



**UNIVERSIDAD YACAMBÚ
VICE-RECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**VARIABILIDAD DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SU IMPACTO EN LOS
PROYECTOS DE OPTIMIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

AUTOR: Vanessa Barrera
TUTOR: Eduviges Montilla

Barquisimeto, Abril de 2005



**UNIVERSIDAD YACAMBÚ
VICE-RECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**VARIABILIDAD DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SU IMPACTO EN LOS
PROYECTOS DE OPTIMIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Industrial

AUTOR: Vanessa Barrera
TUTOR: Eduviges Montilla

Barquisimeto, Abril de 2005



"Aprender Haciendo"

UNIVERSIDAD YACAMBÚ
VICE-RECTORADO ACADÉMICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Código:

ACTA DE VEREDICTO

FECHA: 27 04 05

TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO:

Variedad de la Calidad del Agua y su
Impacto en los Proyectos de Optimización del
Funcionamiento de Plantas de Tratamiento de
Aguas Residuales

PRESENTADO POR:	VANESSA Barrera
CÉDULA DE IDENTIDAD:	16 324 524
CARRERA-PROGRAMA:	Ing. Industrial

INFORMACIÓN IMPORTANTE

PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL, CONFORME A LO DISPUESTO EN EL REGLAMENTO DE TRABAJO DE GRADO DE PREGRADO DE LA UNIVERSIDAD YACAMBÚ, EN EL CAPÍTULO V, ARTÍCULOS 13 al 18, LOS MIEMBROS DEL JURADO DESIGNADOS PARA EVALUAR EL TRABAJO ANTES MENCIONADO, EMITEN EL SIGUIENTE VEREDICTO:

APROBADO:

✓

APROBADO CON OPCIÓN A
MÉRITO:

✓

NO APROBADO:

CALIFICACIÓN
DEFINITIVA:

20 /20 ptos.

EN BARQUISIMETO, A LOS veintiseis DÍAS DEL MES DE Abril.
DEL AÑO 2005.-



MIEMBRO DEL JURADO

Nombre: FRANCISCO MEZA

C.I.: 22 322 193



"Aprender Haciendo"

UNIVERSIDAD YACAMBÚ
VICE-RECTORADO ACADÉMICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

ACTA DE VEREDICTO

Código:

FECHA: 27 04 05

TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO:

Variabilidad de la Calidad del Agua y su Impacto
en los Proyectos de Optimización del Funcionamiento
de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

PRESENTADO POR: VANESSA BARRERA
CÉDULA DE IDENTIDAD: 16 324 524
CARRERA-PROGRAMA: Ing. Industrial

INFORMACIÓN IMPORTANTE

PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL, CONFORME A LO DISPUESTO EN EL REGLAMENTO DE TRABAJO DE GRADO DE PREGRADO DE LA UNIVERSIDAD YACAMBÚ, EN EL CAPÍTULO V, ARTÍCULO 13 al 18, LOS MIEMBROS DEL JURADO DESIGNADOS PARA EVALUAR EL TRABAJO ANTES MENCIONADO, EMITEN EL SIGUIENTE VEREDICTO:

APROBADO:



APROBADO CON OPCIÓN A
MÉRITO: Publicación y
honoris



NO APROBADO:

CALIFICACIÓN
DEFINITIVA:

20 /20 pts.

EN BARQUISIMETO, A LOS veintisiete DÍAS DEL MES DE
Abril DEL AÑO 2005.-



Eduviges Montilla

TUTOR ACADÉMICO

Nombre: Eduviges Montilla

C.I.: 9624834



"Aprender Haciendo"

UNIVERSIDAD YACAMBÚ
VICE-RECTORADO ACADÉMICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Código:

ACTA DE VEREDICTO

FECHA: 27 04 05

TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO:

Variabilidad de la calidad del agua y su importancia o impacto en los proyectos de Optimización del funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales.

PRESENTADO POR: Vanessa Barrera
CÉDULA DE IDENTIDAD: 16.324.524
CARRERA-PROGRAMA: Ingeniería Industrial

INFORMACIÓN IMPORTANTE

PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL, CONFORME A LO DISPUESTO EN EL REGLAMENTO DE TRABAJO DE GRADO DE PREGRADO DE LA UNIVERSIDAD YACAMBÚ, EN EL CAPÍTULO V, ARTÍCULOS 13 al 18, LOS MIEMBROS DEL JURADO DESIGNADOS PARA EVALUAR EL TRABAJO ANTES MENCIONADO, EMITEN EL SIGUIENTE VEREDICTO:

APROBADO:



APROBADO CON OPCIÓN A



MÉRITO: publicación

y Honoríficas

NO APROBADO

CALIFICACIÓN
DEFINITIVA:

20 /20 ptos.

EN BARQUISIMETO, A LOS Veintisiete DÍAS DEL MES DE
Abril DEL AÑO 2005.-



COORDINADOR DEL JURADO

Nombre: Ramiro Olivares

C.I.: 4.380.545.

DEDICATORIA

A mis padres, María Elena y Arturo, ya que con su amor, dedicación y educación permitieron que lograra esta meta. Ustedes son ejemplos de vida.

A mis hermanos, Andreina y Arturo por todo el apoyo, cariño y comprensión que me han brindado. Espero que este logro les sirva de ejemplo.

A mi familia, ejemplo de amor y unión. Agradezco sus permanentes oraciones.

A Miguel por haberme brindado su amor, amistad, apoyo y ayuda incondicional para la elaboración de esta meta lograda. En los momentos más difíciles estuviste a mi lado. ¡Te deseo todo el éxito del mundo!

A la profesora Eduviges Montilla, por su colaboración permanente recibida a lo largo de este proyecto de investigación, ya que sin su ayuda no lo hubiese logrado.

A mis compañeros de estudios (Anita, Anto, Chino, Leo, Bruto, Enano) por estar siempre en los momentos más importantes, por brindarme su apoyo y sus buenos deseos.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios Todopoderoso y a la Divina Pastora, por haberme guiado e iluminado siempre en los momentos felices y difíciles de mi vida y que hicieron que hoy en día se cumpla una de mis metas más importantes.

A mis padres, por darme su amor, comprensión y apoyo a lo largo de mi vida.

A mi tutora Eduviges Montilla, por esa excelencia profesional y calidad de persona, por su dedicación y ayuda prestada en la realización de este proyecto.

A Domínguez Continental S.A., y todo su personal que ahí labora, en especial al Ing. Henry Páez, quien me ha extendido su mano amiga; su colaboración permitió llevar a cabo esta investigación.

Al Ing. Luis Rondón, por haberme ayudado a realizar esta meta tan importante de mi vida en la empresa Domínguez Continental S.A.

Al Ing. Francisco Mesa, por su experiencia y la colaboración en la elaboración de esta investigación.

A Miguel, gracias por todo tu apoyo en los momentos difíciles.

A todos mis amigos, en especial Chino y Leo por su colaboración incondicional. Siempre recordaré los momentos de estrés en LTD. ¡Mucho éxito se lo merecen!

A todas aquellas personas, que no he nombrado pero que de alguna manera contribuyeron que hoy alcanzara esta meta.

A TODOS MIL GRACIAS

Vanessa Barrera Roberti

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE CUADROS	p.p.
LISTA DE GRÁFICOS	x
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	3
Planteamiento del Problema	3
Objetivos de la Investigación	5
General	5
Específicos	5
Importancia de la Investigación	6
Alcances	7
Limitaciones	7
II MARCO REFERENCIAL	8
Antecedentes	8
Bases Conceptuales	10
Marco Legal	16
III MARCO METODOLÓGICO	18
Naturaleza del Estudio	18
Población y Muestra	18
Instrumentos y Técnicas de Recolección de Información	19
IV ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	26
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
Conclusiones	58
Recomendaciones	59

VI	PROPUESTA	61
	Introducción	61
	Objetivo	61
	Justificación	61
	Estructura	62
	Conclusiones del Análisis del Modelo de Cálculo	68
REFERENCIAS		70
ANEXOS		
	A Definición de Términos	72
	B Dosificación de Polímero en Polvo	74
CURRÍCULUM VITAE		76

LISTA DE CUADROS

CUADROS		P.p.
1	Límites y Rangos de las Aguas según artículo 15	17
2	Unidad Sujetos de Investigación	19
3	Unidad Objetos de Investigación	20
4	Muestreo del Tablero de Damas	22
5	Medición de caudales en la primera semana	31
6	Medición de sólidos totales disueltos en la primera semana	32
7	Medición de pH en la primera semana	32
8	Medición de temperatura en la primera semana	33
9	Medición de caudales en la segunda semana	33
10	Medición de sólidos totales disueltos en la segunda semana	34
11	Medición de pH en la segunda semana	34
12	Medición de temperatura en la segunda semana	35
13	Medición de caudales en la tercera semana	35
14	Medición de sólidos totales disueltos en la tercera semana	36
15	Medición de pH en la tercera semana	36
16	Medición de temperatura en la tercera semana	37
17	Medición de caudales en la cuarta semana	37
18	Medición de sólidos totales disueltos en la cuarta semana	38
19	Medición de pH en la cuarta semana	38
20	Medición de temperatura en la cuarta semana	39
21	Medición de Demanda Química de Oxígeno	40
22	Relación entre variabilidad de la calidad del agua y los parámetros de funcionamiento de los equipos para la primera semana	41
23	Relación entre variabilidad de la calidad del agua y los parámetros de funcionamiento de los equipos para la segunda semana	42

CUADROS

p.p.

24	Relación entre variabilidad de la calidad del agua y los parámetros de funcionamiento de los equipos para la tercera semana	43
25	Relación entre variabilidad de la calidad del agua y los parámetros de funcionamiento de los equipos para la cuarta semana	44
26	Tabla de datos de causas de los derrames en el tanque ecualizador	46
27	Tabla de codificación de causas de los derrames en el tanque ecualizador	48
28	Ponderación de causas de los derrames en el tanque ecualizador	48
29	Relación de los sólidos totales disueltos con la producción diaria	65
30	Niveles de Significación	66
31	Estimación de sólidos disueltos diarios	68

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICOS	p.p.
1 Representación causa-efecto	24
2 Diagrama caja negra	25
3 Secuencia de operación para la recuperación de agua tratada	27
4 Esquema de Puntos de Muestreo	30
5 Diagrama causa-efecto	47
6 Diagrama de Pareto	49
7 Diagrama Caja Negra de la Planta de Efluentes	51
8 Diagrama Caja Negra de las Lavadoras	52
9 Diagrama Caja Negra de la Fosa de Sump	53
10 Diagrama Caja Negra del Tanque Ecualizador	54
11 Diagrama Caja Negra del Tanque de Retención, Neutralizador y Clarifloculador	55
12 Diagrama Caja Negra del Tanque de Polímero	56
13 Diagrama Caja Negra del Tanque de Recuperación Externo	57
14 Etapas en el desarrollo de un modelo de calidad de agua	64
15 Curvas Estimadas	66
16 Tendencia Logarítmica	67

**UNIVERSIDAD YACAMBÚ
VICE-RECTORADO ACADÉMICO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**VARIABILIDAD DE LA CALIDAD DEL AGUA Y SU IMPACTO EN LOS
PROYECTOS DE OPTIMIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

**Autor: Vanessa Barrera
Tutor: Eduviges Montilla
Fecha: Abril de 2005**

RESUMEN

El estudio es el resultado de una investigación no experimental tipo descriptiva compuesta por seis capítulos cuyo objetivo fundamental se orientó a la determinación e inclusión de la variabilidad de la calidad del agua en los proyectos de optimización del funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales. El proyecto se desarrolló en la empresa Domínguez Continental S.A. y requirió de la aplicación sistemática y estructurada de instrumentos y técnicas tales como: observación directa, muestreo del tablero de damas, tormenta de ideas, diagrama causa-efecto, grupo nominal, diagrama de Pareto, caja negra, programas computarizados SPSS y Excel. Los resultados de la investigación posibilitaron la determinación de las fallas de diseño y operativas del funcionamiento de la planta y creó la base técnico-científica para la elaboración del modelo de simulación para la optimización del funcionamiento de plantas de efluentes. El gráfico de Pareto detectó que el 80 por ciento de las causas del problema son: la falta de balance de efluentes, los altos reboses de las lavadoras, equipos obsoletos y la insuficiencia de instrumentación y control. Para la elaboración del modelo se ejecutaron tres fases en el desarrollo de un modelo de calidad de agua de Baecheler (2005) consistente en la representación conceptual, funcional y computacional. El procesamiento estadístico del modelo permitió la obtención de la correlación logarítmica del tipo $y=106,73\ln(x)+191,06$ en cuyas etapas de calibración y verificación demostró la confiabilidad de la aplicación.

Descriptores: Tratamientos de Agua, Calidad del Agua, Modelo de Cálculo.

INTRODUCCIÓN

El aumento poblacional y sus consecuentes necesidades materiales para el desarrollo imponen progresivamente mayores exigencias de los recursos hídricos, ya que la intensificación del manejo del agua en el sector industrial se traduce en trastornos ambientales que modifican los sistemas acuáticos.

Esta preocupación, existente desde hace algunas décadas, se ha traducido en estudiar los sistemas hídricos, desde una perspectiva holística dando una especial significación a la dimensión ambiental, en particular en los aspectos de calidad del agua.

Esto significa conocer y prever la alteración de la calidad del agua que ocurre posterior a un proceso productivo, que evacue residuos líquidos o la incorporación de alcantarillados de agua servidas. La herramienta adecuada para estos fines es denominada genéricamente modelos de calidad de aguas.

El proyecto formulado como investigación no experimental tipo descriptivo se estructuró de la siguiente manera:

En el capítulo I: Se presenta el planteamiento del problema, los objetivos de la investigación, tanto general como específicos, la importancia del estudio, alcances y limitaciones.

En el capítulo II: Describe el marco referencial, donde se presentan los antecedentes y las bases conceptuales, las cuales deben conocerse para el entendimiento de la investigación.

En capítulo III: Se describe el marco metodológico conformado por la naturaleza del estudio, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de información.

En el capítulo IV: Referente al análisis de resultados, gracias a los instrumentos y técnicas aplicadas.

En el capítulo V: Se formulan las conclusiones y recomendaciones desarrolladas por el autor.

Por último, en el capítulo VI se elabora la propuesta, basada en el diseño de un modelo de cálculo para la estimación de la variabilidad de la calidad del agua proveniente del proceso productivo gracias a los instrumentos y técnicas mencionados en el capítulo III.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del Problema

El agua es la sustancia fundamental de la vida en este planeta y en las economías modernas este recurso es esencial para la agricultura, la industria, la generación de electricidad y transporte. Cerca de la mitad de la población del mundo, que casi en su totalidad vive en los países en desarrollo, padece enfermedades a causa de la escasez o la contaminación de las aguas.

Los recursos acuíferos se contaminan cada día más por las emisiones de desechos industriales no tratados, o bien porque se los explota más allá de la capacidad de recuperación. También, cuando el agua es utilizada en los procesos de fabricación se contamina por el contacto con otras sustancias y en ocasiones es descargada en fuentes naturales como son lagos, ríos, arroyos, inclusive el suelo, afectando la calidad de la misma.

Actualmente, muchas empresas en Venezuela están tomando conciencia de la importancia del tratamiento de las aguas y el impacto en los procesos productivos. En la concepción, planeamiento, diseño de un sistema de tratamiento se pueden considerar objetivos diferentes, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos económicos y técnicos, así como los criterios establecidos para la descarga de efluentes o eficiencias mínimas, Romero (1994).

En particular, la empresa Domínguez Continental S.A. ubicada en Barquisimeto, estado Lara, en la Zona Industrial II, se dedica a la fabricación y comercialización de envases de aluminio en presentaciones de 8, 10 y 12 onzas, la

cual provee de sus productos a industrias como Coca-Cola Company, Cervecería Polar C.A. y otras empresas a nivel internacional.

La empresa se preocupa constantemente porque los productos sean elaborados con un alto criterio de calidad, por lo que posee una planta de efluentes con el objetivo de recuperar el agua según los parámetros adecuados para el lavado de los envases y la disminución del impacto ambiental.

Como parte del proceso productivo, en el área de lavado los envases atraviesan siete etapas diferentes de limpieza donde se reutiliza el agua tratada, procedente de la planta de tratamiento de efluentes, en combinación con agua de HidroLara para la remoción de trazas de aluminio provenientes de las transformaciones, sulfatos, fluoruros, cloruros, hierro y aceites debido al uso de lubricantes.

La planta de tratamientos de agua de Domínguez Continental S.A. cuenta con una serie de equipos cuya función primordial es disminuir los sólidos disueltos y controlar el alto grado de acidez que caracteriza los efluentes industriales, entre los cuales se tienen tanques de ecualizador, neutralizador, de retención, clarifloculador, uno recuperación interno, un tanque de recuperación externo, un lecho de secado y unos filtros.

En la actualidad, la planta de efluentes ha venido presentando dificultades de causas desconocidas en cuanto al manejo ya que existen derrames frecuentes en el tanque ecualizador, lo que ocasiona pérdidas de tiempo e incremento en los costos de mantenimiento debido a estas ineficiencias.

La conservación de la calidad del agua conlleva a la reducción de la utilización del recurso por medio de mejoras en la operación de equipos y procesos existentes.

El conocimiento de la cantidad y la calidad de las aguas permitirán la detección de las variaciones más importantes y no tener una planta que opere ineficientemente la mayoría del tiempo.

