativa en el tratamiento primario de efluentes residuales industriales de una empresa de procesamiento de subproductos cárnicos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer los fundamentos teóricos que permitan conocer qué tipo de evaporador es más recomendable para emplear en tratamiento de efluentes residuales.
- Instalar a escala de laboratorio el sistema de tratamiento de aguas empleando un evaporador.
- Poner a punto el sistema con los parámetros de Temperatura y Velocidad suministrados por la empresa que ofrece el equipo.
- Caracterizar las corrientes de entrada y salida del evaporador a escala de laboratorio.
- Comparar en cuanto a: espacio, insumos y dificultad de operación el tratamiento físico-químico primario realizado en Planta Santa Cruz con el físico-térmico que se espera emplear en Planta Rio Cristal.
- Establecer las variables y equipos que hacen que el evaporador ensamblado a escala de laboratorio opere de forma eficiente.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

En esta sección se presentan los conceptos necesarios para conocer los parámetros que permitan el empleo de un evaporador como tratamiento primario de efluentes residuales industriales de una empresa de procesamiento de subproductos cárnicos.

Para ello se realiza una revisión de la definición de agua, tipos de agua residuales y tratamiento primario de aguas residuales y luego serán desarrollados conceptos relacionados con la evaporación y los tipos de evaporadores existentes en la actualidad finalmente se describirán los procedimientos empleados para determinar los parámetros de caracterización de aguas residuales de origen industrial.

AGUA

Es una sustancia cuyas moléculas están compuestas por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno. Se trata de un líquido inodoro, insípido e incoloro, aunque también puede hallarse en estado sólido (cuando se conoce como hielo) o en estado gaseoso (vapor).

IMPORTANCIA DEL AGUA

Las actividades tanto sociales como económicas requieren en gran medida de la disponibilidad del agua para llevarse a cabo. La existencia de agua potable y el tratamiento de las aguas utilizadas son condiciones esenciales para preservar la vida en el planeta. El cuerpo humano está constituido en un 65% de agua y el planeta está conformado por una superficie de 71%. Sus características la hacen vital para todas las actividades de los seres vivos. Es empleada para:

- Consumo humano.
- Riego de cultivos.
- Actividades ganaderas.

- Medio de transporte.
- Medio de relación y decoración.
- Actividades deportivas.

Es un hecho que la población mundial aumenta diariamente y con ello el consumo de agua y las actividades que la degradan (Reynold K, 2002).

TIPOS DE AGUA RESIDUALES

Las aguas residuales son todas aquellas que han sido empleadas en un proceso y cuyas características finales son diferentes a las iniciales (Rodríguez A, 2010), así se distinguen:

Aguas residuales urbanas: son las constituidas por la mezcla de aguas residuales industriales, aguas residuales domésticas y aguas de escorrentía pluvial, son colectadas usualmente en un mismo sistema de alcantarillado y enviadas posteriormente a un sistema de tratamiento. Presentan homogeneidad en cuanto a composición y contaminantes; en los rangos de contaminación influyen factores como el número de habitantes, los tipos de industrias existentes en los núcleos, etc.

Aguas residuales domésticas: son provenientes de zonas de viviendas y edificaciones, generadas sólo por actividades domésticas y metabolismo humano. Su principal contaminante es la materia orgánica presente en solución y suspensión y altas cantidades de nitrógeno, sales minerales y fósforo.

Aguas residuales industriales: son todas aquellas vertidas por locales que efectúan cualquier actividad de índole industrial o comercial. Poseen características muy variables ya que dependerá del caudal y características del vertido que efectúe la industria, en general adicionan contaminantes mucho más difíciles de eliminar y en mayor proporción que las descritas anteriormente.

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de aguas residuales industriales consiste básicamente en tres etapas: Las primeras fases están destinadas a eliminar sólidos en suspensión, grasas, aceites,

y metales, las etapas primarias son: cribado, neutralización, coagulación-floculación, sedimentación, filtración, desarenado y desaceitado. En los tratamientos secundarios se deben eliminar la materia orgánica biodegradable y se emplean lagunas, lodos activados y percoladores. Para la fase terciaria se emplean procesos de precipitación química, oxidación, incineración, despojamiento, procesos de membranas, electroquímicos, carbón activado todos estos para eliminar sales disueltas, micro contaminantes y afinar las características del agua antes de su posterior descarga. En general el proceso de tratamiento permite reutilizar el vital líquido (Ver figura 1).



Figura N°1 Esquema general de tratamiento de aguas residuales.

Antes de iniciar la fase de tratamiento de cualquier efluente residual industrial se le realiza un pre-tratamiento cuya finalidad es separar del agua la mayor cantidad posible de materia y sólidos que por su naturaleza puedan afectar la operación en las fases posteriores. La aplicación de un método u otro depende fundamentalmente de la concentración del contaminante y del caudal del efluente. A continuación se describen las operaciones más utilizadas (Romero J, 1999):

- Desbaste: consiste en emplear rejillas, rejillas o tamices para separar los sólidos de mayor tamaño presentes en el agua evitando posibles obstrucciones en los equipos de la planta. Si el tipo de sólidos lo permite, se emplean trituradoras, reduciendo el

tamaño de sólidos y separándose posteriormente por sedimentación u otras operaciones. Las rejillas empleadas pueden ser de limpieza manual o automática.

- Neutralización: consiste en llevar el valor del pH del efluente lo más cercano a 7 o a los límites establecidos antes de enviarlo al tratamiento posterior, para ello se dosifica soda, cal, o ácido sulfúrico, la selección del aditivo dependerá de su costo, facilidad de compra y traslado

- Desaceitado y Desengrasado: se realiza cuando la temperatura del agua es tan baja como para permitir la coagulación de la grasa, en general estos dispositivos se reduce la velocidad del flujo y proporcionan una superficie tranquila que fomenta el ascenso de los aceites y grasas para su separación. La entrada de líquido en el sistema debe realizarse de 15 a 20 cm por debajo del nivel del agua, con el fin de no emulsionar nuevamente las grasas separadas. La recogida en superficie y la evacuación, dentro de lo posible, se efectuará por vertido, o por arrastre sobre un tornillo sinfín.

Luego de realizar el pre-tratamiento se pasa a la fase del tratamiento primario en el cual se realiza la oxigenación de lodos, la eliminación de espuma y cualquier otro elemento flotante y es removido cualquier sólido que no haya sido captado en el pre-tratamiento. Se tienen entonces los siguientes tratamientos primarios:

- Floculación y Coagulación: La Coagulación consiste en la desestabilización de las partículas coloidales, empleando productos químicos (coagulantes) que neutralizan la carga eléctrica de los coloides; la Floculación consiste en la agrupación de las partículas coloidales desestabilizadas, formando agregados de mayor tamaño denominados “flóculos”, los cuales sedimentan por gravedad. Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales de aluminio y hierro junto con poli-electrolitos orgánicos, cuyo objetivo es favorecer también la floculación.
- Sedimentación: consiste en la separación de materia por acción de la gravedad la cual hace que las partículas más densas se depositen en el fondo del equipo. A

esta operación se le suele denominar también decantación. El objeto de este proceso es la obtención de un clarificado y un lodo ambos productos recibirán tratamiento posterior.

IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.

La importancia del tratamiento de las aguas residuales de origen industrial radica en que es el único recurso creado hasta el momento por el hombre que permite disminuir la carga de contaminantes, incorporados al agua luego de su utilización en procesos de manufactura, antes de ser devuelta a la naturaleza.

Este tratamiento es esencial para incrementar el tiempo de vida en el planeta, es necesario que la población entienda que el agua es un recurso finito y que debido a que es indispensable para la vida es necesario trabajar en su preservación.