El monitoreo de la calidad y los flujos de agua a lo largo de toda la planta de efluentes es una herramienta invaluable para lograr el éxito de los esfuerzos por optimizar el funcionamiento de la misma.

Con base en un balance de materiales, el ingeniero diseñador puede prever el potencial impacto que se tendrá con un cambio en el proceso sin tener que esperar a aprender de los resultados de la planta, también ayuda a seleccionar los parámetros contaminantes que se deben monitorear, Fomipyme (2005).

Por lo antes expuesto, el objetivo central de este trabajo de investigación se orientó a un estudio específico para determinar el impacto de la variabilidad de la calidad del agua sobre la optimización del funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Objetivos de la Investigación

General

Determinar la variabilidad de la calidad del agua y su impacto en los proyectos de optimización del funcionamiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales caso: Empresa Domínguez Continental S.A.

Específicos

1. Determinar experimentalmente la variabilidad de la calidad del agua proveniente del proceso productivo y la relación con los parámetros de funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales.

2. Diseñar un modelo de cálculo para la estimación de la variabilidad de la calidad del agua proveniente del proceso productivo en la optimización del funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Importancia de la Investigación

El agua, origen y base de la vida, se ha consolidado como medio indispensable para cualquier alternativa de futuro, no existe actividad humana económica, industrial o política que pueda prescindir de este vital recurso. Sin embargo, el tratamiento inadecuado de los desechos y la insuficiencia de infraestructuras para la desinfección de las aguas plantean serias amenazas a la salud pública, al desarrollo económico y social de los países en vías de desarrollo.

Generalmente, no se aprecia la medida en que el aprovechamiento de los recursos hídricos contribuye a la productividad económica y el bienestar social, aunque todas las actividades del hombre, incluyendo las industriales, descansan en grado sumo sobre el suministro y calidad del agua. Todas las empresas a nivel nacional conocen esta situación y están obligadas a avanzar en la gestión de los recursos hídricos, bajo verdaderos criterios de sustentabilidad, vanguardia tecnológica y ecoeficiencia.

Algunos problemas de la contaminación se atribuye directamente a las deficiencias de operación, mantenimiento y a la falta de los debidos incentivos para alentar la conservación y recuperación del recurso. Las mejoras en la eficiencia operativa y en la recuperación de recursos producen altos rendimientos y beneficios desde el punto de vista económico para las empresas.

La importancia de esta investigación radica en el estudio de la variabilidad de la calidad del agua, herramienta fundamental para lograr la optimización del funcionamiento de planta de efluentes gracias a la selección de los parámetros contaminantes que se deben monitorear.

En vista de estas consideraciones, las empresas a nivel nacional e internacional deben tomar en cuenta la importancia de invertir los recursos económicos y técnicos necesarios a fin de garantizar que la reutilización del agua se administre debidamente.

Alcances

Los modelos de calidad de agua estiman condiciones actuales y futuras, de tal manera, que es posible simular escenarios que permitan anticipar las variaciones que sufrirán los parámetros del cuerpo acuático en estudio.

La presente investigación consistente en un modelo de cálculo para la estimación de la variabilidad de la calidad del agua proveniente del proceso productivo, constituye una herramienta para la optimización del funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales, no solo para la Empresa sino para ser aplicado en otras a nivel nacional, con la consecuente adaptación según las características del proceso.

Limitaciones

La limitación fundamental de este trabajo de investigación consistió en la complejidad del estudio de la interdependencia de las variables que definen y caracterizan la calidad del agua, así como la escasez de información en la literatura especializada en la problemática de optimización de funcionamiento de plantas de tratamiento considerando la variabilidad de la calidad del agua.

A su vez, existe una insuficiencia de información referente a la planta de efluentes y la misma carece de instrumentación y control suficiente que permita el levantamiento de datos para la elaboración de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

Antecedentes

Históricamente las aguas residuales no han sido un factor intrínseco de la producción y se suponía que el medio ambiente las absorbía y les daba un tratamiento natural. El progreso cultural e industrial acabó llevando aquella práctica a situaciones límites y en la actualidad en las economías industriales el agua residual se convierte en costo de producción.

De acuerdo a la revisión de los antecedentes, se reportaron estudios o investigaciones tanto a nivel internacional y nacional que sustentan el trabajo, algunas de ellas se mencionan a continuación:

Baecheler (2005), realizó una investigación titulada: “Calidad del agua en espacios naturales: Impacto y Modelación”. La elaboración de este proyecto condujo a la conclusión de que el agua de los espacios naturales se ve alterada y los impactos sobre ella deben ser evaluados, la forma más adecuada son los modelos de calidad de aguas los cuales permiten simular condiciones actuales y futuras de tal manera, que permiten anticipar las variaciones que sufrirán los diversos índices o parámetros en el cuerpo acuático en estudio.

Dicha investigación sirvió como apoyo, ya que el proyecto plantea la aplicación de modelos para estimar, simular y anticipar las variaciones que sufrirán los parámetros de la calidad de las aguas.

Laín (2003), realizó una investigación titulada: “Mejoras en el sistema de aprovisionamiento de agua tratada para el proceso de envasado aséptico en una empresa de alimentos”. En la elaboración de este proyecto se utilizaron las siguientes

herramientas y técnicas: flujograma de proceso y caja negra por medio de la técnica observación directa, el diagrama Pareto, utilizando la técnica del grupo nominal y la técnica de evaluación económica.

Gracias a estas herramientas se diagnosticó la situación actual de las redes de agua de la planta de tratamiento, concluyendo que es necesario elevar la calidad del agua con la finalidad de aumentar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de las máquinas. Dicha investigación sirvió como apoyo, ya que establece una metodología para el mejoramiento de la calidad de las aguas que puede ser aprovechada para incrementar la productividad y el desempeño de la planta.

Igualmente, Lameda (2001) realizó una investigación titulada: “Evaluación del diseño de Planta de Tratamiento de Efluentes de la Empresa Kraft Foods Venezuela”. Para lograr el objetivo general fue necesario la utilización de herramientas y técnicas como son: flujograma de actividades por medio de la observación directa, entrevista estructurada y cuestionario tipo encuesta mediante la técnica cara a cara, lista de verificación gracias a la técnica auditoría diagnóstico y el diagrama causa – efecto por medio de la técnica de tormenta de ideas.

Gracias a estos instrumentos se evaluó el diseño de las unidades de tratamiento físico, químico y biológico que conformaban la planta de tratamiento llegando a la conclusión de que el diseño realizado no corresponde a lo descrito en documentos aportados por la empresa y se recomendó adaptar el sistema al proyecto original además se determinó que existe la necesidad de proponer un sistema de mejoramiento continuo con el fin de reducir fallas, detectar las necesidades en las áreas de trabajo, elevar y desarrollar la motivación del personal. El análisis del diseño de plantas de tratamiento de efluentes suele ser importante en este caso, porque el proyecto plantea la optimización del funcionamiento de planta de efluentes y calidad de las aguas según la normativa ambiental vigente.

Finalmente, Engels (2000) realizó un proyecto titulado “Sistema de Tratamiento de Aguas Industriales de una empresa fabricante de cilindros contenedores de GLP”. Para alcanzar los objetivos planteados, el autor utilizó como herramientas el flujograma de actividades, diagrama de recorrido de proceso y caja

negra por medio de la observación directa, la entrevista estructurada y cuestionario tipo encuesta mediante la técnica cara a cara y la lista de verificación gracias a la técnica auditoría diagnóstico y con esto concluye que existe la necesidad de establecer controles internos para regular efluentes a fin de evitar sanciones penales y evitar pérdidas económicas para la empresa. El estudio realizado sirvió de apoyo ya que generó diversas alternativas de diseño de Sistemas de Tratamiento para la reutilización de las aguas de proceso del proceso productivo de la empresa con el propósito de disminuir los costos operativos.

Los estudios planteados anteriormente sirvieron de antecedentes para la realización de este trabajo de investigación ya que abarcaron temáticas relacionadas a la calidad de las aguas y la optimización del funcionamiento de plantas de efluentes, problemática de gran relevancia en la actualidad.

Bases Conceptuales

Calidad del Agua

El agua en la naturaleza no se encuentra en estado puro y puede contener casi siempre un cierto número de sustancias procedentes de las precipitaciones, la erosión o el viento. En consecuencia, las aguas naturales pueden presentar sólidos y coloides en suspensión que afectan las propiedades tales como: alcalinidad, pH, conductividad, oxígeno disuelto que influye en la vida acuática, temperatura entre otros.

A estas impurezas de origen natural se le deben sumar las procedentes de vertidos artificiales que pueden introducir en el medio acuático otras sustancias como son: detergentes, lubricantes, sólidos disueltos, entre otros.

El término calidad del agua según Infraeco (2004), es relativo ya que se debe tener en cuenta el uso o actividad a la que se destina. Por ejemplo, las aguas que se utilizan para fines recreativos pueden ser inaceptables para el consumo humano ya que su calidad es distinta, los requisitos que se exigen al agua son diferentes dependiendo de los usos que se hagan de ella.

Generalmente, la degradación de las aguas se debe a causas artificiales tales como el crecimiento demográfico, la implantación de industrias o la agricultura. Para el Ministerio del Ambiente, el término calidad del agua se entiende como la capacidad intrínseca que tiene el agua para responder a los usos que se podrían obtener con ella, o también se define como aquellas condiciones que deben mantenerse en el agua para que ésta posea un ecosistema equilibrado y cumpla unos determinados objetivos de calidad, entendiendo por tales aquellos fijados en los planes hidrológicos de cuenca para las aguas superficiales y subterráneas en función de los usos y demandas actuales y previsibles.

Parámetros de la Calidad del Agua

Una de las clasificaciones según Metcalf (1996), que se pueden utilizar para el estudio de los diferentes parámetros de contaminación o calidad de las aguas, es según la naturaleza de la propiedad o especie que se determina. Así, se puede dividir en:

Parámetros de Carácter Físico

Sólidos Totales. Se define el contenido de sólidos totales según op. cit., como la materia orgánica que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación ente 103 y 105 °C. No se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor.

Los sólidos totales pueden clasificarse en filtrables o no filtrables, donde la fracción de sólidos filtrables corresponde a sólidos coloidales y disueltos.

Los sólidos disueltos están compuestos de materias orgánicas e inorgánicas e iones en disolución de agua (p. 60).

Temperatura. La temperatura del agua residual según op. cit., suele ser siempre más elevada que la de suministro, hecho principalmente debido a la

incorporación de agua caliente procedente de las casas y de los diferentes usos industriales.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como la aptitud del agua para ciertos usos útiles.

Es preciso tener en cuenta que un cambio brusco en la temperatura puede conducir a un fuerte aumento en la mortalidad de la vida acuática. Además, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a la proliferación de plantas acuáticas y de hongos (p.71).

Conductividad. La conductividad según op. cit., da una buena apreciación de la concentración de los iones de disolución y una conductividad elevada se traduce en una salinidad elevada o en valores anómalos de pH (p.65).

Parámetros de Carácter Químico

pH. El pH del agua según op. cit., indica la reacción ácida y básica de la misma, es una propiedad de carácter químico de vital importancia para el desarrollo de la vida acuática ya que tiene influencia sobre determinados procesos químicos y biológicos y la naturaleza de las especies iónicas que se encuentran en su seno. Por lo general las aguas naturales tienen un cierto carácter básico, unos valores de pH comprendidos entre 6,5-8,5, los océanos tienen un valor medio de 8 (p.95).

DQO. El ensayo de la Demanda Química de Oxígeno según op. cit., se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales.

En el ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que pueda oxidarse y debe hacerse a elevadas temperaturas (p.93).

Procesos en la Depuración y Regeneración de Aguas Residuales

Las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, tanto urbanas como industriales, suelen estar formadas por una sucesión de procesos físico, químicos y biológicos tanto aerobios como anaerobios complementarios entre sí que permiten realizar una depuración integral en las mejores condiciones técnicas y económicas posibles, Calvo (2004).

Los objetivos de una planta de tratamiento de efluentes son:

1. Eliminación de residuos, aceites, grasa, flotante o arenas y evacuación a punto de destino final adecuado.
2. Eliminación de materias decantables orgánicos e inorgánicos.
3. Eliminación de compuestos amoniacales y que contengan fósforo.
4. Transformar los residuos retenidos en fangos estables y que éstos sean correctamente dispuestos.

Según el grado de complejidad y tecnología empleada, las plantas de tratamiento de aguas residuales se clasifican como:

1. Convencionales: se emplean en núcleos de población importantes y utilizan tecnologías que consumen energía eléctrica de forma considerable y precisan mano de obra especializada.
2. Tratamientos blandos: se emplean en algunas poblaciones pequeñas y alejadas de redes de saneamiento. La principal premisa es la de tener unos costos de mantenimiento bajos y precisar de mano de obra no cualificada y el grado de tecnificación es muy bajo, necesitando poca o nula energía eléctrica.

Pre-tratamiento

En toda planta de tratamiento de efluentes según op. cit., resulta necesaria la existencia de un tratamiento previo o pre-tratamiento que elimine del agua residual aquellas materias que pueden obstruir las bombas y canalizaciones, o bien interferir en el desarrollo de los procesos posteriores.

Con el pre-tratamiento se elimina la parte de polución más visible: cuerpos voluminosos, trapos, palos, hojas, arenas, grasas y materiales similares, que llegan flotando o en suspensión desde los colectores de entrada. Una línea de pre-tratamiento convencional consta de las etapas de desbaste, desarenado y desengrasado.

El desbaste se lleva a cabo mediante rejillas formadas por barras verticales o inclinadas, que interceptan el flujo de la corriente de agua residual en un canal de entrada a la estación depuradora. La misión es retener y separar los sólidos más voluminosos, a fin de evitar las obstrucciones en los equipos mecánicos de la planta y facilitar la eficacia de los tratamientos posteriores. Estas rejillas pueden ser de dos tipos: entre 50 y 150 milímetros de separación de los barrotes (desbaste grueso) y entre 10 y 20 milímetros (desbaste fino) y disponen de un sistema de limpieza que separa las materias retenidas.

Las instalaciones de desarenado se sitúan en las plantas de tratamiento de efluentes después del desbaste y tienen como objetivo el extraer del agua bruta las partículas minerales de tamaño superior a uno fijado en el diseño, generalmente 200 micras. El funcionamiento técnico del desarenado reside en hacer circular el agua en una cámara de forma que la velocidad quede controlada para permitir el depósito de arena en el fondo. Normalmente, esta arena sedimentada queda desprovista casi en su totalidad de materia orgánica y es evacuada, mediante bombas, al clasificador de arenas y posteriormente, a un contenedor.

La fase de desengrasado tiene por objeto eliminar las grasas, aceites y en general los flotantes, antes de pasar el agua a las fases posteriores del tratamiento. El procedimiento utilizado para esta operación es el de inyectar aire a fin de provocar la desemulsión de las grasas y su ascenso a la superficie, de donde se extraen por algún dispositivo de recogida superficial, normalmente rasquetas, para acabar en contenedores.

Otros elementos del pre-tratamiento son el aliviadero y el medidor de caudal, el primero permite que la planta funcione siempre según el caudal del proyecto y

conjuntamente con el medidor del caudal, permite controlar la cantidad de agua que entra en la planta.

Tratamiento Primario

Se entiende por tratamiento primario según op. cit., a aquel proceso o conjunto de procesos que tienen como misión la separación por medios físicos de las partículas en suspensión no retenidas en el pre-tratamiento.

El proceso principal del tratamiento primario es la decantación, fenómeno provocado por la fuerza de gravedad que hace que las partículas suspendidas más pesadas que el agua se separen sedimentándose. Normalmente, en decantadores denominados dinámicos, los fangos son arrastrados periódicamente hasta unas purgas mediante unos puentes móviles con unas rasquetas que recorren el fondo. En los denominados decantadores circulares, inmensos, el agua entra por el centro y sale por la periferia, mientras que los fangos son arrastrados hacia un pozo de bombeo de donde son eliminados por purgas periódicas.

Otros procesos de tratamiento primario incluyen el mecanismo de flotación con aire, en donde se eliminan sólidos en suspensión con una densidad próxima a la del agua, así como aceites y grasas, produciendo unas burbujas de aire muy finas que arrastran las partículas a la superficie para su posterior eliminación.

El tratamiento primario permite eliminar en un agua residual urbana aproximadamente el 90 por ciento de las materias decantables y el 65 por ciento de las materias en suspensión. Se consigue también una disminución de la DBO de alrededor del 35 por ciento.

Floculación. Es la formación de partículas sedimentables a partir de un proceso de formación de puentes químicos o enlaces físicos. Con la floculación, se obtiene partículas las cuales se aglomeran aumentando de tamaño, favoreciendo la sedimentación al aumentar la velocidad de caída debido al incremento de peso.

Tratamiento de Lodos

Según op. cit., los lodos son el residuo del tratamiento de las aguas, que se deposita en el fondo de un decantador, caracterizándose por su alto contenido en agua, siendo variable su contenido en microorganismos según sea su procedencia urbana o industrial.

Lechos de Lodo. Es un tanque de forma rectangular en el cual se deposita la sedimentación proveniente tanque clarifloculador. Al fondo del mismo posee capas de grava separada por mallas lo que permite la filtración de los altos contenidos de agua que posee el lodo.

Modelo Matemático

Según Chapra y Canale (1993), es la formulación o ecuación que expresa las características fundamentales de un sistema o proceso en términos matemáticos. Se clasifican desde simples relaciones algebraicas hasta complicados sistemas de ecuaciones diferenciales.

Marco Legal

El Estado Venezolano según Gaceta Oficial N° 5021 mediante el Decreto N° 883, promulga el deber de proteger las cuencas hidrográficas, clasificar y controlar la calidad de los cuerpos de agua y vigilar los vertidos o efluentes líquidos susceptibles a degradar el medio acuático y alterar los niveles de calidad exigibles para preservar y mejorar el ambiente.

Es por esto que la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela en el artículo 304, promulga que la Ley establecerá las disposiciones necesarias a fin de garantizar la protección, aprovechamiento y recuperación de todas las aguas.

Por ende, mediante el Decreto presidencial N° 883 titulado: “Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos” se dictan las normas para la clasificación y control de la calidad de las aguas y vertidos.

Según Gaceta Oficial, los efluentes de Domínguez Continental S.A. por ser descargados a redes cloacales no deberán ser mayores de los rangos y límites permisibles establecidos en el Cuadro 1.

Cuadro 1
Límites y Rangos de las Aguas según artículo 15

<i>Parámetro</i>	<i>Límite o rango máximo</i>
Aceites Minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales	150 mg/l
Alkil mercurio	No detectable
Aluminio total	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Cromo total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5,20})	350 mg/l
Demanda Química de Oxígeno	900 mg/l
Detergentes	8,0 mg/l
Dispersantes	8,0 mg/l
Fenoles	0,5 mg/l
Fósforo total	10 mg/l
Hierro total	25 mg/l
Manganeso total	10 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Níquel total	2,0 mg/l
Nitrógeno total	40 mg/l
pH	6-9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,2 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos suspendidos	400 mg/l
Sólidos totales	1600 mg/l
Sulfatos	400 mg/l
Sulfuros	2,0 mg/l
Temperatura	40 °C
Vanadio	50 mg/l
Zinc	10 mg/l

Nota. Elaborado con información de Gaceta Oficial de la República de Venezuela n° 5021

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Naturaleza del Estudio

El estudio se enmarcó bajo la modalidad de proyecto de investigación no experimental del tipo descriptivo, el mismo se realizó sin provocar situaciones que estén fuera de la realidad, tampoco se manipulan variables deliberadamente, sino que se basan en realizar un estudio específico a fin de determinar la variabilidad de la calidad del agua y el impacto sobre el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Sampieri (1998), define el estudio descriptivo como la selección de una serie de cuestiones y medición de cada una de ellas independientemente, para así (valga la redundancia) describir lo que se investiga. Así como los estudios exploratorios se interesan fundamentalmente en descubrir, los de este tipo de investigación se centran en medir con la mayor precisión posible. “La investigación descriptiva, requiere considerablemente conocimiento del área que se investiga para formular las preguntas específicas que busca responder” (p.60).

Población y Muestra

La población a trabajar en este proyecto se constituyó por seis (6) personas del Departamento de Aseguramiento de la Calidad, quienes arrojaron la información necesaria para el análisis de la problemática durante el desarrollo de la investigación (Cuadro 2).

La muestra seleccionada para la presente investigación fue del tipo no probabilística debido a que la selección de los elementos no dependió de acciones provenientes al azar, sino de causas relacionadas con las características de la investigación, en este caso debido a que la población es muy pequeña la muestra abarca toda la población.

Cuadro 2
Unidad Sujetos de Investigación

Cargo	Cantidad de personas
Jefe del Departamento de Aseguramiento de la Calidad	1
Supervisor de Aseguramiento de la Calidad del Proceso	1
Inspector de Calidad	1
Supervisor de Tratamiento de Aguas	1
Inspector de Insumos y Tratamientos de Agua	1
Asegurador de la Calidad	1
Total	6

Nota. Elaborado con información suministrada por la Empresa

Por otra parte, existió la necesidad de seleccionar una muestra constituida por equipos y máquinas analizados para la obtención de información durante el desarrollo de la investigación (Cuadro 3).

Instrumentos y Técnicas de Recolección de Información

Según Balestrini (1987), a este nivel del desarrollo del proyecto de investigación, se debe señalar y precisar de manera clara y de la perspectiva metodológica, cuales son aquellos métodos, instrumentos y técnicas de recolección de información, considerando las particularidades y límites de cada uno de éstos, más apropiados, atendiendo a las interrogantes planteadas en la investigación y a las características del hecho estudiado, que el conjunto permitirá obtener y recopilar datos que se están buscando.

Cuadro 3
Unidad Objetos de Investigación

<i>Tipo de Equipo</i>	<i>Cantidad de Equipos</i>
Lavadoras	6
Fosa de sump	1
Tanque ecualizador	1
Tanque neutralizador	1
Tanque de retención	1
Tanque de polímero	1
Tanque clarifloculador	1
Tanque de recuperación externo	1
Total	13

Nota. Elaborado con información suministrada por la Empresa

Por cuanto, en toda investigación la especificidad del conjunto de informaciones que se impone recolectar a fin de alcanzar los objetivos, inciden de manera determinante, en los diversos medios utilizados para desplegar la misma.

A continuación se presentarán las técnicas e instrumentos seleccionadas, las mismas fueron escogidas en base a las características del problema planteado.

Observación Directa

La observación directa según Rodríguez (2004), se empleó para conocer el sistema productivo y las actividades que se realizaron en cada área. Ésta constituye un método de atención y registro de información de componentes importantes del proceso productivo ya que permitió el contacto directo con las personas a investigar, gracias a ésta se logró la comprensión y funcionamiento de los procesos, además se conoció a través de ésta la problemática existente.

Esta técnica fue aplicada mediante una visita guiada al área de tratamiento de aguas de la empresa Domínguez Continental S.A. con la finalidad de conocer los procesos que se realizan en la planta de efluentes y así detectar la secuencia de operaciones que se ejecutan para la recuperación del agua según los parámetros deseados.

Muestreo

Según Metcalf (1996), no existen procedimientos universales de muestreo, las campañas de muestreo deben diseñarse específicamente para cada situación. En el caso de que las aguas que se quiere muestrear presenten considerables variaciones en su composición, será preciso emplear procedimientos especiales. Por lo tanto, es necesario seleccionar adecuadamente los puntos de muestreo y determinar el tipo y frecuencia de muestra a tomar (p.127).

Conjuntamente con el monitoreo de continuo del pH, la temperatura y la conductividad, definen aún más las variaciones en la características del agua residual, para ello es necesario que investigador establezca las estaciones, intervalos y equipos de muestreo.

Estaciones de Muestreo

Estas deberán estar situadas en puntos en las que las características del flujo sean tales que favorezcan al máximo las condiciones de mezcla de las aguas y de uniformidad, tomando en cuenta la turbulencia para evitar la formación de gases disueltos lo cual conduciría a la toma de una muestra no representativa.

Se establecieron siete puntos de muestreo para estudiar las características del agua residual a la salida de cada tanque (Gráfico 4).

Intervalos de Muestreo

El grado de variación de caudal condiciona el intervalo de tiempo de muestreo. Debe ser un tiempo lo suficientemente corto como para que la representatividad de las muestras sea máxima.

Se procedió a establecer un intervalo de muestreo de cuatro horas al día durante cinco días a la semana en un mes de muestreo ya que las variaciones de caudales eran muy bajas.

Equipos de Muestreo

Es importante seleccionar cuidadosamente el equipo de muestreo, para llevar a cabo esta técnica se utilizaron un conductivímetro y un medidor de pH para medir los sólidos totales disueltos expresados en partes por millón y el pH respectivamente y una jarra con un cronómetro para el cálculos de los caudales.

Muestreo del Tablero de Damas

Es una tabla la cual permite registrar de manera continua los caudales, la conductividad, el pH y la temperatura conforme al plan de muestreo planificado. Con este programa, se obtienen muestras cada hora durante el periodo establecido de operación (Cuadro 4).

Según Nalco (1996), deberá inspeccionarse la conductividad y la apariencia de cada muestra, en aquellas en que se desvía mucho de la norma deberá inspeccionarse el pH y la temperatura (p.40-5).

Cuadro 4

Muestreo del Tablero de Damas

Hora	ESTACIONES					
	Estación N° 1	Estación N° 2	Estación N° 3	Estación N° 4	Estación N° 5	Estación N° 6
	Caudal en GPM					
7.00 a.m.						
8.00 a.m.						
9.00 a.m.						
10.00 a.m.						
Promedio						

Tormentas de Ideas

Las tormentas de ideas (en inglés, Brainstorming) según Rodriguez (2004), se describe como una técnica de creatividad que busca nuevas soluciones a los problemas por medio de asociaciones libres y manifestaciones sin criterio establecido,

en determinado grupo de personas. El brainstorming se emplea junto con otras técnicas de análisis en la ciencia y la investigación.

El brainstorming comienza con la presentación de problemas individuales ante un grupo de personas. Inmediatamente, cada componente del grupo debe asociar nuevas ideas en relación con la propuesta del interviniente anterior, y aceptar las críticas o valoraciones que se produzcan durante su intervención. Aumentan así la espontaneidad, la intuición y la creatividad, con lo cual la cantidad de nuevas propuestas y formas de resolución del problema puede ser notable. Al término se analizan y valoran las propuestas.

Diagrama Causa- Efecto

Según Ishikawa (1994), el diagrama causa - efecto o diagrama de espina de pescado se utiliza en las fases de diagnóstico y solución de la causa. Es una forma de organizar y representar las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un problema. Esta técnica es un vehículo para ordenar, de forma concentrada, las causas que contribuyen a un determinado efecto, permitió por tanto lograr un conocimiento común de un problema complejo sin ser nunca sustitutivo de los datos. Es importante ser conscientes de que los diagramas de causa -efecto presentan y organizan teorías (p.35). En el Gráfico 1, se detalla un esquema sobre el diagrama causa efecto.

Técnica del Grupo Nominal

Según Rodríguez (2004), esta técnica fue desarrollada para aprovechar la riqueza de los procesos en grupo, tratando de evitar problemas conocidos. Para lograrlo, se proponen reuniones estructuradas en las que se combina el trabajo individual con el trabajo en grupo (p.30).

La técnica del grupo nominal trata de guiar el proceso de decisión asegurando una participación por igual de los miembros, una ponderación equilibrada de las ideas e incorporando un procedimiento de agregación para ordenar alternativas.

El objetivo de ésta técnica es la producción de diversas ideas individuales y creativas acerca de un problema complejo, que no puede ser resuelto por un solo individuo.

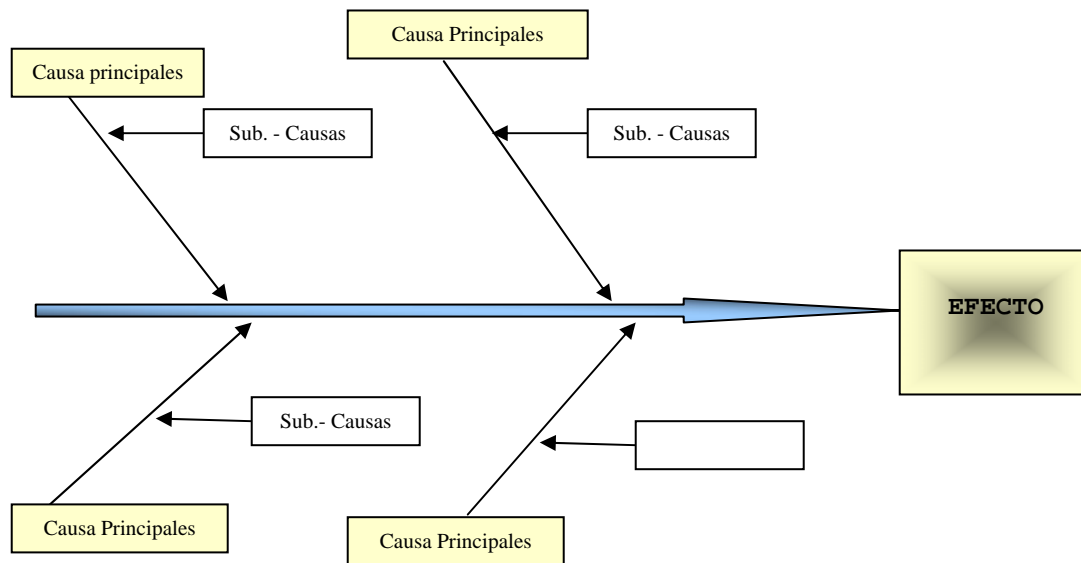


Gráfico 1. Representación causa – efecto. Tomado de Rodríguez (2004) *Herramientas Estadísticas para el Control Estadístico de los Procesos* (p.48).

Diagrama de Pareto

Es una herramienta de análisis de datos ampliamente utilizada y es por lo tanto útil en la determinación de la causa principal durante un esfuerzo de resolución de problemas, ayuda a ver cuáles son los problemas mayores, permitiéndoles a los grupos establecer prioridades.

El Diagrama de Pareto, es una gráfica en donde se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha por medio de barras sencillas después de haber reunido los datos para clasificar las causas, de modo que se asignan un orden de prioridades.

Según Rodríguez (2004), si se tiene un problema con muchas causas, se puede decir que el 20 por ciento de las causas resuelven el 80 por ciento del problema y el 80 por ciento de las causas solo resuelven el 20 por ciento del problema.

El Diagrama de Pareto, es utilizado para separar gráficamente los aspectos significativos de un problema desde los triviales de manera que un equipo sepa dónde dirigir los esfuerzos para mejorar. “Reducir los problemas más significativos servirá más para una mejora general que reducir los más pequeños” (p.32).

Caja Negra

Según lo expresado por Rodríguez (2004), se expone como un diagrama simplificado, en el que se observa la situación actual de la empresa específicamente del área en estudio, se utiliza la observación directa para la recolección de datos, y así determinar las entradas y salidas principales y secundarias (p.54).

En ésta se presenta gráficamente las entradas principales y secundarias como las salidas principales y secundarias del sistema estudiado y restricciones, que facilitan el análisis del proceso (Gráfico 2).

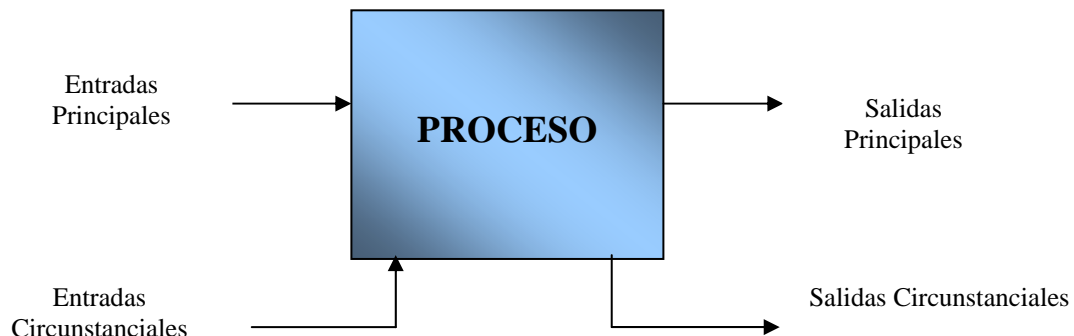


Gráfico 2. Diagrama caja negra. Tomado de Rodríguez (2004) *Mejoramiento continuo* (p.54).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación se describen los instrumentos y técnicas utilizadas para la recolección de información durante el desarrollo del proyecto de investigación:

Observación Directa

A través de esta técnica se conoció el funcionamiento de la planta de efluentes, observando la secuencia de las operaciones que se ejecutan para recuperar la calidad del agua según los parámetros deseados. A su vez, se detectaron las fallas operativas y se visualizaron las posibles causas de ésta.

La secuencia de operaciones para la obtención de agua tratada según los parámetros deseados se describe en el Gráfico 3. A continuación se detalla el proceso para la recuperación de la calidad del agua:

El efluente proveniente de las lavadoras cae a razón de 50-80 GPM en un sumidero (tanque subterráneo) en el cual se mantiene a temperatura ambiente, el aceite soluble que contiene se separa de su estado emulsificado y flota en la superficie, de allí el flujo es transportado por tuberías y bombeado hasta en tanque ecualizador a razón de 50-80 GPM.

Por otra parte, el agua de los desionizadores y suavizadores llega a una fosa donde el flujo es bombeado al tanque ecualizador con la finalidad de neutralizar los iones del efluente y ésta funciona solo cada tres días durante cuatro horas.