Existen desde métodos rudimentarios, como la colocación de simples mallas elaboradas a mano para separar sólidos de diferentes tamaños, hasta bio-reactores que emplean tecnología de punta para la depuración, independientemente del tratamiento efectuado lo importante es que luego de emplear el agua en cualquier proceso se devuelva al medio ambiente con la menor carga de contaminantes posible (Kemmer F., 1979).

CARACTERÍSTICAS DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE INDUSTRIAS MANEJADORAS DE PRODUCTOS CÁRNICOS

Los principales contaminantes presente en aguas empleadas en actividades de procesamiento de productos y subproductos cárnicos son: sangre, vísceras, heces y orina. Estos contaminantes se incorporan al agua en el proceso de matanza y traslado de los residuos originados ya que son plantas, que debido al tipo de material que manejan, deben tener las áreas de trabajo completamente limpias. La tabla N° 1 muestra los parámetros estudiados en el agua residual de un matadero ubicado en Munich.

Tabla N°1 Caracterización de aguas residuales de Matadero (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Perú, 1991).

Sustancias sedimentables, ml/l	10	Grasa, mg/l	108
pH	7	Nitrógeno (N), mg/l	145
Sustancias no disueltas, mg/l	580	Pentóxido de fosforo, mg/l	19
Sólidos fijos, mg/l	81	Óxido de potasio, mg/l	29
Sólidos Volátiles, mg/l	498	Óxido de calcio, mg/l	131
Sustancias disueltas, mg/l	1206	Consumo de KMnO ₄ , mg/l	154
Sólidos fijos, mg/l	272	DBO ₅ , 20, mg/l	838
Sólidos Volátiles, mg/l	934		
Alcalinidad, ml ácido/l	7		

Cuando la sangre y los productos residuales no son recolectados rápida y apropiadamente la carga orgánica puede ser de dos a tres veces mayor a la mostrada en la tabla anterior.

Debido al valor de los parámetros mostrados en la Tabla N°1 usualmente la bibliografía sugiere una tecnología relativamente sencilla para extraer hasta el 95 por ciento de los sólidos en suspensión y posiblemente el 70% de la demanda bioquímica de oxígeno por medio del tratamiento fisicoquímico. El procedimiento fisicoquímico consiste en: acondicionamiento o pre-tratamiento de las aguas residuales mediante la incorporación de coagulantes y agentes de floculación para facilitar la sedimentación de los sólidos en suspensión. Esta fase va seguida de la clarificación: paso a través del depósito de sedimentación que separa el sedimento pesado del flotante, que es un líquido claro casi desprovisto de sólidos en suspensión y con unos niveles muy reducidos de demanda bioquímica de oxígeno.

Las aguas residuales de matadero presentan concentraciones significativas de materia orgánica (DQO 2500 mgO₂/dm³) y nitrógeno (NKT250 mgN/dm³). La fracción suspendida, constituida principalmente por grasas y proteínas, representa entre un 30

y un 60% del contenido total en materia orgánica siendo el principal factor que limita la aplicación de biorreactores de alta carga.

DECRETO 883

Al igual que en otros países, en Venezuela existen regulaciones respecto a las descargas a cuerpos de agua de efluentes residuales industriales, el decreto 883 fue publicado en el año 1995 Gaceta Oficial N° 5.021. De las descargas a cuerpos de agua se estipulan los siguientes parámetros como límites máximos de descarga:

Tabla N° 2 Parámetros de descarga a cuerpo de aguas (Decreto 883,1995).

Parámetros Físico-químicos	Límites máximos o rangos
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales	20 mg/l
Alkil mercurio	No detectable (*)
Aldehídos	2,0 mg/l
Aluminio total	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Boro	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cloruros	1000 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Color real	500 unidades de Pt-Co
Cromo total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5,20})	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350 mg/l
Detergentes	2,0 mg/l
Dispersantes	2,0 mg/l
Espuma	Ausente
Estaño	5,0 mg/l
Fenoles	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total (expresado como fósforo)	10,0 mg/l
Hierro total	10 mg/l
Manganeso total	2,0 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	40 mg/l
Nitritos + nitratos (expresado como nitrógeno)	10 mg/l
pH	6 – 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,05 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos suspendidos	80 mg/l
Sólidos sedimentables	1,0 ml/l

Continúa

Sulfatos	1.000 mg/l
Sulfitos	2,0 mg/l
Sulfuros	0,5 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Biocidas	
Organoclorados	0,05 mg/l
Organofosforados y Carbamatos	0,25 mg/l
Radiactividad	
Actividad α	0,1 Bq/l.
Actividad β	1,0 Bq/l.

PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

- **DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno, es la cantidad de oxígeno en miligramos requerida por los microorganismos para la oxidación bioquímica de la materia orgánica de un litro de agua residual, en determinadas condiciones (20°C) y durante un tiempo dado (5 días). Es el parámetro más ampliamente usado para diseñar unidades de tratamiento biológico, evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y fijar las cargas permisibles en fuentes receptoras. Debido a que experimentalmente se determina a 20°C y el ensayo dura 5 días se le conoce como (DBO₅, 20, mg/l).
- **DQO:** Demanda Química de Oxígeno (DQO, mg/l), es la cantidad total de oxígeno, en miligramos, necesario para oxidar tanto la materia orgánica, degradable biológicamente, como el resto de la materia orgánica oxidable químicamente presente en un litro de agua residual mediante un agente químico oxidante, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a altas temperaturas. Para la oxidación se emplea como catalizador el sulfato de plata.
- **Fósforo:** Las formas frecuentes en que se encuentra el fósforo en soluciones acuosas son ortofosfatos (PO_4^{-3} , HPO_4^{-2} , $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$ y H_3PO_4), polifosfatos (moléculas con dos o más átomos de fósforo) y fosfato orgánico. Son esenciales en el crecimiento de protistas y plantas. Debido a los crecimientos indeseables de algas que ocurren en aguas superficiales existe marcado interés en removerlo de las mismas.

- **Nitrógeno:** Comprende el contenido de varios compuestos: nitrógeno orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos. Todas las anteriores son compuestos que se pueden convertir bioquímicamente y a su vez son componentes del ciclo del nitrógeno. Se denomina NTK, Nitrógeno Total Kjeldhal, al nitrógeno orgánico más el nitrógeno amoniacal.
- **pH:** Medida de la concentración del ion hidrógeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar de ion hidrógeno. Es una medida estándar de la neutralidad de los líquidos. Permite predecir el tipo del tratamiento ya que influye directamente en los procesos biológicos involucrados, generalmente debe ser mantenido entre 6,5 y 8,5.
- **Temperatura:** Influye en la cantidad de oxígeno disuelto, en los procesos aerobios y en la intensidad de las reacciones químicas. La tasa de sedimentación de sólidos es mayor en aguas cálidas que en aguas frías, por el cambio de viscosidad.
- **Sólidos Disueltos:** Es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua, comprende las sustancias orgánicas e inorgánicas solubles en agua.
- **Sólidos Suspendidos:** Están conformados por los sólidos suspendidos fijos y los sólidos suspendidos volátiles. El primero mide principalmente la cantidad de sólidos inorgánicos presentes y el segundo los sólidos orgánicos.
- **Sólidos Flotantes:** Son todos aquellos sólidos que se encuentran flotando en la superficie del agua. Sus dimensiones les permiten ser removidos por un sistema de desbaste.
- **Sólidos Totales:** son la suma de los sólidos suspendidos totales y los sólidos disueltos.
- **Grasas y Aceites:** Comprende las grasas (sólidas), aceites (líquidos) y las ceras, los cuales tienden a hidrolizarse para producir ácidos grasos y alcoholes. Son compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno que flotan en el agua residual, recubren las superficies con las cuales entran en contacto; interfieren con la actividad biológica, debido a que impiden la transferencia de oxígeno en el agua.