El tanque ecualizador tiene una capacidad de manejar caudales de 35-40 GPM y en él se amortiguan las fluctuaciones y se controla el pH para minimizar los requerimientos de químicos, necesarios para la neutralización. Debido a que el caudal

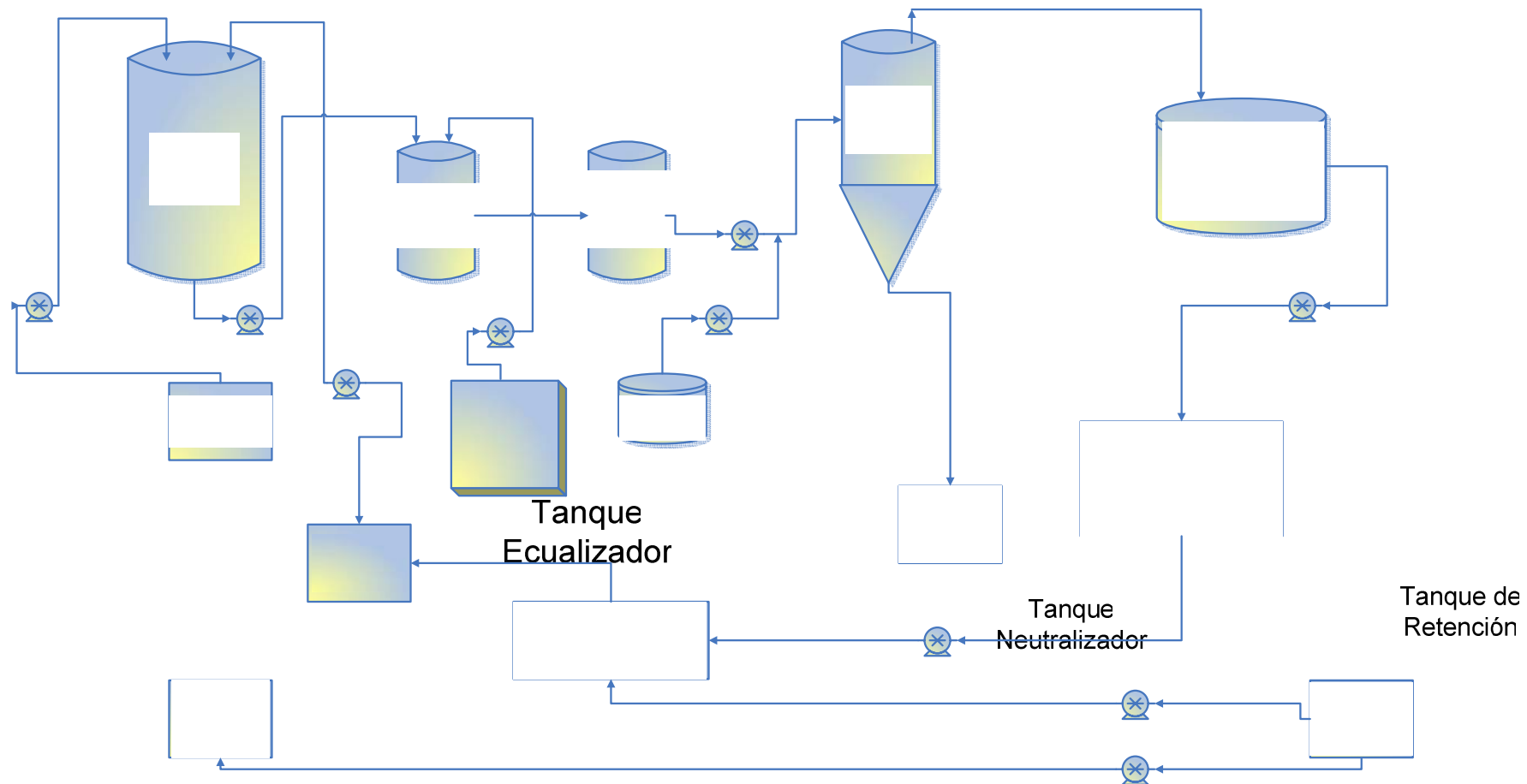


Gráfico 3. Secuencia de operaciones para la recuperación de agua tratada. Elaborado por el autor.

bombeado al tanque ecualizador es mayor que el caudal de diseño, éste se llena rápidamente presentando altos reboses y consecuentemente los frecuentes derrames.

Luego, del tanque ecualizador el flujo llega al neutralizador por medio de bombeo, el pH de este caudal oscila entre 2,5 y 4,8 por lo que se le adiciona automáticamente sosa cáustica (neutralizante básico), para lograr un rango de neutralización de 6,5 a 8,5 de pH. La sosa cáustica reacciona con el aluminio presente formando el hidróxido de aluminio el cual precipita.

El flujo sale del tanque neutralizador con un pH aproximado de 8,3 y por gravedad pasa al de retención y de éste último, el agua neutralizada es llevada por bombeo al clarifloculador. A su vez, se dosifica desde el tanque de polímero el químico floculante al tanque clarifloculador.

El químico es un polímero aniónico (Lipasa 727) el cual se encarga de formar flóculos que atrapan los compuestos de aluminio, la dosificación de mismo es descontrolada debido a fallas de la bomba dosificadora lo que ocasiona frecuentemente una sobredosificación o subdosificación al sistema.

Tanto el agua neutralizada como el polímero entran el tanque clarifloculador, en él se sedimenta las partículas de hidróxido de aluminio las cuales tienen una elevada densidad y están en cantidades reducidas. Luego de ocurrir la floculación, el precipitado de color gris es enviado por medio de bombeo al lecho de lodo, donde se seca y luego es desechado.

Posteriormente, el flujo que sale del clarifloculador es almacenado en un tanque de recuperación interno de efluente el cual posee un control de nivel por medio de un flotador de manera tal que cuando el fluido se encuentra a una cierta altura se acciona la bomba la cual envía el agua al tanque de recuperación externo, éste último presenta usualmente restos de polímero cuando hay sobredosificación en el tanque clarifloculador.

Finalmente, el agua tratada es introducida al proceso no sin antes pasar por un filtro cuya finalidad es remover aquellas partículas que no pudieron ser eliminadas anteriormente.

De la observación directa, se señala primordialmente que el tanque ecualizador presenta altos reboses y consecuentemente los frecuentes derrames, a su vez la dosificación de polímero no es la adecuada debido a las fallas de la bomba y el tanque de recuperación externo presenta usualmente restos de polímero.

Muestreo

La técnica de muestreo utilizada para el estudio del agua residual aseguró la obtención de muestras representativas, ya que los datos que se derivaron de los análisis de éstas dieron base para cumplir el primer objetivo planteado en este proyecto de investigación.

Como se mencionó anteriormente, no existen procedimientos universales de muestreo para análisis de aguas, éstos deben diseñarse específicamente para cada situación. Por ello, el investigador procedió a elaborar un plan donde seleccionó adecuadamente los puntos de toma de muestra, la frecuencia a tomar y los equipos a utilizar.

Estaciones de Muestreo

Se estudió la secuencia de operaciones que se ejecutan en la planta de efluentes para recuperar la calidad del agua y así determinar las estaciones de muestreo. Esto permitió detectar los puntos para la medición de los caudales y para la recolección de muestras de agua residual a la salida de cada uno de los tanques para analizar los sólidos totales disueltos, pH y la temperatura. En el Gráfico 4, se señalan esquemáticamente los puntos del muestreo.

Intervalos de Muestreo

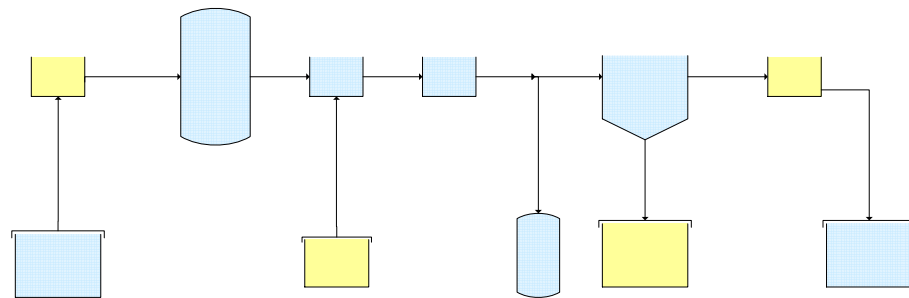
Como la variación por hora de los caudales, sólidos totales disueltos, temperatura y pH eran muy bajos, se estableció un intervalo de muestreo lo

suficientemente corto, es decir, fue planificado para cuatro semanas y se tomaron muestras diarias en un lapso de cuatro horas, garantizando que la representatividad de las muestras sea máxima.

Equipo de Muestreo

Fue de suma importancia la selección adecuada del equipo de muestreo para la medición de los caudales, sólidos totales disueltos, pH y temperatura, por lo que se utilizaron los instrumentos necesarios para la detección de cada parámetro señalado.

Para la medición de caudales se utilizó una jarra y un cronómetro, para los sólidos totales disueltos se empleó el conductivímetro y el pH y la temperatura fueron analizados mediante un medidor de pH.



LEYENDA:

- (1) Lavadoras
- (2) Fosa de Sump
- (3) Tanque Ecuilizador
- (4) Tanque Neutralizador
- (5) Tanque de Sosa Cáustica
- (6) Tanque de Retención
- (7) Tanque de Polímero
- (8) Tanque Clarifloculador
- (9) Lecho de secado
- (10) Tanque de recuperación interno
- (11) Tanque de recuperación externo

Puntos de muestreo

Gráfico 4. Esquema de Puntos de Muestreo. Elaborado por el Autor.

Muestreo del Tablero de Damas

Mediante este instrumento se registró de manera continua durante cuatro semanas los caudales, la conductividad, el pH y temperatura conforme al plan de muestreo planificado y también se determinó experimentalmente la variabilidad de la calidad del agua proveniente del proceso productivo y la relación con los parámetros de funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales, cumpliendo así con el primer objetivo planteado en este proyecto de investigación.

Es de suma importancia señalar que los datos presentados en cada uno de los cuadros mostrados a continuación son promedios de muestreo por hora durante cinco días continuos de cada semana, lográndose así presentar mediciones semanales.

Durante la primera semana, se observó que la variación estándar de los caudales por hora fue baja de 3,54 GPM, la lavadora presentó reboses altos de 54,03 GPM y por ende, el tanque ecualizador manejó un caudal mayor al cual está diseñado (entre 35-40 GPM).

La dosificación de polímero fue la adecuada según la tabla de Dosificación de Polímero en Polvo (Anexo B) y cabe destacar que el caudal de agua recuperada proveniente del tanque de recuperación externo fue de 21,9 GPM, menor que el de salida de la lavadora de 54,03 GPM, reflejándose grandes pérdidas en la recuperación (Cuadro 5).

Cuadro 5
Medición de caudales en la primera semana

Hora	ESTACIONES					
	Lavadoras	Fosa de Sump	Tanque Ecualizador	Tanque de Polímeros	Tanque Clarifloculador	Tanque de Recuperación Externo
	Caudal en GPM					
7.00 a.m.	56,86	51,17	39,2	0,129	39,62	21,45
8.00 a.m.	57,26	51,53	39,2	0,125	39,61	22,35
9.00 a.m.	50,34	45,30	39,2	0,123	39,63	21,8
10.00 a.m.	51,69	46,52	39,0	0,128	39,62	22,0
Promedio	54,03	48,63	39,15	0,126	39,62	21,9

A su vez, la desviación estándar de sólidos totales disueltos entre los tanques fue alta de 72,81ppm y los mismos se incrementan gradualmente en cada uno de ellos exceptuando el de retención y el tanque de recuperación externo donde disminuyen paulatinamente, el clarifloculador presentó una mayor concentración de sólidos de 525 ppm con respecto a los otros tanques (Cuadro 6).

Cuadro 6
Medición de sólidos totales disueltos en la primera semana

Hora	ESTACIONES					
	Lavadoras	Tanque Ecualizador	Tanque Neutralizador	Tanque de Retención	Tanque Clarifloculador	Tanque de Recuperación Externo
	Sólidos Totales Disueltos en ppm					
7.00 a.m.	350	366	478	470	554	464
8.00 a.m.	360	362	493	481	521	475
9.00 a.m.	328	368	498	477	505	487
10.00 a.m.	340	365	483	476	520	473
Promedio	345	365	488	476	525	475

Por otra parte, la variación del pH por tanque fue baja de 1.46, observándose que en las lavadoras y el tanque ecualizador al agua posee alto grado de acidez de 5,14 y 4,96 respectivamente, pero en el neutralizador debido a la acción de la sosa cáustica el pH se incrementa a casi 8, permaneciendo constante en cada uno de los tanques siguientes (Cuadro 7).

Cuadro 7
Medición de pH en la primera semana

Hora	ESTACIONES					
	Lavadoras	Tanque Ecualizador	Tanque Neutralizador	Tanque de Retención	Tanque Clarifloculador	Tanque de Recuperación Externo
	pH					
7.00 a.m.	5,16	4,93	7,83	7,71	7,80	7,77
8.00 a.m.	5,12	5,04	7,87	7,94	7,84	7,77
9.00 a.m.	5,37	4,93	8,33	8,01	7,82	7,85
10.00 a.m.	4,97	4,92	7,90	8,00	7,81	7,78
Promedio	5,15	4,96	7,99	7,91	7,82	7,79

Otro aspecto investigado durante la primera semana fue la temperatura, observándose una baja desviación de 0,68°C entre los tanques, es decir que este parámetro permaneció constante y no presenta mayor variación (Cuadro 8).

Cuadro 8
Medición de temperatura en la primera semana

Hora	ESTACIONES					
	Lavadoras	Tanque Ecualizador	Tanque Neutralizador	Tanque de Retención	Tanque Clarifloculador	Tanque de Recuperación Externo
	Temperatura en °C					
7.00 a.m.	26,50	26,00	26,50	25,83	25,63	24,67
8.00 a.m.	27,53	26,63	26,87	26,20	25,67	24,93
9.00 a.m.	26,57	26,63	27,00	26,27	25,80	25,67
10.00 a.m.	26,77	26,43	26,67	25,90	25,43	25,07
Promedio	26,84	26,43	26,76	26,05	25,63	25,08

Seguidamente durante la segunda semana, se observó que la variación estándar de los caudales por hora fue baja de 2,41GPM, la lavadora presentó reboses muy elevados de 79,22 GPM y en consecuencia, el tanque ecualizador manejó un caudal mayor al cual está diseñado (entre 35-40 GPM).

La dosificación de polímero no fue la adecuada según las especificaciones de la tabla del Anexo B, por lo que hubo una sobredosificación de 0,159 GPM y es importante señalar que el caudal de agua recuperada proveniente del tanque de recuperación externo fue de 21,9 GPM, es menor que el de salida de la lavadora de 79,22 GPM, reflejándose grandes pérdidas en la recuperación (Cuadro 9).

Cuadro 9
Medición de caudales en la segunda semana

Hora	ESTACIONES					
	Lavadoras	Fosa de Sump	Tanque Ecualizador	Tanque de Polímeros	Tanque Clarifloculador	Tanque de Recuperación Externo
	Caudal en GPM					
7.00 a.m.	81,23	73,10	36,50	0,160	38,63	21,45
8.00 a.m.	75,71	68,13	37,00	0,157	37,15	22,35
9.00 a.m.	79,93	71,93	37,00	0,169	38,72	21,80
10.00 a.m.	80,04	72,03	37,00	0,153	43,98	22,00
Promedio	79,22	71,29	36,87	0,159	39,62	21,9

A su vez, la desviación estándar de sólidos totales disueltos entre los tanques fue alta de 71,44 ppm, pero cabe destacar que los mismos se incrementan gradualmente en cada uno de los tanques exceptuando el de retención y el tanque de recuperación externo donde disminuyen paulatinamente, el clarifloculador presentó la mayor cantidad de sólidos de 520 ppm con respecto a los otros tanques (Cuadro 10).

Cuadro 10
Medición de sólidos totales disueltos en la segunda semana

Hora	ESTACIONES					
	Lavadoras	Tanque Ecualizador	Tanque Neutralizador	Tanque de Retención	Tanque Clarifloculador	Tanque de Recuperación Externo
	Sólidos Totales Disueltos en PPM					
7.00 a.m.	333	355	470	464	520	514
8.00 a.m.	350	389	504	481	542	517
9.00 a.m.	348	371	472	458	499	465
10.00 a.m.	351	370	477	463	520	493
Promedio	345	371	481	466	520	497

Por otra parte, la variación del pH por tanque fue baja de 1.18, observándose que en las lavadoras y el tanque ecualizador al agua posee alto grado de acidez de 5,67 y 5,51 respectivamente, pero en el neutralizador debido a la acción de la sosa cáustica el pH se incrementa a casi 8, permaneciendo constante en cada uno de los tanques siguientes (Cuadro 11).

Cuadro 11
Medición de pH en la segunda semana

Hora	ESTACIONES					
	Lavadoras	Tanque Ecualizador	Tanque Neutralizador	Tanque de Retención	Tanque Clarifloculador	Tanque de Recuperación Externo
	pH					
7.00 a.m.	5,33	5,53	8,02	7,96	7,86	7,79
8.00 a.m.	6,14	5,54	7,88	7,96	7,89	7,83
9.00 a.m.	5,69	5,51	7,96	7,72	7,83	7,86
10.00 a.m.	5,50	5,47	7,95	7,84	7,91	7,84
Promedio	5,67	5,51	7,95	7,87	7,87	7,83

Otro parámetro de calidad de agua analizado fue la temperatura, observándose una baja desviación de 0.51°C entre los tanques, no hubo mayor variación de la misma por hora y éste permaneció constante en cada uno de ellos (Cuadro 12).

Cuadro 12
Medición de temperatura en la segunda semana

Hora	ESTACIONES					
	Lavadoras	Tanque Ecualizador	Tanque Neutralizador	Tanque de Retención	Tanque Clarifloculador	Tanque de Recuperación Externo
	Temperatura en °C					
7.00 a.m.	25,37	24,37	25,27	24,60	24,57	23,70
8.00 a.m.	26,90	25,67	25,97	25,30	25,23	25,20
9.00 a.m.	26,00	24,67	24,97	24,63	24,57	24,90
10.00 a.m.	25,60	25,23	25,37	24,70	24,57	24,70
Promedio	25,97	24,98	25,39	24,81	24,73	24,63

Consecutivamente en la tercera semana, se observó que la variación estándar de los caudales por hora fue baja de 1,2 GPM, la lavadora presentó reboses muy altos y por ende, el tanque ecualizador manejó un caudal mayor al cual está diseñado.

La dosificación de polímero no fue la adecuada según las especificaciones de la tabla del Anexo B, por lo que hubo una subdosificación en el sistema de 0,108 GPM y es importante señalar que el caudal de agua recuperada proveniente del tanque de recuperación externo fue de 41 GPM, es menor que el de salida de la lavadora de 63,17 GPM, reflejándose pérdidas en la recuperación (Cuadro 13).

Cuadro 13
Medición de caudales en la tercera semana

Hora	ESTACIONES					
	Lavadoras	Fosa de Sump	Tanque Ecualizador	Tanque de Polímeros	Tanque Clarifloculador	Tanque de Recuperación Externo
	Caudal en GPM					
7.00 a.m.	62,31	56,07	38,25	0,111	36,22	42,5
8.00 a.m.	64,89	58,40	38,25	0,107	36,25	39,8
9.00 a.m.	62,37	56,13	38,25	0,105	36,17	40,3
10.00 a.m.	63,11	56,79	38,25	0,112	34,75	41,4
Promedio	63,17	56,84	38,25	0,108	35,84	41

A su vez, la desviación estándar de sólidos totales disueltos entre los tanques fue alta de 69,6 ppm y los mismos se incrementan gradualmente en cada uno exceptuando el de retención y el tanque de recuperación externo donde van disminuyendo, el clarifloculador presentó la mayor cantidad de sólidos de 497 ppm (Cuadro 14).

Cuadro 14
Medición de sólidos totales disueltos en la tercera semana

Hora	ESTACIONES					
	Lavadoras	Tanque Ecualizador	Tanque Neutralizador	Tanque de Retención	Tanque Clarifloculador	Tanque de Recuperación Externo
	Sólidos Totales Disueltos en PPM					
7.00 a.m.	379	331	436	444	481	455
8.00 a.m.	323	359	472	455	496	479
9.00 a.m.	284	388	500	483	526	505
10.00 a.m.	327	348	456	440	484	457
Promedio	328	356	466	455	497	474

Por otro lado, la variación del pH fue baja de 1.30, observándose también que en las lavadoras y el tanque ecualizador al agua poseen alto grado de acidez, pero en el neutralizador debido a la acción de la soda cáustica el pH se incrementa a casi 8, permaneciendo constante en cada uno de los tanques siguientes (Cuadro 15).

Cuadro 15
Medición de pH en la tercera semana

Hora	ESTACIONES					
	Lavadoras	Tanque Ecualizador	Tanque Neutralizador	Tanque de Retención	Tanque Clarifloculador	Tanque de Recuperación Externo
	pH					
7.00 a.m.	4,78	5,62	7,80	8,08	7,93	7,85
8.00 a.m.	5,44	5,52	7,91	8,02	7,94	7,94
9.00 a.m.	5,76	5,11	7,72	7,75	7,88	7,96
10.00 a.m.	5,48	5,28	7,69	7,85	7,93	7,92
Promedio	5,36	5,38	7,78	7,93	7,92	7,92

El último parámetro de calidad de agua analizado durante la tercera semana fue la temperatura, observándose que variación de la misma es de 0,18 °C y además permaneció constante a través de cada uno de los tanques (Cuadro 16).

Cuadro 16
Medición de temperatura en la tercera semana

Hora	ESTACIONES					
	Lavadoras	Tanque Ecualizador	Tanque Neutralizador	Tanque de Retención	Tanque Clarifloculador	Tanque de Recuperación Externo
	Temperatura en °C					
7.00 a.m.	25,25	25,18	25,08	24,75	24,63	24,73
8.00 a.m.	25,25	25,15	25,13	25,03	24,78	24,95
9.00 a.m.	25,20	25,07	25,23	24,87	24,73	25,07
10.00 a.m.	25,05	25,00	25,13	24,90	24,70	24,80
Promedio	25,19	25,10	25,14	24,89	24,71	24,89

Finalmente durante la cuarta semana, se observó que la variación estándar de los caudales por hora fue baja de 7,26 GPM, la lavadora presentó reboses altos de 67,47 GPM y por ende, el tanque ecualizador manejó un caudal alto para el cual está diseñado (entre 35-40 GPM), situación que se presentó de igual manera para las semanas anteriores (Cuadro 17).

La dosificación de polímero fue de 0,133 GPM y es la adecuada según las especificaciones de tabla del Anexo B, por lo que no hubo sobredosificación o subdosificación como se presentó en las semanas anteriores.

Cuadro 17
Medición de caudales en la cuarta semana

Hora	ESTACIONES					
	Lavadoras	Fosa de Sump	Tanque Ecualizador	Tanque de Polímeros	Tanque Clarifloculador	Tanque de Recuperación Externo
	Caudal en GPM					
7.00 a.m.	58,23	52,40	37,33	0,132	37,32	40,55
8.00 a.m.	75,58	68,02	37,33	0,123	35,69	38,60
9.00 a.m.	66,23	59,60	39,50	0,160	37,69	39,52
10.00 a.m.	69,87	62,88	39,50	0,119	37,22	39,73
Promedio	67,47	60,72	38,41	0,133	36,98	39,6

Así mismo, la desviación estándar de sólidos totales disueltos entre los tanques fue alta de 41,99 ppm y cabe destacar que se incrementan progresivamente en cada uno de los tanques y en el tanque de recuperación externo se presentó la mayor cantidad de sólidos de 350 ppm (Cuadro 18).

Cuadro 18
Medición de sólidos totales disueltos en la cuarta semana

Hora	ESTACIONES					
	Lavadoras	Tanque Ecualizador	Tanque Neutralizador	Tanque de Retención	Tanque Clarifloculador	Tanque de Recuperación Externo
	Sólidos Totales Disueltos en PPM					
7.00 a.m.	261	245	325	342	336	398
8.00 a.m.	254	250	298	302	322	352
9.00 a.m.	238	247	309	320	335	321
10.00 a.m.	247	269	319	325	335	329
Promedio	250	253	313	322	332	350

Por otra parte, la variación del pH por tanque fue baja de 1.18, observándose que en las lavadoras y el tanque ecualizador al agua poseen alto grado de acidez de 5,67 y 5,66 respectivamente, pero en el neutralizador debido a la acción de la sosa cáustica el pH se incrementa a casi 8, permaneciendo constante en cada uno de los tanques siguientes (Cuadro 19).

Cuadro 19
Medición de pH en la cuarta semana

Hora	ESTACIONES					
	Lavadoras	Tanque Ecualizador	Tanque Neutralizador	Tanque de Retención	Tanque Clarifloculador	Tanque de Recuperación Externo
	pH					
7.00 a.m.	5,69	5,78	8,13	8,27	8,01	7,95
8.00 a.m.	5,56	5,56	7,79	7,84	7,98	7,93
9.00 a.m.	5,77	5,45	7,88	7,75	7,88	7,96
10.00 a.m.	5,68	5,83	7,79	7,95	8,08	8,01
Promedio	5,67	5,66	7,90	7,95	7,99	7,96

Por último, la desviación estándar de la temperatura fue de 0,24 °C por lo que no hubo mayor variación de la misma por hora y además permaneció constante en cada uno de los tanques (Cuadro 20).

Cuadro 20
Medición de temperatura en la cuarta semana

Hora	ESTACIONES					
	Lavadoras	Tanque Ecualizador	Tanque Neutralizador	Tanque de Retención	Tanque Clarifloculador	Tanque de Recuperación Externo
	Temperatura en °C					
7.00 a.m.	25,40	25,08	24,95	24,88	24,90	24,50
8.00 a.m.	25,50	25,05	25,71	25,50	24,90	25,08
9.00 a.m.	25,20	25,17	25,40	24,87	24,83	25,07
10.00 a.m.	25,30	25,13	25,53	24,99	24,70	24,83
Promedio	25,35	25,10	25,40	25,06	24,83	24,87

Analizando los datos presentados en las tablas anteriores, se puede señalar que durante las cuatro semanas los reboses en las lavadoras fueron elevados en un rango de 50-80 GPM, a su vez hubo una sobredosificación y subdosificación de polímero en la segunda y tercera de 0,159 y 0,108 GPM respectivamente.

También, los sólidos se incrementaron de manera paulatina en cada uno de los tanques exceptuando el de retención y el tanque de recuperación externo donde se observó que los sólidos disminuyen. Por último, el pH se mantuvo en su etapa más ácida en las lavadoras y en el tanque ecualizador y la temperatura fue constante en cada uno de los tanques.

Otro parámetro de calidad de agua que requirió de análisis fue la Demanda Química de Oxígeno (DQO), el cual es un parámetro de funcionamiento del tanque clarifloculador y es uno de los indicadores de la eficiencia del mismo.

En el Cuadro 21, se presentan los datos obtenidos mediante el análisis de laboratorio de las muestras de agua recolectadas a la entrada del tanque clarifloculador y salida de éste último y de la lavadora.

Es de suma importancia señalar que tanto en el primer y el segundo muestreo del análisis de la Demanda Química de Oxígeno, los datos aumentan al pasar por cada

uno de los tanques señalados y alcanza su valor máximo en el tanque clarifloculador de 410 ppm, lo que se infiere que este hecho se debe al incremento de los sólidos totales disueltos que también alcanza su mayor punto en el mismo tanque. Los valores arrojan que la eficiencia de remoción del tanque clarifloculador de la Demanda Química de Oxígeno es del cero por ciento.

Cuadro 21
Medición de Demanda Química de Oxígeno

<i>Muestreo</i>	<i>Salida de la Lavadora</i>	<i>Entrada del Tanque Clarifloculador</i>	<i>Salida del Tanque Clarifloculador</i>	<i>Rango de Eficiencia de Remoción de DQO</i>	<i>Valor Actual</i>
DQO en ppm					
1	340	380	410	30% - 60%	0%
2	290	320	410	30% - 60%	0%

Una vez analizados los parámetros de calidad de las aguas, se presenta en los Cuadros 22, 23, 24 y 25 la relación entre la variabilidad de la calidad del agua y los parámetros de funcionamiento de los equipos establecidos en el Manual de Funcionamiento de Planta de Tratamiento de Efluentes Domínguez Continental S.A.

Al examinar los cuadros, es importante destacar que para las cuatro semanas los caudales de las lavadoras se exceden del rango, es decir son muy altos y en consecuencia, el flujo de agua residual que va hacia el tanque ecualizador es mayor al caudal de diseño, éste se llena rápidamente presentando altos reboses y consecuentemente los frecuentes derrames.

Por otro lado, la dosificación de polímero durante las semanas 2 y 3 no fue la adecuada, presentándose una sobredosificación y subdosificación respectivamente como se señaló también en el muestreo del tablero de damas presentando.

A su vez, la eficiencia de remoción de sólidos disueltos totales del tanque clarifloculador es del 0 por ciento, ya que los sólidos no disminuyen sino que se van incrementando gradualmente, pero es importante señalar que los niveles de los mismos están dentro del rango permisible establecido por el Ministerio del Ambiente.

Por último, se observa que los parámetros estudiados para el tanque ecualizador, neutralizador y tanque de recuperación externo están dentro de los límites y rangos permisibles.

Cuadro 22

Relación entre la variabilidad de la calidad del agua y los parámetros de funcionamiento de los equipos para la primera semana

<i>Equipo</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Rango</i>	<i>Valor Actual</i>	<i>Observación</i>
Lavadoras	pH	Mínimo 2	5,15	Cumple
	Caudal (GPM)	Máximo 10	54,03	No cumple
Tanque Ecualizador	pH	Mínimo 2	4,96	Cumple
	Caudal (GPM)	35-40	39,15	Cumple
Tanque Neutralizador	pH	7-8,5	7,99	Cumple
Tanque de Polímero	Caudal (GPM)	0,117-0,156	0,126	Cumple
Tanque Clarifloculador	Eficiencia de Remoción de Sólidos Totales Disueltos	80% a 90%	0%	No Cumple
Tanque de Recuperación Externo	Sólidos Totales Disueltos	1600 ppm	475	Cumple
	pH	Mínimo 6,0 y máximo 8,5	7,79	Cumple

Cuadro 23**Relación entre la variabilidad de la calidad del agua y los parámetros de funcionamiento de los equipos para la segunda semana**

<i>Equipo</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Rango</i>	<i>Valor Actual</i>	<i>Observación</i>
Lavadoras	pH	Mínimo 2	5,67	Cumple
	Caudal (GPM)	Máximo 10	79,22	No cumple
Tanque Ecualizador	pH	Mínimo 2	5,51	Cumple
	Caudal (GPM)	35-40	36,87	Cumple
Tanque Neutralizador	pH	7-8,5	7,95	Cumple
Tanque de Polímero	Caudal (GPM)	0,117-0,156	0,159	No Cumple
Tanque Clarifloculador	Eficiencia de Remoción de Sólidos Totales Disueltos	80% a 90%	0%	No Cumple
Tanque de Recuperación Externo	Sólidos Totales Disueltos	1600 ppm	497	Cumple
	pH	Mínimo 6,0 y máximo 8,5	7,83	Cumple

Cuadro 24**Relación entre la variabilidad de la calidad del agua y el parámetro de funcionamiento de los equipos para la tercera semana**

<i>Equipo</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Rango</i>	<i>Valor Actual</i>	<i>Observación</i>
Lavadoras	pH	Mínimo 2	5,36	Cumple
	Caudal (GPM)	Máximo 10	63,17	No cumple
Tanque Ecualizador	pH	Mínimo 2	5,38	Cumple
	Caudal (GPM)	35-40	38,25	Cumple
Tanque Neutralizador	pH	7-8,5	7,78	Cumple
Tanque de Polímero	Caudal (GPM)	0,117-0,156	0,108	No Cumple
Tanque Clarifloculador	Eficiencia de Remoción de Sólidos Totales Disueltos	80% a 90%	0%	No Cumple
Tanque de Recuperación Externo	Sólidos Totales Disueltos	1600 ppm	474	Cumple
	pH	Mínimo 6,0 y máximo 8,5	7,92	Cumple

Cuadro 25

Relación entre la variabilidad de la calidad del agua y el parámetro de funcionamiento de los equipos para la cuarta semana

<i>Equipo</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Rango</i>	<i>Valor Actual</i>	<i>Observación</i>
Lavadora	pH	Mínimo 2	5,67	Cumple
	Caudal (GPM)	Máximo 10	67,47	No cumple
Tanque Ecuilizador	pH	Mínimo 2	5,66	Cumple
	Caudal (GPM)	35-40	38,41	Cumple
Tanque Neutralizador	pH	7-8,5	7,90	Cumple
Tanque de Polímero	Caudal (GPM)	0,117-0,156	0,133	Cumple
Tanque Clarifloculador	Eficiencia de Remoción de Sólidos Totales Disueltos	80% a 90%	0%	No Cumple
Tanque de Recuperación Externo	Sólidos Totales Disueltos	1600 ppm	350	Cumple
	pH	Mínimo 6,0 y máximo 8,5	7,96	Cumple

Tormentas de Ideas

Esta técnica se llevó a cabo mediante una reunión con el personal que labora en el departamento de aseguramiento de la calidad, para recopilar información de tipo verbal. Además gracias a ésta, se elaboró el diagrama causa - efecto, para visualizar esquemáticamente las causas de los problemas operativos que se han venido presentando en la planta de efluentes.

Diagrama Causa-Efecto

En base a lo obtenido en la tormenta de ideas, se procedió a realizar un diagrama causa - efecto el cual permite recabar las posibles causas de los problemas operativos presentes en la planta de efluentes, estos son datos útiles para una variedad del proceso de toma de decisiones.

Este instrumento expresa de manera precisa y concisa las conclusiones alcanzadas en la tormenta de ideas de manera gráfica, permitiendo así el alcance, las suposiciones, la descripción de la calidad de los datos, la metodología y los resultados acerca de la problemática operativa de la planta de efluentes sean transparentes.

En el Cuadro 26, se detalla la tabla de datos de causas para la elaboración del diagrama causa-efecto (Gráfico 5).

Técnica del Grupo Nominal

Esta técnica facilitó la generación de ideas y el análisis de los problemas, a su vez se cristalizaron las opiniones del grupo equilibrando la participación lo cual permitió llegar rápidamente a un consenso e hizo posible que el análisis se llevara a cabo de un modo altamente estructurado, permitiendo que al final de la reunión se alcancen un buen número de las conclusiones sobre los problemas planteados.

En el Cuadro 27, se presentan las causas con las respectivas letras asignadas las cuales facilitaron el uso de la técnica durante la valoración realizada por cada miembro del grupo estableciendo una puntuación a cada elemento de la lista.