- **Turbidez:** Es la expresión de la propiedad óptica que causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra. La turbidez en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas.

EVAPORACIÓN

La evaporación es un fenómeno que ha existido desde el inicio del planeta tierra, cuando al salir el sol se iniciaba dicho proceso en mares, ríos y lagos con la consecuente formación de nubes y posterior lluvia.

Se define como una operación unitaria la cual tiene como finalidad la concentración de una solución que consta de un soluto no volátil y un solvente volátil (McCabe, 1991).

Existen equipos denominados evaporadores que son intercambiadores de calor que constan de un dispositivo en el cual hierve la solución, un separador para separar la fase vapor del líquido y un condensador (Charles D, 1981).

TIPOS DE EVAPORADORES

Película descendente: Estos evaporadores son los más empleados en la industria de alimentos debido a que se considera que son sencillos de operar y de fácil mantenimiento. En estos equipos la alimentación se efectúa por el tope, el líquido a evaporar es precalentado y se hace circular por la parte superior del haz de tubos, a medida que se va generando vapor este va ascendiendo por la parte central del tubo formando un chorro de alta velocidad que arrastra líquido. Es posible mantener una baja temperatura y una ebullición uniforme. La unidad se recomienda para concentrar productos sensibles al calor debido a que tiene tiempos de residencia cortos. Se emplean entre 10 y 16 °C para concentrar jugos cítricos operando a presiones de vacío.

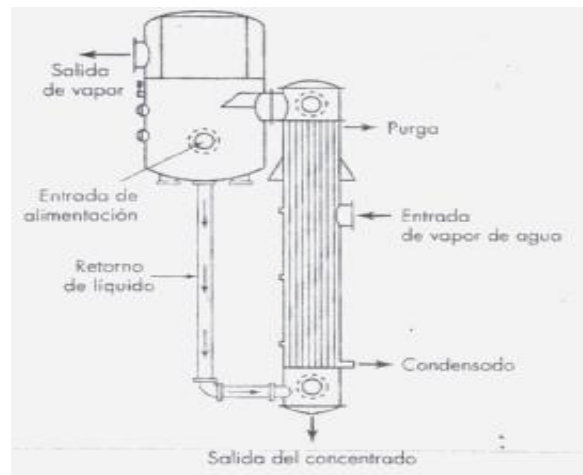


Figura N° 2 Evaporador de Película Descendente

Película Ascendente: La alimentación se efectúa por el fondo y el líquido va intercambiando calor a medida que asciende por los tubos. El vapor asciende a altas velocidades y arrastra líquido hacia la parte superior. La mezcla de vapor- líquido que emerge por la parte superior de los tubos pasa seguidamente a un separador en el que se elimina el vapor. El concentrado obtenido puede ser recirculado o pasar a un segundo evaporador. Para este tipo de evaporadores los coeficientes de transferencia de calor son altos y el tiempo de residencia es corto, razón por la cual los evaporadores de película ascendente son útiles para concentrar productos sensibles al calor.

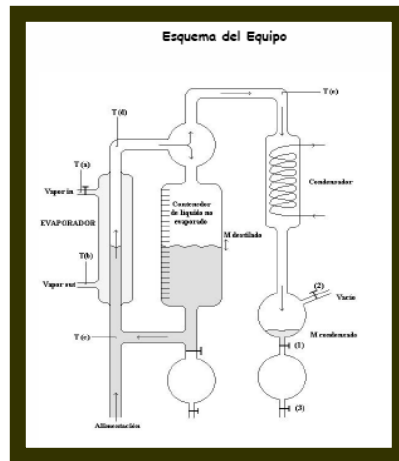


Figura N° 3 Evaporador de Película Ascendente

Circulación forzada: cuando los componentes presentes en la solución cristalizan, precipitan, incrustan fácilmente o tienen altas densidades se emplean este tipo de evaporadores. Para movilizar el fluido se emplean bombas centrífugas o de desplazamiento positivo.

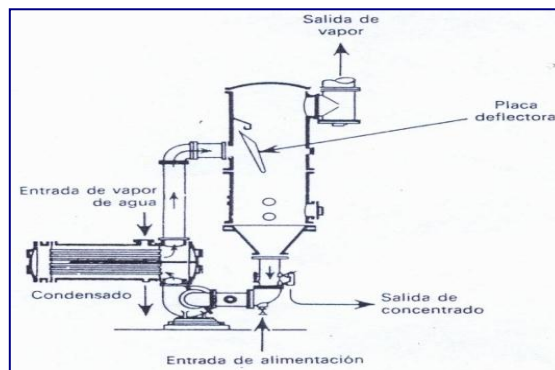


Figura N° 4 Evaporador de Circulación Forzada

Circulación Natural: en él se distribuyen un conjunto de tubos verticales dentro de una carcasa por donde circulará el vapor; a medida que se va calentando el líquido, el vapor va subiendo por el interior de los tubos, al mismo tiempo por el exterior condensa parte del vapor calefactor. El concentrado se puede extraer o introducir nuevamente al equipo si se desea aumentar su concentración y el vapor empleado

para calentar se pasa a un condensador si tiene valor añadido o se libera. Se emplean para tratar productos como leche y jugos de fruta.

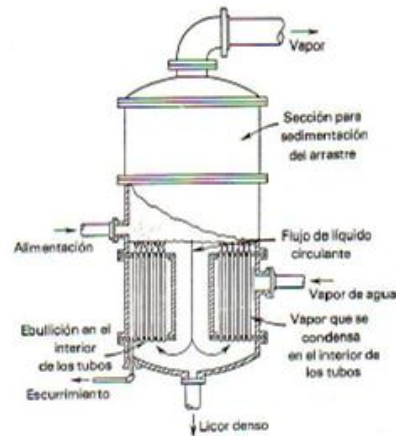


Fig. 19-4 Diagrama de sección transversal de un evaporador normal de tubos verticales con circulación natural.

Figura N° 5 Evaporador de Circulación Natural

De tubos cortos horizontales: Están formados por una cámara cuya base está atravesada por un haz de tubos cortos horizontales por los cuales circula vapor de agua que funciona como fluido calefactor. Por encima de los tubos existe un espacio que funciona como separador de las gotas que arrastra el vapor. El banco de tubos horizontales dificulta la circulación y en consecuencia los coeficientes globales de transferencia de calor de este tipo de evaporadores son bajos. Estos equipos se emplean para líquidos de baja viscosidad que no forman costras ni espumas.

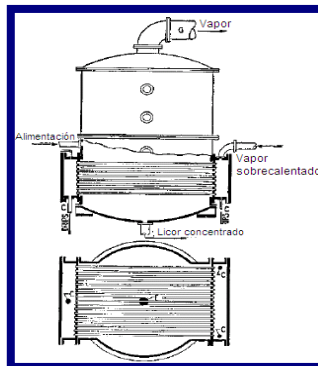


Figura N° 6 Evaporador de Tubos Cortos Horizontales

De tubos cortos verticales: Posee una serie de tubos cortos verticales dentro de una carcasa por donde circula el vapor. A medida que se calienta la solución que circula por el interior de los tubos el vapor generado va ascendiendo y arrastra el líquido, mientras que por el exterior de los mismos condensa el vapor calefactor. El concentrado y el vapor generado pasan luego por una cámara de vacío, el vapor se libera si no tiene valor agregado al proceso o se condensa para su reutilización; el concentrado se puede extraer del equipo si alcanzó las características deseadas. Este tipo de evaporadores alcanza buenas velocidades de evaporación para líquidos no corrosivos, resultan prácticos para operar con líquidos que forman costras, puesto que el interior de los tubos se puede limpiar fácilmente, se emplean usualmente para la concentración de azúcar de remolacha, glucosa, zumos de frutas, sales, azúcar de caña.

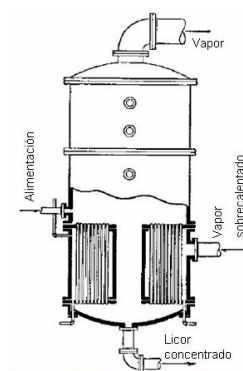


Figura N° 7 Evaporador de Tubos Cortos Verticales

De tubos largos: son especialmente eficaces para concentrar líquidos que tienden a formar espuma, puesto que la espuma se rompe cuando la mezcla de vapor y líquido choca a elevada velocidad contra las placas deflectoras que posee. El líquido y el vapor ascienden por el interior de los tubos, mientras que el líquido que se separa descende por gravedad hasta el fondo de los tubos. La alimentación usualmente se introduce de forma diluida y con temperaturas próximas al ambiente, entra por el fondo de los tubos, en el exterior de los cuales condensa vapor de agua. Son típicos los tubos de 1 a 2 pulgadas de diámetro y 3,5 a 10 metros de largo.

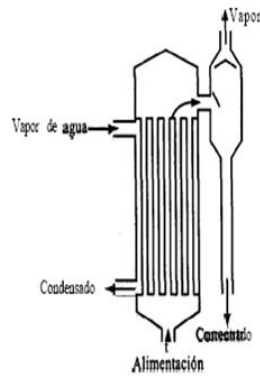


Figura N° 8 Evaporador de Tubos Largos

De flujo expandido: en estos equipos el líquido y el vapor fluyen por espacios alternados delgados en forma de conos invertidos, provistos de juntas de cierre para evitar fugas. El líquido de alimentación penetra por el eje de giro central situado en la base de la pila de conos y entra a través de boquillas de alimentación fluyendo de manera ascendente. Usualmente operan a presiones de vacío y el líquido alcanza rápidamente el punto de ebullición. La alta velocidad que adquiere el líquido en los conos determina la formación de delgadas películas turbulentas en evaporación que permiten que la transferencia de calor sea eficiente y cortos tiempos de residencia. La unidad se ha diseñado para su limpieza in situ. Se emplea para la concentración de productos lácteos y zumos de frutas.

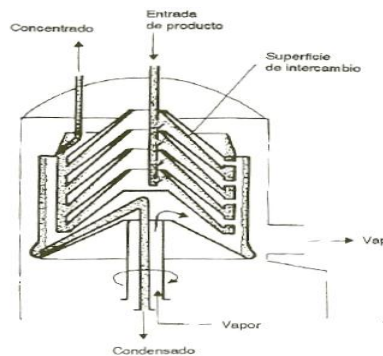


Figura N° 9 Evaporador de Flujo Expandido

De película delgada mecánica: han resultado muy exitosos cuando se necesita evaporar productos difíciles de altas viscosidades (50 -100 kg/ms), se emplean para la

concentración de productos sensibles al calor como pastas de tomate, café, leche, suero, malta y productos azucarados. La separación normalmente se lleva a cabo bajo condiciones de vacío. Está conformado por un cuerpo metálico y un rotor. Los más usados son los de diseño vertical con rotor fijo. Dentro del evaporador de diseño vertical, el producto entra tangencialmente a la unidad y es distribuido uniformemente sobre la circunferencia interior de la pared del cuerpo por el rotor. El producto desciende en espiral por la pared, mientras el rotor genera flujo altamente turbulento, resultando en flujo óptimo de transferencia de calor.

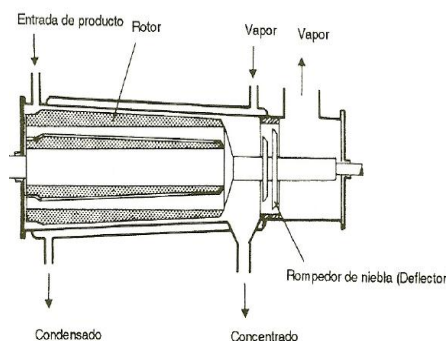


Figura N° 10 Evaporador de Película Delgada Mecánica

De baja Temperatura: Se emplean para concentrar productos que son altamente sensibles al calor, operan a presiones de vacío ya que es importante obtener el concentrado a bajas temperaturas. En los evaporadores de este tipo se usan temperaturas de ebullición tan bajas como 20 °C para evitar el daño térmico, siendo los tiempos de residencia de 20 – 35 minutos.



Figura N° 11 Evaporador de Baja Temperatura.

DESCRIPCIÓN DE LOS ANTECEDENTES

De acuerdo a la bibliografía revisada no se encontraron antecedentes que reflejaran el empleo de evaporadores en el tratamiento de efluentes residuales industriales de empresas de procesamiento de subproductos cárnicos; sin embargo existen industrias en Chile y México dedicadas a la elaboración de harinas y aceite de pescado que han implementado el proceso de evaporación en sus líneas con el fin de recuperar proteínas de los efluentes generados (Ver Tablas 3 y 4). De acuerdo a análisis realizados se estima que los equipos de evaporación empleados en las mencionadas plantas tienen porcentajes de reducción de DBO y DQO aproximadamente del 80%.

**Tabla N° 3 Caracterización de aguas residuales en empresa productora de Sebo
(Laboratorio Ambiental SGC. Chile, 2010)**

Análisis	Entrada al Evaporador	Condensado a la salida
Aceites y grasas mg/l	15	3
DBO5 mg/l	38718	761
DQO mg/l	112270	1920
Fósforo Total mg/l	1181	1,1
Nitrógeno Total mg/l	13328	479
pH	7	9
Sólidos Disueltos mg/l	48230	5
Sólidos Suspendidos Totales mg/l	45625	9
Sólidos Totales mg/l	93190	14

**Tabla N° 4 Caracterización de aguas residuales en empresa productora de Sebo
(México, 2010)**

Análisis	Entrada al Evaporador	Condensado a la salida
Aceites y grasas mg/l	515,7	10,5
DBO5 mg/l	5784	456
DQO mg/l	9680	856
Fósforo Total mg/l	3219	10
Nitrógeno Total mg/l	1073	280
pH	7,5	7,8
Sólidos Disueltos mg/l	61900	283
Solidos Suspendido Totales mg/l	56140	18
Sólidos Totales mg/l	90800	209

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se describe los procedimientos que se llevaron a cabo para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado para así cumplir con los objetivos planteados.

EVALUACIÓN PRELIMINAR

- Revisión bibliográfica: Se efectuó una revisión bibliográfica para conocer si existían trabajos relacionados con el objeto de estudio; para conocer sobre el proceso de evaporación y sobre las diferentes etapas del tratamiento de aguas residuales de origen industrial. Todo ello con el objetivo de entender el funcionamiento y las variables del equipo que se ensambló.
- Determinación de punto de toma de muestra: se realizó una evaluación del alcantarillado de planta para determinar el lugar más adecuado de toma de las muestras, es decir donde confluyeran todos los efluentes de los diferentes procesos con el fin de recolectar muestras representativas.
- Establecimiento del lugar de realización de la experiencia: se procedió a gestionar los permisos correspondientes en la empresa para trabajar en las áreas de laboratorio físico-químico y laboratorio de desarrollo ya que fue necesario disponer de un área amplia en dónde se pudieran ubicar los equipos y realizar las maniobras con el fin de ejecutar la experimentación.
- Determinación de parámetros de trabajo: Se establecieron los parámetros iniciales de trabajo que fueron necesarios para reproducir resultados semejantes a los que se obtendrían operando el evaporador ofertado; temperatura de ebullición de 75°C y velocidad de evaporación de 22 m/s.