Cuadro 26

Tabla de datos de causas de los derrames en el tanque ecualizador

<i>Causas principales</i>	<i>Causas Secundarias</i>
<i>Instrumentos de Control</i>	Insuficientes Mal localizados No adecuados
<i>Mano de Obra</i>	Mano de obra no calificada Falta motivación
<i>Mantenimiento</i>	Falta de purgas en el sistema Equipos deteriorados
<i>Maquinaria</i>	Algunos equipos son obsoletos
<i>Controles</i>	Altos reboses de las lavadoras Falta de balance de efluentes en el sistema

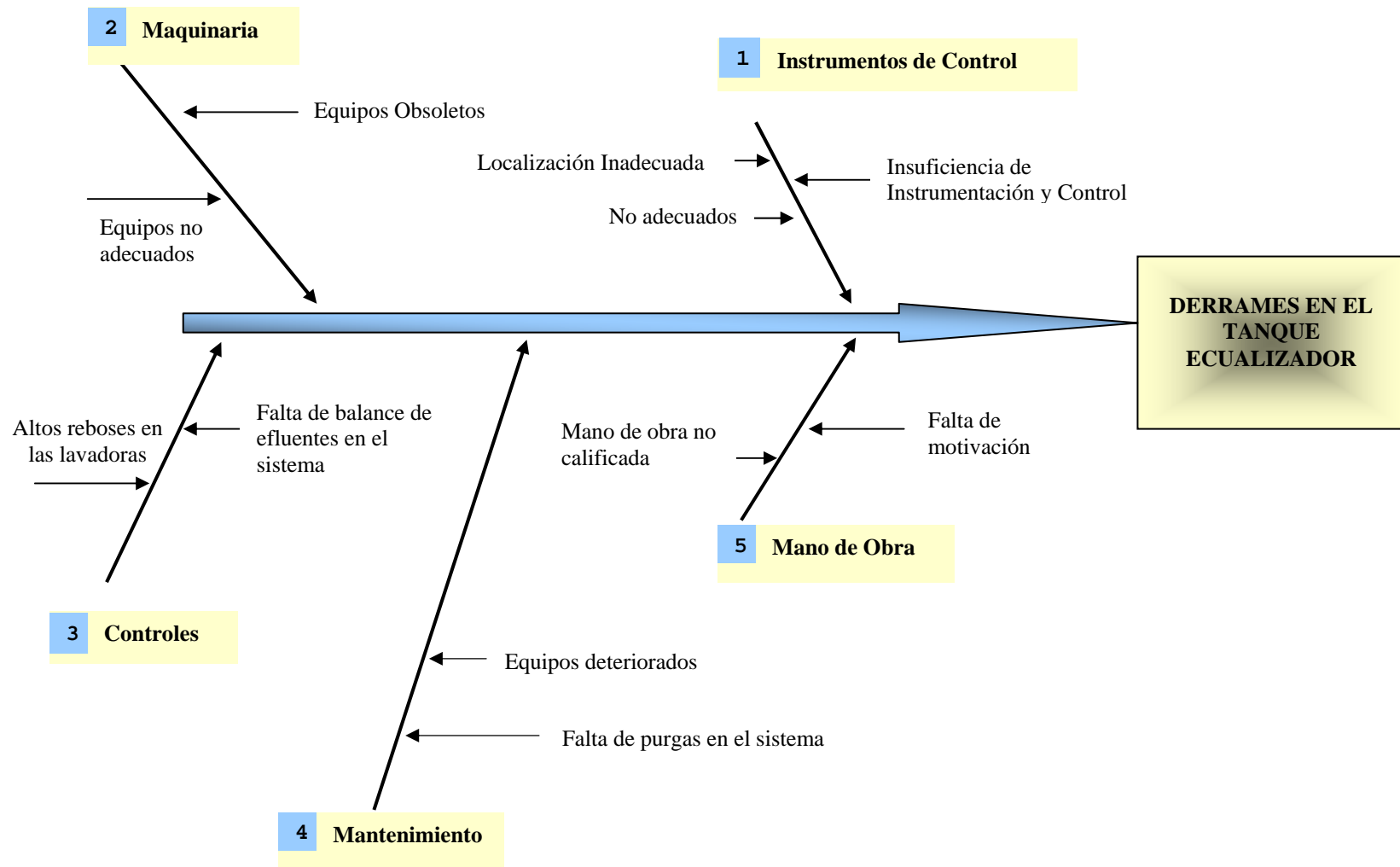


Gráfico 5. Diagrama Causa-Efecto

Cuadro 27**Tabla de codificación de causas de los derrames en el tanque ecualizador**

<i>Causas</i>	<i>Letras</i>
Insuficientes	A
Mal localizados	B
No adecuados	C
Mano de obra no calificada	D
Falta motivación	E
Falta de purgas en el sistema	F
Equipos deteriorados	G
Algunos equipos son obsoletos	H
Altos reboses de las lavadoras	I
Falta de balance de efluentes en el sistema	J

Luego de la valoración realizada por cada miembro del grupo, se reescriben los elementos en orden de prioridad de acuerdo las ponderaciones más altas obtenidas y se procede a calcular el porcentaje individual y acumulado (Cuadro 28).

Cuadro 28**Ponderación de las causas de los derrames del tanque ecualizador**

<i>Causa</i>	<i>Total</i>	<i>% Individual</i>	<i>% Acumulado</i>
I	54	16,8	16,82
J	48	14,9	31,77
H	42	13,0	44,85
A	41	12,7	57,63
G	36	11,2	68,84
F	32	9,96	78,81
E	21	6,54	85,35
C	18	5,60	90,96
D	15	4,67	95,63
B	14	4,36	100
Total	321	100	

Diagrama de Pareto

Este instrumento de análisis permitió determinar la causa principal del problema permitiendo establecer prioridades, de las dificultades planteadas se tienen muchas raíces pero el diagrama de Pareto ayudó a separar gráficamente los aspectos significativos de manera tal de que se sepa dónde dirigir los esfuerzos para mejorar.

Analizando el Gráfico 6, se detectó que el 80 por ciento de las causas del problema son: la falta de balance de efluentes, los altos reboses de las lavadoras, equipos obsoletos y deteriorados, la insuficiencia de instrumentos de control y la falta de purgas en el sistema, por lo que es importante utilizar los recursos necesarios para llevar acabo acciones correctivas sobre estas causas sin malgastar esfuerzos.

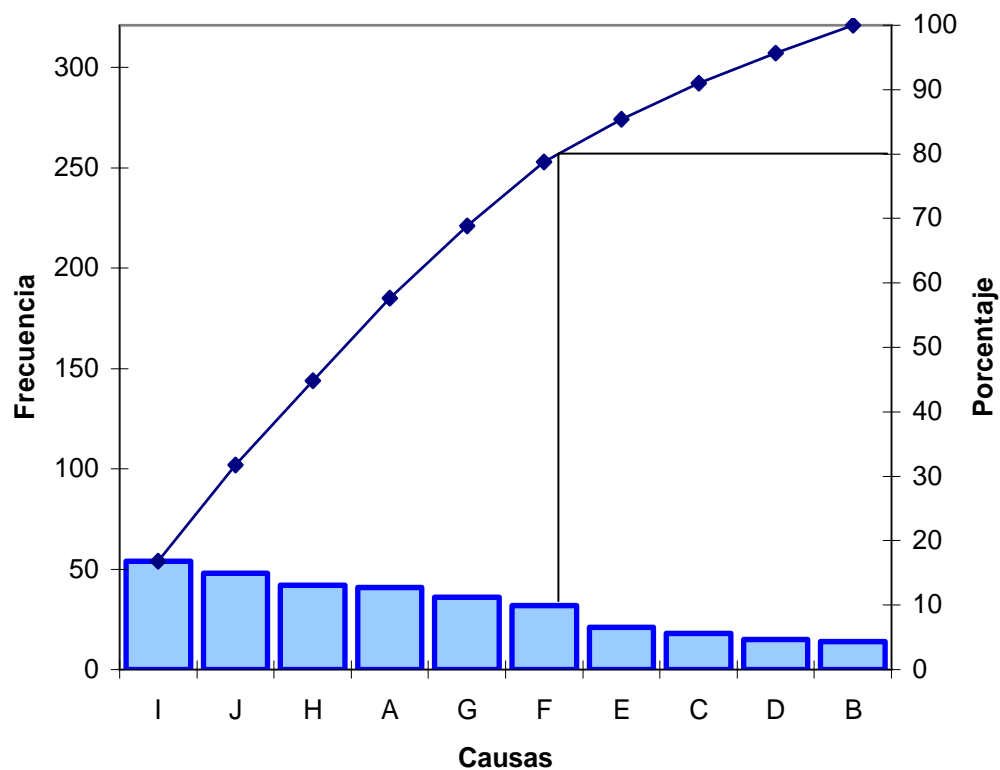


Gráfico 6. Diagrama de Pareto

Caja Negra

En la descripción del sistema de representación caja negra, se utilizó la técnica de observación directa la cual facilita el levantamiento de la información y determina las entradas y salidas del sistema.

Se realizó una representación gráfica de la caja negra la cual indica la entrada principal (agua residual proveniente del proceso productivo, sosa cáustica, polímero anódico Lipesa 727), las salidas circunstanciales (rebores, agua vertida en las redes cloacales, lodo) y la salida principal (agua recuperada).

En el Gráfico 7, se visualiza detalladamente estas entradas y salidas del proceso de tratamiento de aguas en la planta de efluentes.

De igual manera, se realizaron cajas negras para cada uno de los equipos detallando las entradas, salidas, los caudales máximos y mínimos calculados durante las cuatro semanas de muestreo (Gráficos 8,9,10,11,12 y 13).

PROCESO DE RECUPERACIÓN DE AGUA

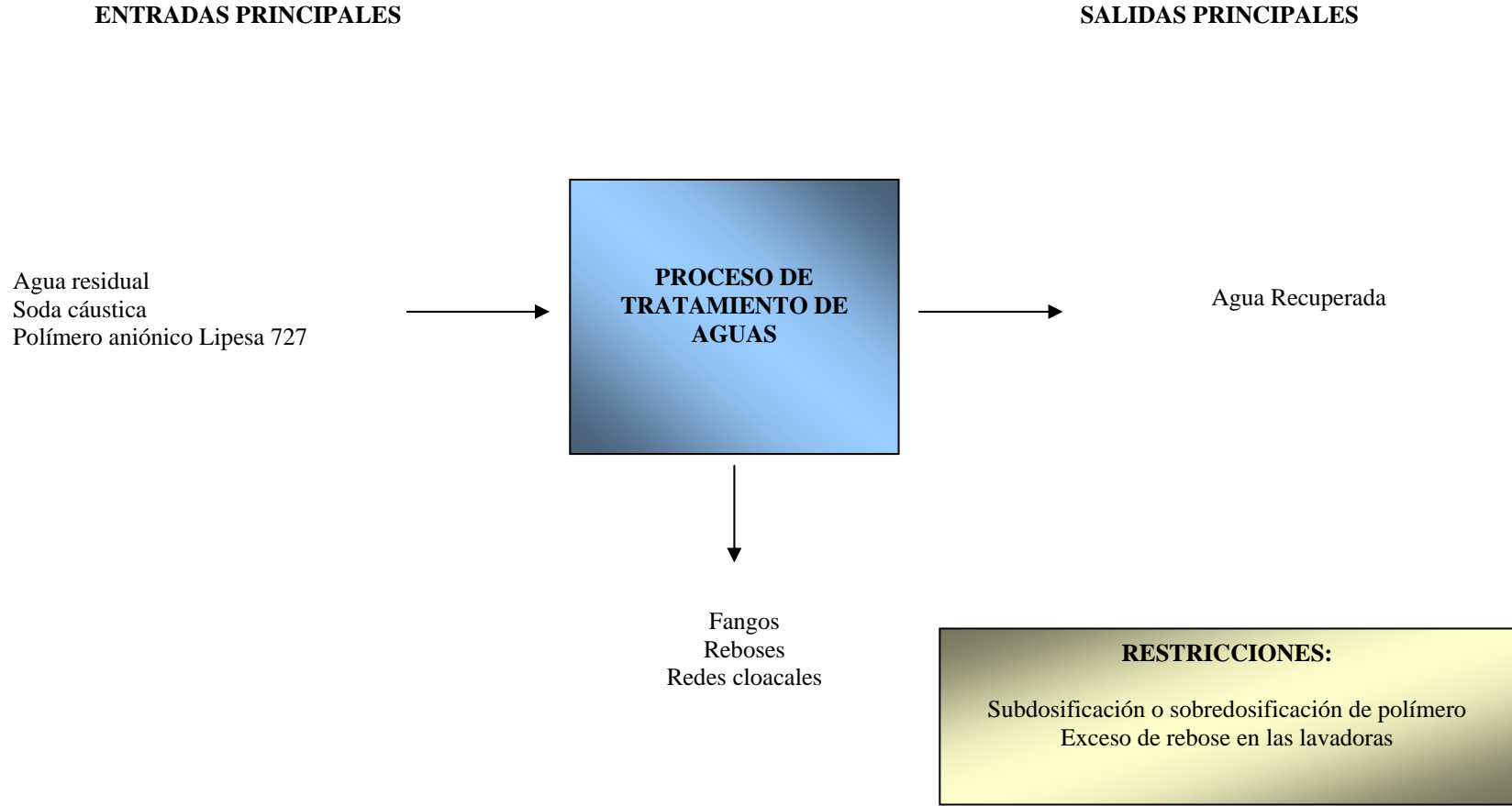
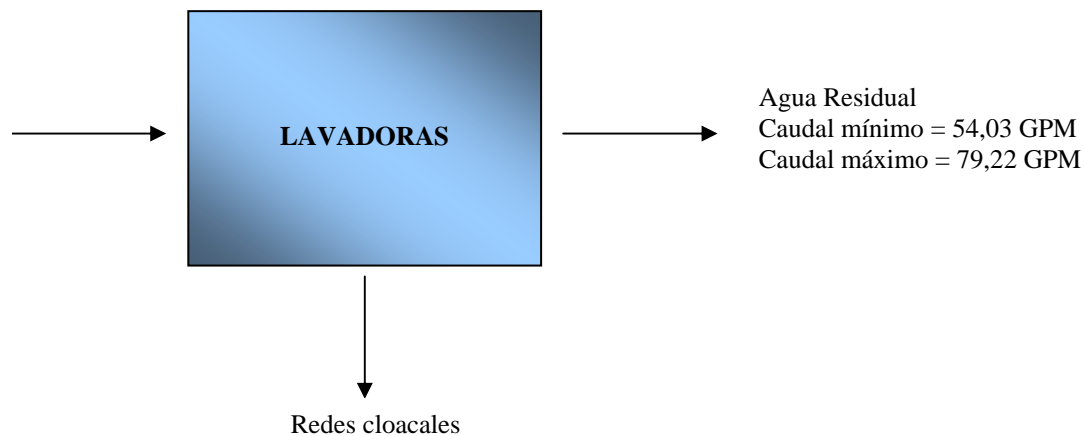


Gráfico 7. Diagrama Caja Negra de la Planta de Efluentes

ENTRADAS PRINCIPALES

SALIDAS PRINCIPALES

Agua de HidroLara
Agua Recuperada
Caudal mínimo = 59,43 GPM
Caudal máximo = 87,14 GPM



Agua Residual
Caudal mínimo = 54,03 GPM
Caudal máximo = 79,22 GPM

RESTRICCIONES:

Exceso de reboses en las lavadoras

Gráfico 8. Diagrama Caja Negra de las Lavadoras.