TRATAMIENTO PRIMARIO EMPLEANDO EVAPORADOR

Para la realización de la experiencia se operó un evaporador ubicado en el laboratorio físico-químico y otro en el laboratorio de diseño y desarrollo de la empresa Mini Bruno Sucesores.

En el evaporador ubicado en el laboratorio físico-químico se inició la experiencia (Ver Figura N° 12).



Figura N° 12 Evaporador ensamblado en el laboratorio de calidad

En el evaporador ubicado en el laboratorio de desarrollo se afinó la operación y se reprodujeron las condiciones deseadas (Ver Figura 13).



Figura N° 13 Evaporador ensamblado en el laboratorio de diseño y desarrollo.

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PARA EL CUMPLIMIENTO DE CADA UNO DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Establecer los fundamentos teóricos que permitan conocer qué tipo de evaporador es más recomendable para emplear en tratamiento de efluentes residuales.

Para llevar a cabo este objetivo se efectuó una revisión bibliográfica de la definición de evaporador y de los tipos de evaporadores que actualmente existen; se establecieron analogías entre los diferentes equipos existentes. Igualmente se revisaron los posibles materiales y equipos a emplear para ensamblar un evaporador a escala de laboratorio:

Balones de vidrio-Condensador-Manguera plástica-Bomba de vacío.

Toda la revisión permitió obtener una visión del evaporador que teóricamente es más eficiente para tratar aguas residuales, además de orientar acerca del ensamblaje a escala de laboratorio.

Instalar a escala de laboratorio el sistema de tratamiento de aguas empleando un evaporador.

Una vez evaluados los equipos necesarios para ensamblar el evaporador se procedió a su instalación en el laboratorio de la empresa para realizar las pruebas que permitieran establecer las condiciones de operación del sistema.

En el ensamblaje del sistema se emplearon (Ver figura 14):

- 2 balones de vidrio de 500ml.
- Una bomba de vacío marca Busch.
- Un condensador.
- Perlas de ebullición.
- Conexiones de vidrio.
- Mangueras plásticas.



A



B



C

Figura N°14 A) Balón con agua cruda. B) Balón con agua de condensado. C) Muestras obtenidas.

Sin embargo, cuando este sistema se puso en marcha se observó que no se cumplían los parámetros de operación esperados por lo cual se decidió emplear el sistema indicado en la figura 15 el cual consta de:

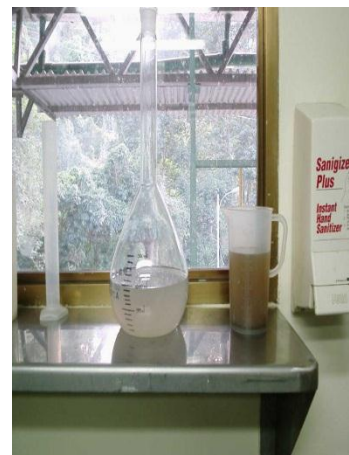
- 1 condensador de acero inoxidable (fabricado a medida por contratista en la empresa).
- 2 reactores de 30 y 50 litros de capacidad con agitador y sensor de temperatura.
- Mangueras Plásticas.
- Bomba de vacío marca Busch.
- 1 Cilindro de vidrio de 2 litros.



A



B



C

Figura N°15 A) Reactor 1 de 50 litros B) Reactor 2 de 30 litros C) Muestras Obtenidas.

Poner a punto el sistema con los parámetros de Temperatura y Velocidad suministrados por la empresa que ofrece el equipo.

Para alcanzar este objetivo se realizó un trabajo experimental que implicó involucrar nuevos materiales de trabajo para que el sistema reprodujera las variables de interés.

La evaluación del funcionamiento del sistema se hizo: variando la cantidad de agua colocada en el reactor 1 se colocaron 15-30-50 litros, enfriando el reactor 2 (Ver figura 16), variando la apertura de la válvula de la bomba de vacío 25-50-100 %

Finalmente se fijó un caudal, un porcentaje de apertura de la válvula de vacío y se trabajó con el reactor 2 en frío.



A



B

Figura N°16 Medios de enfriamiento del reactor 2. A) Hielo colocado en el reactor 2 B) Sal colocada al hielo en reactor 2

Caracterizar las corrientes de entrada y salida del evaporador a escala de laboratorio.

Para determinar si el sistema produce reducciones de los parámetros característicos estudiados en el tratamiento de aguas residuales industriales se determinaron: DBO, DQO, Temperatura, pH, Nitrógeno, Fósforo, Solidos Disueltos, Solidos Suspendidos, Sólidos Totales, Turbidez, Grasas y aceites.

Cada parámetro fue analizado en seis oportunidades, se estudió el agua a la entrada del evaporador y el condensado a la salida; a continuación se describe el procedimiento que se siguió para determinarlos (los procedimientos empleados están basados en el Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 1.995).

DBO: Se empleó el método electrodométrico, para ello:

- ❖ Se midió la cantidad de 1 ml de agua residual y se colocó en un frasco tipo Winkler.
- ❖ Se tomó el electrodo del equipo y se midió la cantidad del Oxígeno Disuelto inicial de la muestra, se le colocó un tapón.
- ❖ Dicha muestra se llevó a una incubadora que se encontraba a 20°C y se dejó allí por cinco días.
- ❖ Se sacó la muestra, se retiró el tapón e inmediatamente con el electrodo se le midió el Oxígeno Disuelto final.

DQO: Se empleó el método de reflujo abierto.

- ❖ En un matraz de 500ml se tomó una muestra de 50ml y se le colocaron perlas de ebullición.
- ❖ Se agregó 1 gramo de sulfato mercúrico y 25ml de disolución de dicromato de potasio, se mezcló con movimientos circulares.
- ❖ Se conectó el matraz al condensador y se hizo circular agua de enfriamiento.
- ❖ Por el extremo superior del condensador se agregaron 75 mL de disolución de ácido sulfúrico-sulfato de plata y agitó con movimiento circular para homogeneizar.
- ❖ Se calentó la mezcla que se tenía en el matraz y se mantuvo a reflujo durante dos horas desde el momento en que empezó la ebullición.
- ❖ Se dejó enfriar y se lavó el condensador con 25 mL de agua.
- ❖ Se agregó agua por el extremo superior del condensador hasta completar un volumen de 300 mL.
- ❖ Se retiró el matraz del condensador y se dejó enfriar a temperatura ambiente.
- ❖ Se agregaron tres gotas de indicador de fenantrolina y se procedió a titular con disolución de sulfato ferroso amoniacal
- ❖ Se tomó como punto final el primer cambio de color de azul verdoso a café rojizo.

Una vez cumplido los pasos anteriores para cada muestra se realizaron los cálculos correspondientes y se determinó la demanda química de oxígeno.