ENTRADAS PRINCIPALES

SALIDAS PRINCIPALES

Agua Residual
Caudal mínimo = 54,03 GPM
Caudal máximo = 79,22 GPM

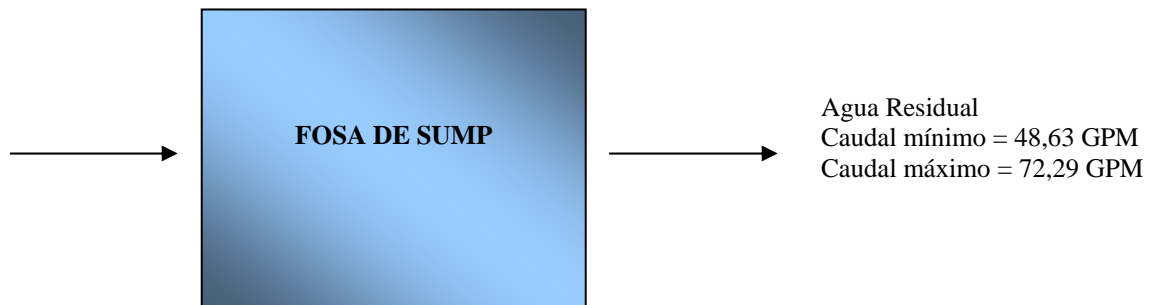


Gráfico 9. Diagrama Caja Negra de la Fosa de Sump

ENTRADAS PRINCIPALES

SALIDAS PRINCIPALES

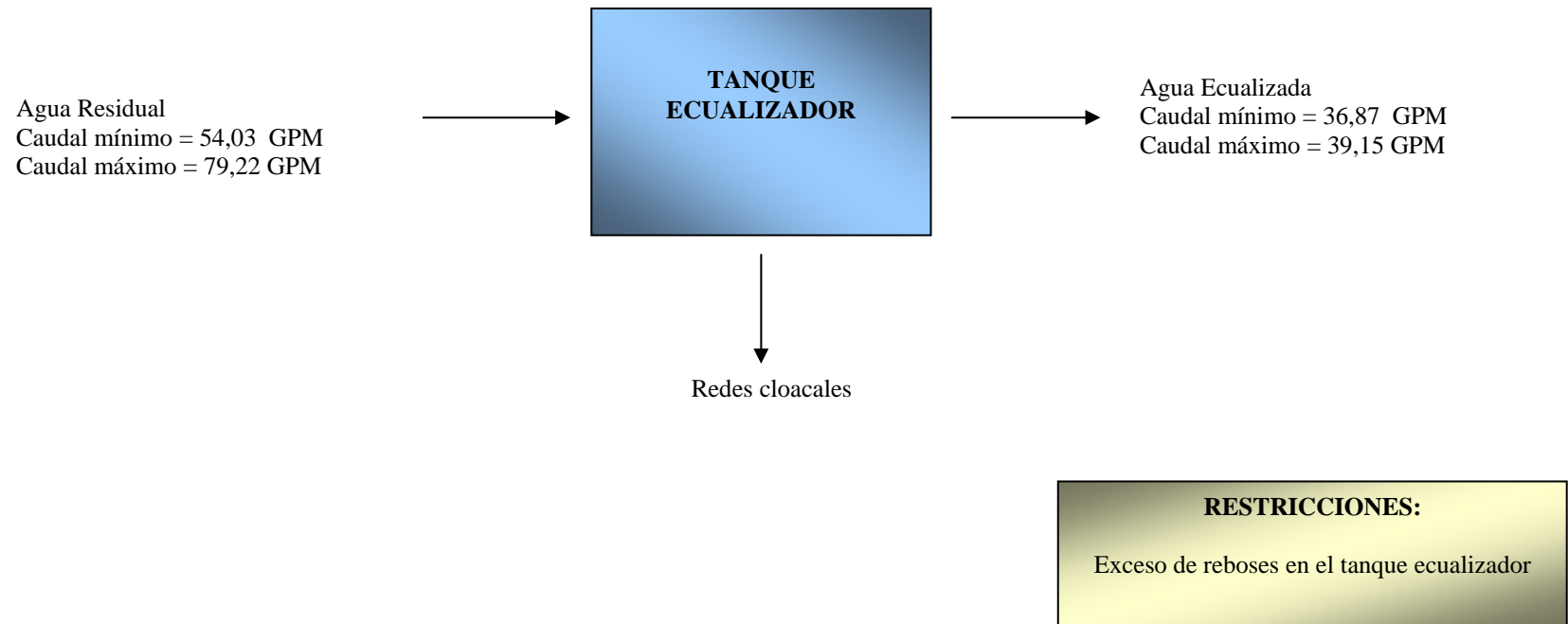


Gráfico 10. Diagrama Caja Negra del Tanque Ecualizador

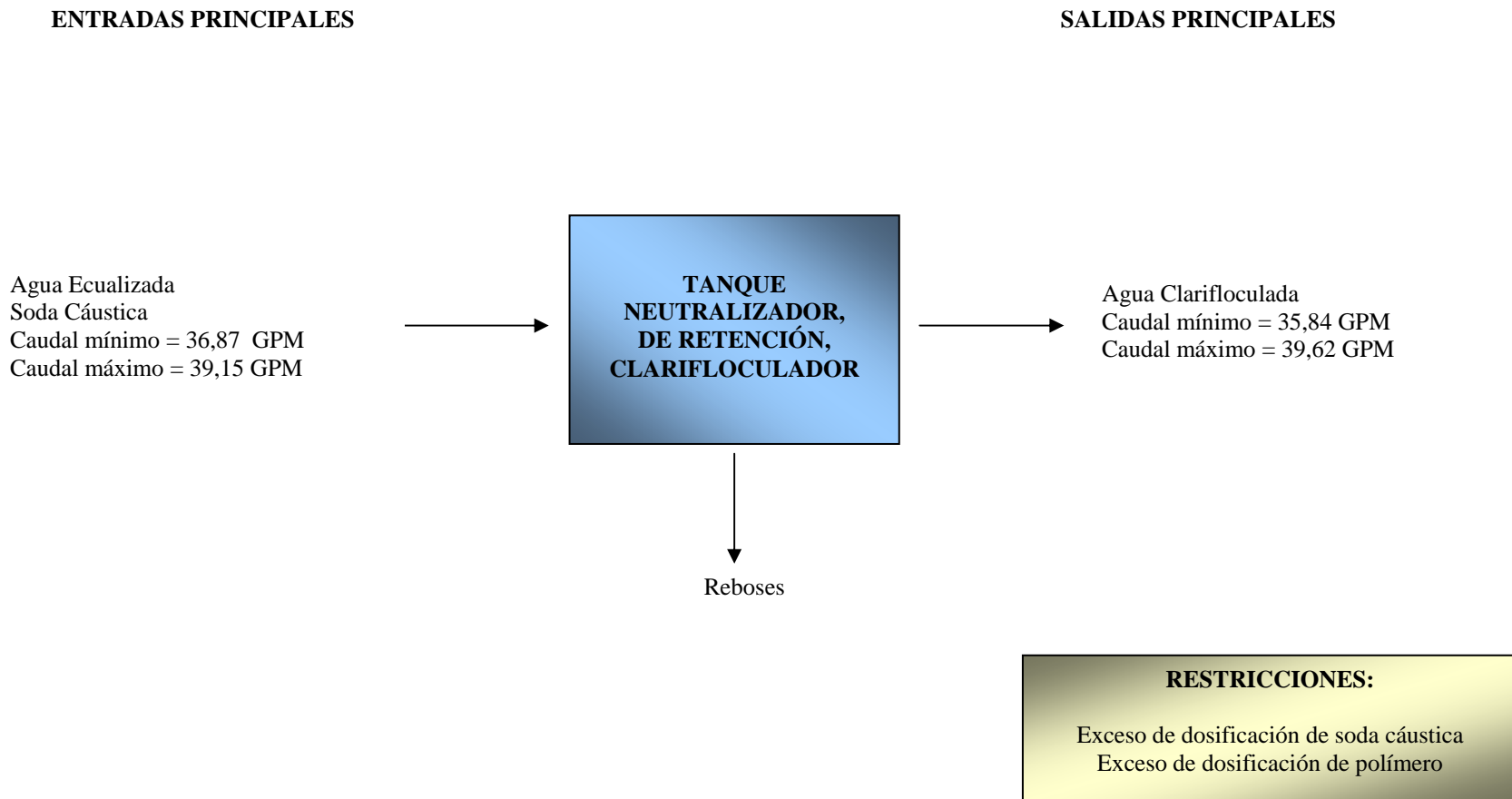


Gráfico 11. Diagrama Caja Negra del Tanque Neutralizador, de Retención y Clarifloculador

ENTRADAS PRINCIPALES

SALIDAS PRINCIPALES

90,35 galones de agua
346 gramos de Lipesa 727

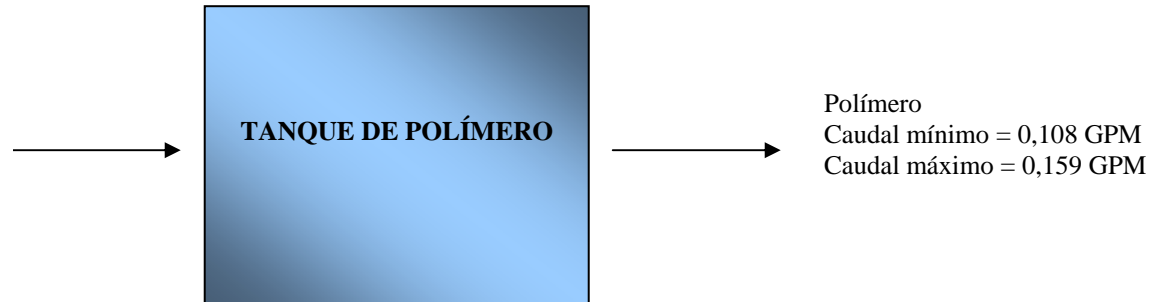
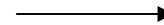
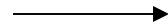


Gráfico 12. Diagrama Caja Negra del Tanque de Polímero

ENTRADAS PRINCIPALES

SALIDAS PRINCIPALES

Agua Clarifloculada
Caudal mínimo = 35,84 GPM
Caudal máximo = 39,62 GPM



Agua Recuperada
Caudal mínimo = 21,9 GPM
Caudal máximo = 41,0 GPM



Reboses

RESTRICCIONES:

Restos de polímero en el tanque de
recuperación externo

Gráfico 13. Diagrama Caja Negra del Tanque de Recuperación Externo

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Luego de realizar la investigación correspondiente en la Planta de Efluentes de la empresa Domínguez Continental S.A. y después de haber cumplido el análisis de los resultados expuestos en el capítulo anterior, se observa que la organización presenta debilidades en cuanto a la eficiencia de remoción y control de sólidos, así como de balance de efluentes.

El análisis obtenido al determinar experimentalmente la variabilidad de la calidad del agua proveniente del proceso productivo y la relación con los parámetros de funcionamiento de plantas de tratamiento de efluentes permite concluir lo siguiente:

1. Los reboses de las lavadoras son muy elevados entre 50-80 GPM por lo que el caudal de entrada del tanque ecualizador es mayor que el de salida y el de diseño (35-40 GPM).
2. El caudal de entrada en el tanque ecualizador es mayor al caudal de salida, por lo que se llena más rápido y ocurren los frecuentes derrames.
3. La dosificación de polímero no es adecuada debido a las fallas presentes en la bomba dosificadora lo que ocasiona sobredosificación y subdosificación en el sistema.
4. El agua recuperada presenta restos de polímero cuando se sobredosifica el sistema.
5. Los sólidos se incrementan a través de cada uno de los tanques y alcanza el valor máximo de 525 ppm en el tanque clarifloculador en la primera semana.

6. La Demanda Química de Oxígeno se incrementa en cada uno de los tanques y alcanza el valor máximo de 410 ppm en el tanque clarifloculador.

Recomendaciones

Luego de investigar y analizar la situación actual en la planta de efluentes y después de determinar la carencia de un modelo de cálculo que estime la variabilidad de la calidad del agua y con las conclusiones elaboradas acerca de las ineficiencias operativas encontradas que inciden negativamente, se sugieren una serie de recomendaciones a la empresa las cuales permitirán optimizar el funcionamiento de la planta de efluentes.

Con respecto al análisis obtenido al determinar experimentalmente la variabilidad de la calidad del agua proveniente del proceso productivo y la relación con los parámetros de funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales permite recomendar lo siguiente:

1. Hacer un balance de flujos en las lavadoras a fin de minimizar el consumo de agua.
2. Adquirir una nueva bomba dosificadora de polímero que se ajuste a las necesidades de sistema.
3. Diseñar un lazo de control que permita controlar la dosificación en el tanque de polímeros.
4. Situar medidores adecuados a la salida del tanque ecualizador, clarifloculador y a la entrada de las lavadoras.
5. Realizar una evaluación de metales en cada uno de los tanques para estudiar el incremento de los Sólidos Totales Disueltos y la Demanda Química de Oxígeno.
6. Aplicar el modelo de cálculo propuesto en el presente proyecto.

Respecto al modelo de cálculo a implantar en la empresa se recomienda:

1. Incentivar al personal en cuanto a los beneficios de implantar el modelo de cálculo que estime la variabilidad de la calidad del agua propuesto en esta investigación.

2. Adiestrar al personal en cuanto al manejo del modelo de cálculo.

3. Mantener la comunicación entre los departamentos de la empresa acerca de la aplicación y seguimiento del modelo de cálculo a implantar, como también de los beneficios que se logren en la optimización del funcionamiento de la planta de efluentes.

4. Mantener la experiencia científica y técnica sobre la temática calidad del agua y el impacto en la industria.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

Introducción

Una vez determinadas y analizadas las debilidades e ineficiencias operativas en la planta de efluentes, se lleva a cabo el diseño de un modelo de cálculo para la estimación de la variabilidad de la calidad del agua proveniente del proceso productivo y así optimizar el funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Con la implementación de este modelo, la empresa logrará un control de los sólidos totales disueltos y estimará los mismos, para así incrementar la eficiencia de la planta de efluentes.

Objetivo

Diseñar un modelo de cálculo para la estimación de la variabilidad de la calidad del agua proveniente del proceso productivo en la optimización del funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Justificación

Algunos problemas de la contaminación se atribuye directamente a las deficiencias de operación, mantenimiento y a la falta de los debidos incentivos para alentar la conservación y recuperación del recurso. Las mejoras en la eficiencia operativa y en la recuperación de recursos producen altos rendimientos y beneficios

desde el punto de vista económico para las empresas.

La calidad del agua se ve alterada en la industria luego de un proceso productivo y los impactos sobre ella deben ser evaluados, la forma más adecuada son los modelos de calidad de aguas.

Los modelos de calidad de aguas, permiten simular condiciones actuales y futuras, de tal manera, que es posible representar escenarios que anticipen las variaciones que sufrirán los diversos índices o parámetros del efluente en estudio.

Los modelos de calidad de aguas tienen por finalidad determinar las nuevas concentraciones de contaminantes del efluente en cada punto y a lo largo del lapso de interés, cuando las condiciones de modificación y el estado primitivo son conocidas.

Estructura

Para evaluar planes alternativos de ingeniería para el control y manejo de la calidad del agua en la industria, pueden emplearse modelos matemáticos que relacionen parámetros de la calidad de agua con alguna variable de la producción que produzca alteración de la misma.

Los diversos grados de tratamiento, la reubicación de los puntos de descarga de aguas residuales o el aumento de los flujos mínimos, constituyen algunas de las alternativas de control, cuya influencia sobre la calidad del agua puede evaluarse mediante la aplicación de los modelos matemáticos de calidad del agua.

Los modelos de cálculo también pueden ayudar a evaluar el mejoramiento de la calidad del agua mediante la eliminación de diferentes componentes de los contaminantes, Baecheler (2005).

De acuerdo a lo anterior, se establece que un modelo de cálculo es la herramienta adecuada para la predicción del comportamiento de la calidad del agua en una planta de efluentes de cualquier industria.

Para que un modelo de calidad de aguas pueda ser aplicado confiablemente y para la estimación de las condiciones de los diversos parámetros, tiene que cumplir

obviamente con la condición básica de reproducir aceptablemente las condiciones actuales.

El objetivo primario del desarrollo de este modelo de cálculo, es producir una herramienta que tenga la capacidad de simular el comportamiento de los parámetros de calidad del agua, alterados durante los procesos productivos de las industrias.

El desarrollo de esta herramienta para simular el comportamiento del prototipo, se hace aplicando un modelo matemático, producto de tres fases generales:

1. Representación conceptual.
2. Representación funcional.
3. Representación computacional.

El desarrollo de un modelo de calidad de aguas, así como de cualquier otro, debe seguir las etapas que se muestran en el Gráfico 14.

Representación Conceptual

Comprendió una idealización gráfica del modelo de calidad de aguas, donde se consideró la descripción de las propiedades que van a ser modeladas y las interrelaciones entre las partes.

Durante esta fase, se cumplieron dos etapas: la especificación del problema y la construcción teórica la cual comprende los antecedentes y la revisión bibliográfica relacionada al modelo de cálculo.

Representación Funcional

Vinculó las características físicas y procesos en sets de ecuaciones matemáticas. Esto implica la definición precisa de cada variable y sus relaciones con todas las otros parámetros que caracterizan el modelo o sus relaciones entrada-salida.

En esta fase se define el parámetro de calidad de agua que caracteriza al modelo y las variables que serán manejadas a fin de simular y estimar el comportamiento del mismo.

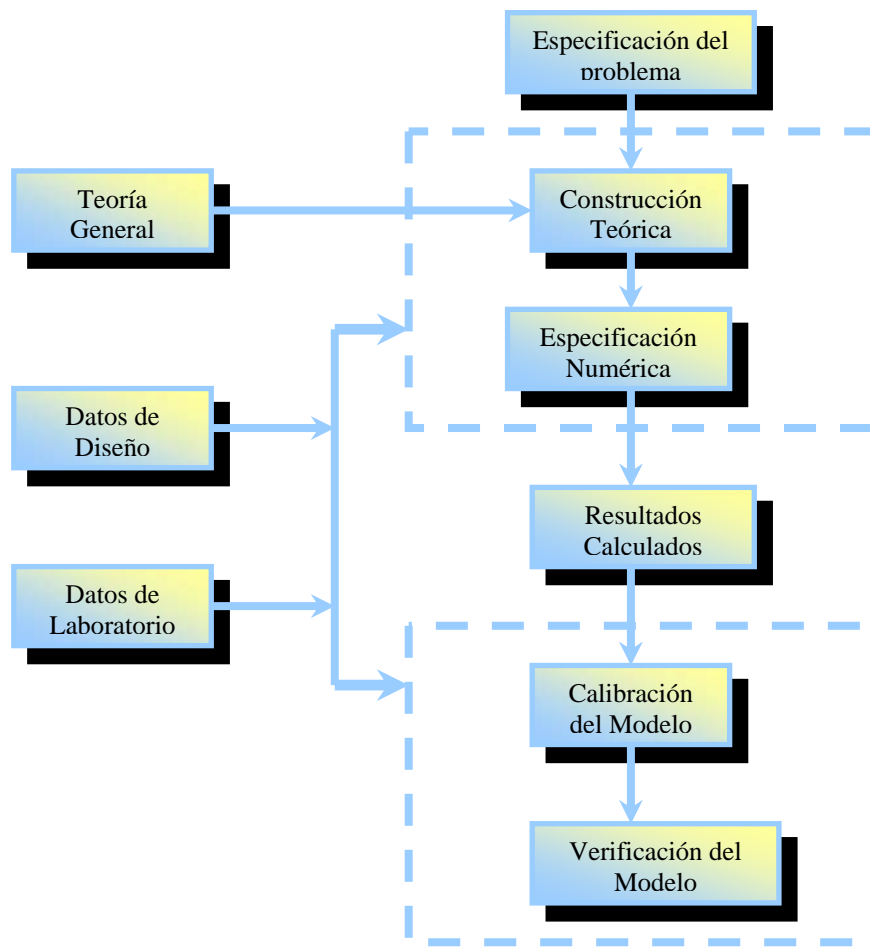


Gráfico 14. Etapas en el desarrollo de un modelo de calidad de agua. Tomado de Baecheler (2005).