Grasa y Aceites:

- ❖ Se tomó una muestra de 100ml de solución (agua tratada y agua tratar).
- ❖ Se midió el pH de la muestra el cual debía ser menor de 2, si no tenía este valor se acidificaba con ácido sulfúrico.
- ❖ Se introdujeron los matraces de extracción en la estufa a 105°C.
- ❖ Se enfriaron en el desecador y se pesaron.
- ❖ Se colocó un papel de filtro en el embudo Büchner.
- ❖ El embudo se colocó en un matraz Kitazato y se agregaron 100 mL de suspensión de tierra de diatomeas-sílice sobre el filtro.
- ❖ Se aplicó vacío y se lavó con 100 mL de agua.
- ❖ La muestra se transfirió al embudo Büchner y se le aplicó vacío hasta que cesó el paso de agua.
- ❖ Se midió el volumen de la muestra.
- ❖ Se transfirió el material filtrante a un cartucho de extracción con ayuda de pinzas.
- ❖ Se limpiaron las paredes internas del embudo, la parte interna de la tapa y el frasco que contenía la muestra con trozos de papel filtro previamente impregnados en hexano.
- ❖ Se colocaron los trozos de papel en el mismo cartucho.
- ❖ Se secó el cartucho en la estufa a 105°C por 30 min.
- ❖ Luego se colocó en el equipo Soxhlet.
- ❖ Se colocó el equipo de extracción sobre la parrilla de calentamiento.
- ❖ Se controló la temperatura del reflujo y se extrajo durante 4 horas a 20 ciclos/hora.
- ❖ Al terminar la extracción se retiró el matraz del soxhlet y se evaporó el disolvente.
- ❖ Se colocó el matraz de extracción en el desecador hasta que alcanzó la temperatura ambiente.
- ❖ Finalmente se pesó el matraz.

Al terminar se determinó la cantidad de grasa y aceites presentes en la muestra.

pH:

- ❖ Se calibró el phmetro con solución buffer de 4 y 7.
- ❖ Se tomó una muestra de 250 ml.
- ❖ Se lavó el electrodo con agua destilada antes de sumergirlo en la muestra y se secó.
- ❖ Se introdujo el sensor de temperatura y el electrodo del equipo en la muestra hasta que la lectura se estabilizó.

Temperatura:

- ❖ Este parámetro se midió in situ con un termómetro de precisión graduado en décimas de grado.
- ❖ Se tomó una muestra de 250ml.
- ❖ Se sumergió el termómetro en la muestra y pasados 2 minutos se realizó la lectura.

Turbidez:

- ❖ Se tomó una muestra de 5ml en un tubo de ensayo perfectamente limpio.
- ❖ Se introdujo la muestra en el equipo (Turbidímetro PCE-TUM 20).
- ❖ El equipo arrojó la lectura en NTU. Antes de cada medición el aparato se calibró con una solución de estireno-divinil-benceno (SDVB) de turbidez conocida.

Nitrógeno: Para determinar el nitrógeno Kjeldahl se calculó el nitrógeno amoniacal y el orgánico.

Nitrógeno amoniacal:

- ❖ Se tomaron 25ml de muestra el nitrógeno amoniacal y se diluyó con agua hasta alcanzar 500ml.

- ❖ Se añadieron 25ml de disolución amortiguadora de boratos y se ajustó el pH a 9,5 empleando hidróxido de sodio.
- ❖ Luego se transfirió a un matraz Kjeldahl la solución y se le agregaron perlas de ebullición.
- ❖ Se conectó el matraz Kjeldahl al bulbo del aparato de destilación y se destiló a 29°C.
- ❖ El condensado se recolectó hasta alcanzar 300ml.
- ❖ Se tomó el condensado obtenido y se tituló con ácido sulfúrico hasta que la solución viró de verde a morado.

Nitrógeno orgánico:

- ❖ El residuo contenido en el matraz Kjeldahl se enfrió y se le agregaron 50 ml de reactivo de digestión, se le agregaron perlas de ebullición y se mezcló.
- ❖ Se procedió a calentar dicha solución hasta ebullición en la campana de extracción hasta que el volumen se redujo a 25ml aprox. y se observara el desprendimiento de vapores blancos.
- ❖ Luego se continuó la digestión con el matraz inclinado por 30min hasta que la solución cambió de turbia a amarillo pálido.
- ❖ Se sacó el matraz del equipo, se enfrió y se diluyó con 300 ml de agua.
- ❖ A la solución se le agregaron 50ml de hidróxido de tiosulfato de sodio.
- ❖ Se conectó el matraz al equipo de destilación y se sumergió la punta del condensador en otro matraz que contenía 50ml de ácido bórico
- ❖ Se agitó y se midió el pH.
- ❖ Se destiló a 29°C hasta obtener 250 ml aproximadamente de destilado
- ❖ Se tituló el volumen destilado con ácido sulfúrico hasta el cambio del indicador de verde esmeralda a morado.

Fosfatos: Para la determinación del fosfato se empleó el método del ácido vanadomolibdofosfórico.

- ❖ Se tomaron 50 ml de muestra en un balón de 100ml.

- ❖ Se midió el pH de la muestra, si tenía pH mayor a 10 se le agregó una gota de fenolftaleína y para eliminar el color rosa se le agregó ácido clorhídrico
- ❖ Se añadieron 10 mL de la disolución reactivo vanado-molibdato y diluyó hasta la marca con agua.
- ❖ Después de 10 min se midió la absorbancia de la solución a una longitud de onda de 400 nm a 490 nm, dependiendo de la sensibilidad deseada. Los intervalos de concentración para diferentes longitudes de onda considerados se presentan en la tabla N°5:

Tabla N° 5 Valores de Fósforo según longitud de onda obtenida

Intervalo de P mg/l	Longitud de Onda nm
1,0-5,0	400
2,0-10	420
4,0-20	470

Sólidos Suspendidos Totales: Para determinarlos se calcularon los sólidos suspendidos fijos y los sólidos suspendidos volátiles.

- ❖ Se colocó un disco de fibra de vidrio en el crisol Gooch, se humedece el disco, se lleva al aparato de filtración y se le aplica vacío.
- ❖ Con una pipeta volumétrica se le agregaron 100ml de muestra y se inició la filtración sin detener el vacío.
- ❖ Se lavó el disco tres veces con 10cm³ de agua dejando que drenara completamente después de cada lavado.
- ❖ Se suspendió el vacío y se llevó el crisol a la estufa a 105°C por 20min.
- ❖ Luego se sacó y se determinó su masa.
- ❖ El mismo crisol se introdujo en la mufla a 550°C por 20 min y luego se sacó y determinó su masa.

Sólidos Flotantes:

- ❖ Se tomó una malla de acero inoxidable con orificios de 3mm.
- ❖ Se tomaron 3 litros de muestra y se vertieron a través de la malla arrastrando con un agitador de vidrio el material que quedara en el envase.
- ❖ Luego se examinó la malla y se determinó ausencia o presencia de material retenido.

Sólidos Totales:

- ❖ Se tomó una capsula y se determinó su masa.
- ❖ Se tomaron 100ml de muestra y se colocaron en la cápsula.
- ❖ Se llevó a la estufa a 105°C por 20 minutos.
- ❖ Se sacó y se enfrió en el desecador, al extraerla del desecador se determinó la masa.

Sólidos Disueltos:

Para determinarlos se realizó la sustracción entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos totales.

Comparar en cuanto a espacio, insumos, y dificultad de operación del tratamiento físico-químico primario empleado en Planta Santa Cruz con el físico-térmico que se plantea emplear en Planta Rio Cristal.

Para llevar a cabo este objetivo se midió el área que ocupa el tratamiento primario en la planta de Santa cruz de Aragua, se revisó el número de insumos que utiliza para su funcionamiento y se cuantificó el número de variables que debe controlar y tener en cuenta el operador del área, todo ello con el fin de comparar los parámetros descritos anteriormente con los que emplearía teóricamente el evaporador ofertado para ser instalado en la planta Rio Cristal.

Establecer las variables y equipos que hacen que el evaporador ensamblado a escala de laboratorio opere de forma eficiente.

Para determinar la influencia de la temperatura sobre el proceso de evaporación, se procedió fijar una presión accionando la bomba de vacío, permitiendo ello determinar si a la presión seleccionada, se cumplía con lo establecido por el fabricante, es decir, si la temperatura era de 75°C.

Una vez que se determinó la presión de trabajo, se procedió a verificar si en el transcurso de la experiencia, el rendimiento del evaporador se mantenía. Para ello se trató de cumplir con la otra variable sugerida por el fabricante, como es la velocidad de evaporación, establecida en 22 m/s. Se procedió a realizar la experiencia durante largos períodos de tiempo, y se verificó esta velocidad. Se desarmó el evaporador con la idea de verificar si existía suciedad en las paredes. Se procedió a limpiar las paredes del evaporador, se reiniciaron las experiencias.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Establecer los fundamentos teóricos que permitan conocer qué tipo de evaporador es más recomendable para emplear en tratamiento de efluentes residuales.

Con la idea de establecer a nivel teórico el tipo de evaporador más recomendable para tratar efluentes residuales industriales se realizó una amplia revisión bibliográfica, resultando el evaporador de película descendente el más recomendado para llevar a cabo operaciones de separación y en el caso de estudio como tratamiento primario de efluentes provenientes de una planta de procesamiento de subproductos cárnicos. Este tipo de evaporadores permite el trabajo a presiones de vacío, el mantenimiento preventivo es sencillo, es de fácil limpieza; este último punto es muy importante en la selección del equipo ya que por la cantidad de residuos orgánicos presentes en el agua a tratar es inminente la formación de espuma e incrustaciones en el equipo durante la ebullición.

Instalar a escala de laboratorio el sistema de tratamiento de aguas empleando un evaporador.

Se instaló a escala de laboratorio un primer sistema, mostrado en la figura N° 17



Figura N° 17 Evaporador ensamblado en el laboratorio de calidad

El mismo, debido a su tamaño, no permitió reproducir los parámetros de ajuste que se estimaban, razón por la cual se emplearon dos equipos presentes en el laboratorio de diseño y desarrollo de la empresa resultando el esquema final de trabajo mostrado a continuación en la figura 18.



Figura N° 18 Evaporador ensamblado en el departamento de diseño y desarrollo.

Poner a punto el sistema con los parámetros de Temperatura y Velocidad suministrados por la empresa que ofrece el equipo.

La empresa suministró los datos de operación de evaporador como: Temperatura de evaporación: 75°C y Velocidad de evaporación de 22m/s.

Para conseguir que el líquido evaporara a 75°C se instaló una bomba de vacío en el sistema, dicha bomba se conectó a la entrada del balón de condensado a través de una manguera con una válvula de compuerta. Se iniciaron las pruebas con la válvula

completamente cerrada, luego se realizaron experiencias con la válvula abierta a 25%, abierta a 50%, abierta a 75% y completamente abierta, los resultados fueron:

Tabla N° 6 Apertura de la válvula de la bomba de vacío vs. Temperatura de ebullición en el evaporador.

% Apertura de Válvula	0	25	50	75	100
Temperatura de ebullición alcanzada (°C)	98	86	75	63	48

Tabla N° 7 Velocidad de evaporación alcanzada por corrida.

Número de Corrida	1	2	3	4	5
Velocidad (m/s)	21,9	22,1	22	22,1	22

$$Velocidad = \frac{M_{liq} * V_g}{A}$$

Donde:

$V_g = \text{volúmen específico del vapor } 413100 \text{ m}^3/\text{kg}$

$M_{liq} = \text{flujo másico (Kg/s)}$

$A = \text{Area de transferencia de calor en el condensador (m}^2\text{)}$

Caracterizar las corrientes de entrada y salida del evaporador a escala de laboratorio.

Para la caracterización de las corrientes, se determinaron los siguientes parámetros:

- DBO
- DQO
- pH
- Aceites y grasas vegetales y animales.
- Nitrógeno Total

- Fósforo Total
- Sólidos Totales
- Sólidos Suspendidos.
- Sólidos Suspendidos fijos.
- Sólidos Suspendidos volátiles.
- Sólidos flotantes
- Sólidos Disueltos= Totales-suspendidos
- Temperatura
- Turbidez

Se realizaron un total de seis pruebas a cada una de las cuales se les determinaron los parámetros mencionados anteriormente, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla N° 7:

Tabla N° 7 Resultados obtenidos de análisis realizados en el laboratorio de Mini Bruno Sucesores.

	Mini Bruno CORRIDA 1		Mini Bruno CORRIDA 2		Mini Bruno CORRIDA 3		Mini Bruno CORRIDA 4		Mini Bruno CORRIDA 5	
Parámetro	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
DBO	15000	3000	7800	1400	20400	3468	8400	1500	3500	617
DQO	34600	1450	4280	785	63300	2755	11535	1075	4060	890
pH	6,9	7	8,9	9,3	6,7	8,8	6,64	8,86	7,74	9,21
Aceites y grasas vegetales y animales.	20	8	15	5	12	3	18	9	16	8
Nitrógeno Total	1850	27	176	144	590	73	238	186	198	162
Fósforo Total	15	3,6	45	5,1	185	1,9	50	2	68	5
Sólidos Totales	15071	289	2930	288	29952	199	47423	30	1929	368
Sólidos Suspendidos= susp fijos+susp vola	13800	40	230	210	8730	210	3060	20	440	30
Sólidos flotantes	presente	ausente	presente	ausente	presente	ausente	presente	ausente	presente	ausente
Sólidos Disueltos= Totales-suspendidos	4800	205	5900	240	3500	180	4000	160	3900	230
Temperatura	27	35	28	32	27	37	25	34	28	34
Turbidez	50	10	40	5	55	8	60	8	50	9

Para comprobar la validez de los resultados obtenidos se tomaron muestras de la corrida número 6 y se enviaron a un laboratorio de caracterización de efluentes certificado por el Ministerio del Ambiente; los resultados arrojados por dicha empresa se muestran en la tabla N° 8.

Tabla N° 8 Resultados obtenidos de análisis realizados en el laboratorio externo (CENPROACA).

Parámetro	Entrada	Salida
DBO	6200	1151
DQO	8210	1665
pH	4,1	9,5
Aceites y grasas vegetales y animales.	9	7
Aceites minerales e hidrocarburos	6	4
Nitrógeno Total	1749	797
Fósforo Total	47	3
Cloruros	159	94
Sulfatos	42	0,2
Sólidos Totales	2840	270
Sólidos Totales Fijos	2370	200
Sólidos Totales Volátiles	470	70
Sólidos Suspendidos	700	110
Sólidos suspendidos fijos	460	85
Sólidos suspendidos volátiles	240	25
Sólidos disueltos	2140	160
Sólidos disueltos fijos	1910	115
Sólidos disueltos volátiles	230	45
Sólidos sedimentables	<0,1	<0,1
Sólidos flotantes	Presente	Ausente
Coliformes totales	>16000	8000
Coliformes fecales	>2000	1600
Color Real	4620	1323

Comparar los costos de inversión en cuanto a espacio, insumos, y dificultad de operación del tratamiento físico-químico primario empleado en Planta Santa Cruz con el físico-térmico que se plantea emplear en Planta Rio Cristal.

Respecto al volumen que necesita cada etapa de tratamiento tenemos que el aplicado en la planta de Santa Cruz de Aragua es de 495 m³ mientras que el ofertado es de 68

m³ lo cual se traduce en que requerirá de un menor espacio para su instalación, esto a su vez resulta de gran importancia debido a que la zona donde se encuentra actualmente la planta presenta una geografía irregular y optimizar el espacio del que se dispone es fundamental; en la tablas 9 y 10 se presentan los volúmenes asociados a los distintos procesos de tratamiento.