Representación Computacional

Es el proceso por el cual el modelo funcional es traducido a fórmulas matemáticas y procedimientos computacionales requeridos para la solución del problema.

En esta fase se cumplieron las etapas de calibración y verificación del modelo de cálculo para que éste sea aplicado confiablemente, ya que para predecir los estados de los parámetros tiene que cumplir con la condición básica de reproducir aceptablemente las condiciones actuales.

El modelo de cálculo consiste en una ecuación que relaciona las toneladas producidas y los sólidos totales disueltos determinados experimentalmente para el día correspondiente de producción.

También, se empleó el programa estadístico SPSS Versión 11.5 el cual proporcionó la ecuación para estimar los niveles de sólidos totales disueltos para los siguientes meses según la producción planificada.

En el Cuadro 29, se observan los días de muestreo, la producción y los sólidos disueltos totales determinados.

Cuadro 29
Relación de los sólidos totales disueltos con la producción diaria

<i>Día</i>	<i>Toneladas</i>	<i>ppm</i>
25-Enero	21	612
26-Enero	18	310
27- Enero	15	530
28- Enero	8	390
29- Enero	20	610
30- Enero	18	350
31- Enero	6	335
01-Febrero	19	564
02- Febrero	14	499
03- Febrero	10	634
04- Febrero	11	481
05- Febrero	13	460
06- Febrero	11	470
09- Febrero	10	634
10- Febrero	13	498
11- Febrero	14	430
14- Febrero	4	308
15- Febrero	11	632
16- Febrero	14	540
17- Febrero	7	338
18- Febrero	5	330
21- Febrero	10	269
22- Febrero	16	320
23- Febrero	13	490
24- Febrero	9	399
25- Febrero	17	344

Nota. Elaborado con datos obtenidos experimentalmente.

En el Cuadro 30, se observan los diferentes valores de significación para cada una de las tendencias o curvas estimadas, la más confiable será aquella que tenga un valor de significación menor o igual a 0.050, Chapra y Canale (1993).

Cuadro 30
Niveles de Significación

Variable Dependiente	Variable Independiente	Tendencia	Significación
Sólidos Totales Disueltos	Producción	Lineal	0,092
		Logarítmica	0,051
		Cuadrática	0,159
		Exponencial	0,089

Nota. Elaborado con datos obtenidos del Programa Estadístico SPSS.

En el Gráfico 15, se aprecian las diferentes curvas estimadas para los datos calculados.

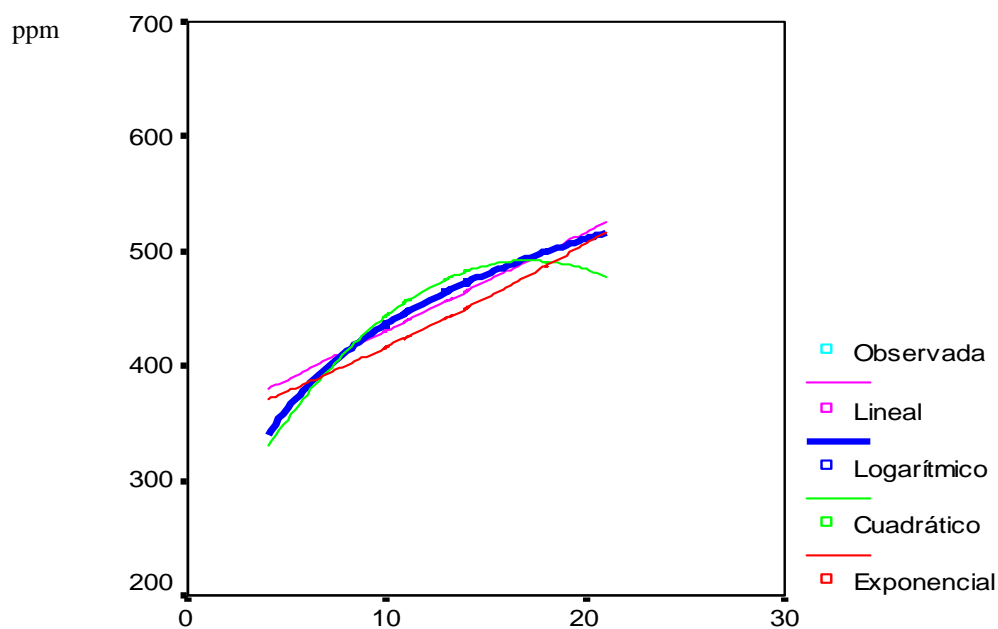


Gráfico 15. Curvas Estimadas. Elaborado con programa estadístico SPSS.

El procesamiento estadístico demostró que la selección existente entre la producción y los sólidos totales disueltos presenta una correlación logarítmica del tipo $y = 106,73\ln(x) + 191,06$, la cual mostró mejor valor de significación de 0,051.

En el Gráfico 16, se observa tendencia del tipo logarítmica y la ecuación correspondiente a la curva estimada.

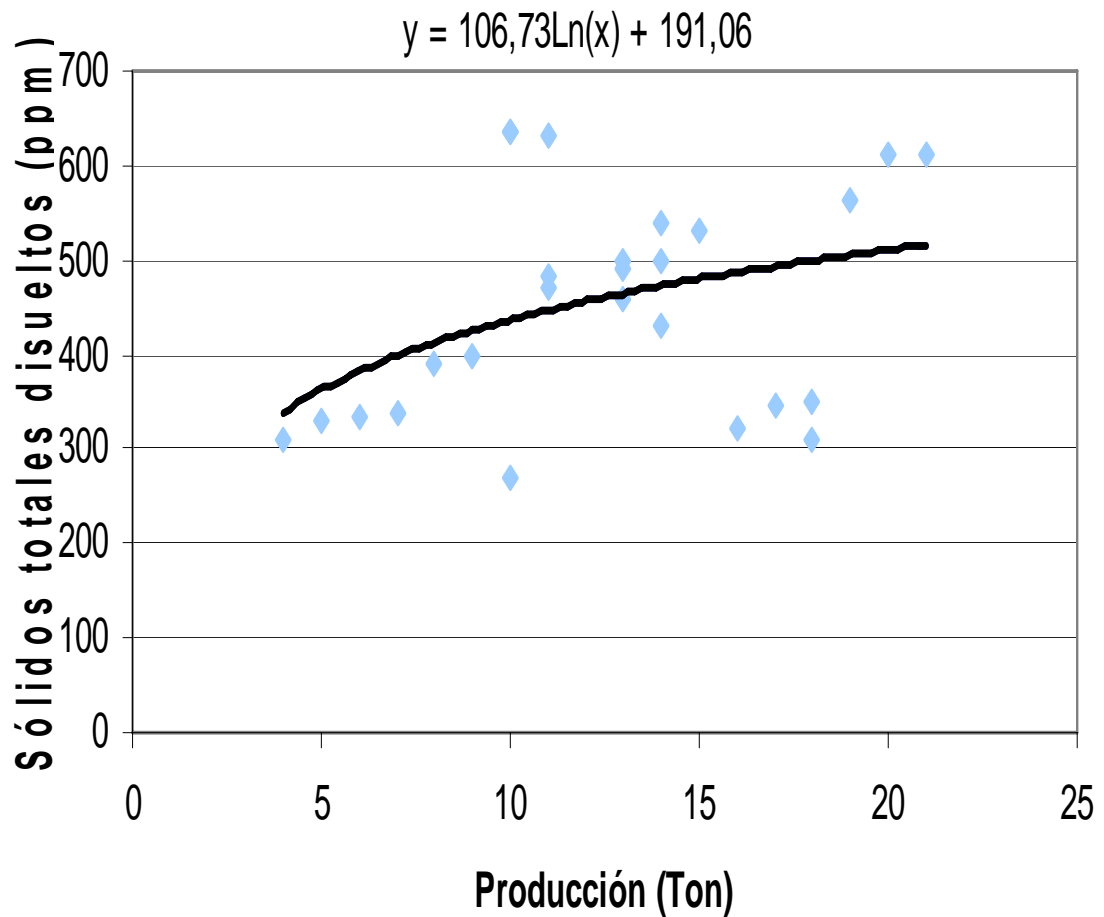


Gráfico 16. Tendencia Logarítmica. Elaborado con el programa Excel.

Una vez determinada la ecuación y con la planificación de la producción para la primera quincena del mes de junio, se estimaron las variaciones de los sólidos totales disueltos (Cuadro 31).

Cuadro 31
Estimación de sólidos disueltos diarios

<i>FECHA</i>	<i>PRODUCCIÓN (ton)</i>	<i>SÓLIDOS DISUELTOS(ppm)</i>
01-Jun-05	14	473
02-Jun-05	13	465
03-Jun_05	8	413
06-Jun_05	9	426
07-Jun_05	7	399
08-Jun_05	20	511
09-Jun_06	15	480
10-Jun_07	13	465
13-Jun_08	11	447
14-Jun_09	14	473
15-Jun_10	19	505
16-Jun_11	13	465
17-Jun_12	21	516

Conclusiones del Análisis del Modelo de Cálculo

Del modelo de cálculo diseñado para la estimación de los sólidos totales disueltos se concluye lo siguiente:

1. Un modelo de cálculo es la herramienta adecuada para la predicción del comportamiento de la calidad del agua en una planta de efluentes de cualquier industria.
2. El procesamiento estadístico demostró que la selección existente entre la producción y los sólidos totales disueltos presenta una correlación logarítmica del tipo $y = 106,73\ln(x) + 191,06$, la cual mostró mejor valor de significación de 0,051.
3. La curva se ajusta al comportamiento experimental.
4. La ecuación matemática estima los niveles de sólidos que la planta debe soportar.
5. En las etapas de calibración y verificación del modelo de cálculo se demostró la confiabilidad de la aplicación, la estimación de sólidos disueltos para el mes de producción planificada se ajusta a las variaciones calculadas experimentalmente.

El modelo de cálculo planteado tendrá la utilidad de estimar los sólidos totales disueltos que la planta pueda soportar y permita tomar las acciones para ajustar al parámetro según los valores adecuados, por lo que es una herramienta fundamental para la optimización de plantas de tratamientos de agua.

REFERENCIAS

- Arboleda, J. (2000). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Balestrini, M. (1987). *Procedimientos Técnicos de la Investigación documental*. Caracas: Editorial Panapo.
- Baecheler, J. (2005). *Calidad del Agua en Espacios Naturales: Impacto y Modelación*. Disponible: <http://eias.utralca.cl/Seminario/Resumenes/Jvargas.doc> [Consulta: 2005, Marzo 25].
- Calvo, L. (2004). *Procesos en la Depuración y Regeneración de Aguas Residuales*. Disponible: <http://www2.cbm.uam.es/jalopez/personal/SeminariosVarios/ERARtexto.htm> [Consulta: 2004, Octubre 10].
- Chapra, S. y Canale, R. (1993). *Métodos Numéricos para Ingenieros*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Engels, A. (2000). *Sistema de Tratamiento de aguas Industriales de una empresa fabricante de cilindros contenedores de GLP*. Trabajo de Grado no publicado. Universidad Nacional Experimental Politécnica, Barquisimeto.
- FOMIPYME. (2005). *Sistema de Gestión Del Agua – SIGA*. Disponible: <http://www.cnpmi.org.html> [Consulta: 2005, Marzo 10].
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5.021 Extraordinario Decreto N° 883. (1995). Caracas.
- INFRAECO. (2004). *Parámetros Más Utilizados Sobre La Calidad Del Agua*. Disponible: <http://www.infraeco.es/traca.htm> [Consulta: 2004, Octubre 15].
- Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Metcalf & Eddy (Volumen I) 1996. México: McGraw-Hill.
- Ishikawa, K. (1994). *Introducción al Control de Calidad*. España: Editorial Díaz de Santos. S.A.
- Laín, M. (2003). *Mejoras en el sistema de aprovisionamiento de agua tratada para el proceso de envasado aséptico en una empresa de alimentos*. Trabajo de Grado no publicado. Universidad Nacional Experimental Politécnica, Barquisimeto.

Lamedá, M. (2001). *Evaluación del diseño de Planta de Tratamiento de Efluentes de la Empresa Kraft Foods Venezuela*. Trabajo de Grado no publicado. Universidad Nacional Experimental Politécnica, Barquisimeto.

Manual de Funcionamiento de Plantas de Efluentes. Domínguez Continental S.A., Barquisimeto.

Manual del Agua: Su naturaleza, tratamiento y Aplicaciones. Nalco Chemical Company (Tomo I) 1996. México: McGraw-Hill.

Rigola, M. (1989). *Tratamiento de Aguas Residuales: Aguas de Proceso y Residuales*. España: Boixareu Editores.

Rodríguez, W. (2004). *Herramientas Estadísticas para el Control Estadístico de los Procesos*. Universidad Yacambú, Barquisimeto.

Romero, A. (1994). *Acuitratamiento por Lagunas de Estabilización*. Colombia: Tercer Mundo Editores.

Sampieri, R. (1998). *Metodología de la Investigación*. Bogotá: McGraw-Hill.

ANEXO A
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Fosa de Sump: Depósito el cual recibe el agua proveniente de las lavadoras, sirviendo también como trampa de grasa.

Lavadoras: Unidades encargadas de la remoción de trazas de aluminio provenientes de las transformaciones, sulfatos, fluoruros, cloruros, hierro y aceites debido al uso de lubricantes.

Tanque Clarifloculador: Unidad de tipo físico-químico donde por adición de químicos (coagulantes y floculantes) se logra eliminar del agua materias suspendidas y coloidales.

Tanque de recuperación interno: Unidad la cual almacena agua proveniente del tanque clarifloculador y la envía por bombeo al tanque de recuperación externo de agua tratada.

Tanque de Polímero: Unidad con aspa central la cual almacena el polímero que será suministrado al tanque clarifloculador.

Tanque de Retención: Unidad la cual retiene el agua neutralizada.

Tanque de Sosa Cáustica: Unidad encargada de almacenar la solución de hidróxido de sodio (NaOH).

Tanque Ecualizador: Unidad que se utilizar para homogeneizar la variación de la calidad del efluente.

Tanque Neutralizador: Tanque con aspa central, neutraliza mediante la sosa cáustica el agua proveniente del ecualizador.

ANEXO B
DOSIFICACIÓN DE POLÍMERO EN POLVO

DOSIFICACIÓN DE POLÍMERO EN POLVO

<i>Flujo de Agua Neutralizada (GPM)</i>	<i>Horas de Trabajo</i>	<i>Polímero en Polvo (gramos)</i>	<i>Galones de Agua</i>	<i>Flujo de Polímero (GPM)</i>
15	8	163	43	0,60
	16	326	86	
	24	500	130	
20	8	220	58	0,78
	16	436	115	
	24	654	173	
30	8	327	83	0,117
	16	654	173	
	24	981	259	
40	8	436	115	0,156
	16	872	230	
	24	1310	346	

CURRÍCULUM VITAE

DATOS PERSONALES			
Apellidos y Nombres	Cédula de Identidad	Nacionalidad	Estado Civil
Barrera Roberti Vanessa	V- 16.324.524	Venezolana	Soltera
Fecha y Lugar de Nacimiento	Dirección de Habitación		Teléfono
27 de Marzo de 1983 Barquisimeto, Edo. Lara	Urbanización “El Pedregal I” conjunto residencial “La Ciudadela” Casa Nro 43		(0416) 3511836 (0251) 2545416 Vaneb27@hotmail.com
ESTUDIOS REALIZADOS			
Formación Académica	Fecha	Lugar	Especialidad
Educación Superior: Universidad Yacambú.	2001-2005	Barquisimeto Edo. Lara	Estudiante universitario del 9no Semestre de Ingeniería Industrial de la Universidad Yacambú
Educación Diversificada: Newport Middle-High School	-----	Barquisimeto Edo. Lara	
Educación Diversificada: U.E Colegio las Colinas.	-----	Barquisimeto Edo. Lara	
Educación Básica: U.E Colegio las Colinas.	-----	Barquisimeto Edo. Lara	
Educación Primaria: U.E Colegio las Colinas.	-----	Barquisimeto Edo. Lara	
FORMACIÓN COMPLEMENTARIA			
			Año
▪ Programa de intercambio estudiantil (Youth For Understerching).			1999-2000
▪ Centro recapitación Profesional MICRONET. Curso de AUTOCAD I.			2001
▪ Reconocimiento académico. Cursante del sexto semestre de la carrera programa ingeniería industrial, por haber obtenido un promedio de 17.81 pts.			2.003
▪ Seminario de higiene y seguridad industrial “Estimulo a la mayor productividad” (12 h).			2003
INFORMÁTICA		IDIOMAS	
Conocimientos medios-altos a nivel usuario:			
<ul style="list-style-type: none"> Windows Procesador de Texto: Microsoft Word Hojas de Cálculo: Excel Power Point Internet Explorer AUTOCAD I 		INGLÉS Nivel Superior, Hablado y Escrito. Avalado por: *Certificate of Attendance. Newport Middle-High School 2000.	