Tabla N° 9 Volumen del evaporador ofertado.

	Volumen evaporador (m³)
Alimentación	40
Evaporador	8
Concentrado	15
Condensado	5

Tabla N° 10 Volumen de equipos del tratamiento primario aplicado en Planta Santa Cruz.

	Volumen de tratamiento primario PSC (m³)
Coagulador	195
Sedifloat	495

En cuanto al consumo de químicos se tiene que el equipo ofertado no utiliza ningún tipo de aditivos para producir la separación de sólidos y sustancias contaminantes del agua la depuración ocurre sólo y gracias al proceso de evaporación mientras que en el tratamiento físico-químico aplicado en PSC se consumen 15TM de aditivos mensuales para tratar el agua generada. (Ver tabla 11).

Es importante destacar que en PSC sólo hay dos líneas de producción mientras que en PRC existen cinco, en consecuencia el volumen de efluentes de PSC es menor al de PRC.

Tabla N° 11 Consumo de químicos de los sistemas considerados

	Consumo promedio de Químicos
Evaporador ofertado	0
Equipo tratamiento primario PSC kg/mes	15000

El número de trabajadores que se requiere para manejar el sistema empleado en PSC es de 3 operadores por turno debido a las dimensiones de la planta, necesidad de supervisión en dosificación de químico, toma y análisis de muestras y mantenimientos diarios entre tanto el equipo ofertado trabajaría con un solo operario cuya función es sólo verificar que el concentrado que se forma en el evaporador alcance la concentración establecida y automáticamente reinicie el ciclo.

Tabla N° 12 Número de operadores por turno de los sistemas a comparar.

	Operadores por Turno
Evaporador ofertado	1
Equipo tratamiento primario PSC	3

La cantidad de lodos producidos en el tratamiento primario de PSC es mucho mayor de lo estimado que producirá el equipo ofertado, aunado a ello de instalar este nuevo equipo dichos residuos serían realimentados al proceso para recuperar la proteína que arrastra el agua al efectuar las limpiezas (Ver tabla 13).

Tabla N° 13 Efluentes a la salida del tratamiento primario en los distintos sistemas.

	Residuos producidos (Kg/mensual)
Evaporador ofertado	150000
Equipo tratamiento primario PSC	757315

Establecer las variables y equipos que hacen que el evaporador ensamblado a escala de laboratorio opere de forma eficiente.

Una vez realizada la experiencia se determinó que las variables que hacen que el equipo opere de forma eficiente son la temperatura y la velocidad de evaporación.

La temperatura es crucial en el proceso de evaporación, cuando se está trabajando en vacío la misma disminuye y depende de ella que el condensado obtenido tenga una u otra característica; en la experiencia se comprobó que al trabajar cercano a los 100°C el concentrado obtenido tenía características físicas que se podían apreciar sensorialmente como color marrón oscuro y olor tostado en cambio al operar el sistema a vacío el concentrado presenta un color marrón claro y conserva el olor propio del material presente (sangre y grasas).

La velocidad de evaporación es un factor determinante en la calidad del condensado, se observó que a mayor velocidad mayor arrastre y visualmente se apreciaba ya que el color del condensado se hacía más oscuro y se veían gotas de grasa, mientras que al disminuir la velocidad se obtenía un líquido totalmente transparente.

Las variables mencionadas anteriormente dependen a su vez del funcionamiento óptimo de ciertos equipos, es así como se pudo observar que de acuerdo al funcionamiento y apertura de la válvula de succión de la bomba de vacío se veían modificadas la temperatura y la velocidad, cuando la válvula de apertura de succión de la bomba se abría al 100% la temperatura de ebullición disminuía drásticamente. Es por ello que la bomba de vacío es un equipo que de instalarse el evaporador ofertado debe ser parte de un mantenimiento preventivo riguroso ya que permitirá alcanzar la temperatura óptima de evaporación y en consecuencia un concentrado reutilizable en el proceso. Por otra parte el condensador es un equipo que de acuerdo a las condiciones físicas en las que se encuentre intervendrá en la velocidad de evaporación, en la práctica se observó cómo disminuyendo la temperatura en este equipo la velocidad aumentaba considerablemente.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Una vez puntualizados los análisis de los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

1. El evaporador más recomendable es el de película descendente.
2. Se obtienen reducciones de los parámetros DBO, DQO y Nitrógeno cercanas al 90% empleando un evaporador como tratamiento primario, lo cual demuestra que es un sistema de tratamiento eficiente.
3. La temperatura de ebullición alcanzada en el equipo depende de la presión, la cual se obtiene con la bomba de vacío.
4. La velocidad de evaporación aumenta al disminuir la temperatura del condensador.
5. La comparación entre los dos sistemas de tratamiento evidencia que instalar el evaporador proporciona una operación sencilla, necesita de poco espacio y no requiere de insumos.
6. El parámetro turbidez representa una alta reducción la cual es posible apreciar sensorialmente.
7. Se sugiere la compra del evaporador ofertado.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES

Concluido el trabajo de investigación se recomienda lo siguiente:

1. Una vez instalado el evaporador se sugiere investigar posibles aditivos que se agreguen en línea que permitan optimizar la separación de grasas y aceites del condensado y tener mayor recuperación de estas en el reproceso.
2. Estudiar la aplicación del proceso de evaporación como tratamiento primario en industrias con procesos productivos diferentes al estudiado.
3. Se debe tener al menos una bomba de vacío de repuesto para la operación efectiva del evaporador.
4. Es importante seguir los pasos de preservación de muestras para análisis de DBO y DQO ya que los valores se ven afectados significativamente de acuerdo a los pasos seguidos por el experimentador.
5. Diseñar un sistema de alimentación continua para evaluar los posibles cambios que se pueden presentar respecto a las variables que hacen que el equipo opere de forma eficiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Orozco, M. (1998). **Operaciones Unitarias**. Editorial Limusa. México.
- A.P.H.A., A.W.W.A. W.P.C.F (1992); **Standard Methods for the examination of water and wastewater.18th edition**. A.P.H.A. Washington, D.C.
- Mc Cabe, W. (1991). **Operaciones Unitarias en ingeniería química**. 4ª edición. Editorial Reverté. Barcelona, España.
- Reynold, K. A. (2002). **Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica**. Disponible en [http// www.esd.worldbank.org](http://www.esd.worldbank.org).
- [http// www.aguaslatinoamericana.com](http://www.aguaslatinoamericana.com) Fecha de consulta 20/12/2011.
- Rodríguez A, García P. (2010). **Tratamiento Avanzado de aguas Residuales**. Fundación para el conocimiento de Madrid, España.
- R. H. Perry – D. W. Green (2001). **Manual del Ingeniero Químico**. Vol II. Editorial Mc Graw Hill.
- Charles D. Holland (1981). **Fundamentos y Modelos de Procesos de Separación**. Editorial Pretince Hall. México.
- Kemmer, F. (1.979). **Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones**. Primera Edición.
- Republica Bolivariana de Venezuela. **Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los cuerpos de agua y Vertidos o Efluentes Líquidos**. Decreto 883. Gaceta Oficial N° 5.021. 18 de diciembre de 1995.

- Republica Bolivariana de Venezuela. **Normas sobre Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica**. Decreto 638. Gaceta Oficial N° 4.899. Fecha 26 de Abril de 1995.
- Romero, J (1999). **Tratamiento de Aguas Residuales**. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá-Colombia.