

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE EN PARÁMETROS DE CALIDAD  
DEL AGUA ANALIZADOS EN EL LABORATORIO DE TRATAMIENTO  
QUÍMICO DE LA PLANTA RESOR COMPLEJO JUSEPIN”**

**REALIZADO POR:**

**LUISANA MARINA MEJIA CORNIELES**

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito  
Parcial para optar al Título de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**Barcelona, noviembre de 2011**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE EN PARÁMETROS DE CALIDAD  
DEL AGUA ANALIZADOS EN EL LABORATORIO DE TRATAMIENTO  
QUÍMICO DE LA PLANTA RESOR COMPLEJO JUSEPIN”**

**ASESORES**

---

**Ing. Quím. Alexis Cova, M.Sc.  
Asesor académico**

---

**Lic. Quím. María Godoy  
Asesor industrial**

**Barcelona, noviembre de 2011**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE EN PARÁMETROS DE CALIDAD  
DEL AGUA ANALIZADOS EN EL LABORATORIO DE TRATAMIENTO  
QUÍMICO DE LA PLANTA RESOR COMPLEJO JUSEPIN”**

**JURADO**

---

**Ing. Quím. Alexis Cova, M.Sc.**  
**Asesor académico**

---

**Ing. Quím. Milena Mundaraín, M.Sc.**  
**Jurado principal**

---

**Ing. Quím. Petra Martínez, M.Sc.**  
**Jurado principal**

**Barcelona, noviembre de 2011**

## RESOLUCIÓN

### REGLAMENTO DE TRABAJOS DE GRADO

De acuerdo al **ARTÍCULO 41** del Reglamento de Trabajos de Grado, los trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario.

## DEDICATORIA

A mi Dios padre todopoderoso, por día a día bendecirme con el temple y la fuerza para seguir en la lucha de este gran sueño, a vencer cada obstáculo, valorar cada triunfo, y aprender de cada uno de mis fracasos. Gracias a él, alcancé este gran anhelo.

A mi maravillosa madre, fuente inagotable de inspiración, mi mayor admiración, ejemplo de tenacidad, lucha, y valentía. Mi vida, mi gran fortaleza.

A mi adorado padre, modelo a seguir de trabajo, superación, constancia. Quien ha sido mi guía, consejero, mentor y asesor. Mi eterno Gran amor.

A mi hermana, mi mejor amiga y fiel compañera, por su apoyo incondicional, ser cómplice en mis ideas, y brindarme su ayuda incondicional. Mi bella sis.

Y de manera especial, me dedico esta tesis a mí, porque es el fruto de años de constancia, lucha, sonrisas, lágrimas, grandes sacrificios y también maravillosas bendiciones que me han hecho crecer a nivel personal y profesional. Porque es la llave que me abrirá grandes puertas hacia un prometedor futuro, sólo Dios y yo sabemos cuánto me esforcé para lograr esta meta.

## **AGRADECIMIENTOS**

Ante todo a Dios, por bendecirme en salud, con la familia que tengo, por cruzar a lo largo de mi carrera a personas que me brindaron su ayuda y se convirtieron en grandes amigos, por no desampararme en ningún momento y acompañarme en cada paso que doy.

A mi virgen María Rosa Mística, por colmar de bendiciones mi hogar, por su protección, escuchar cada suplica y los favores concedidos que con tanta fe oré. Tu gracia es infinita mi virgencita.

A mi madre, padre y hermana, mis 3 pilares, mis motivos, mis amores. Sin ustedes y su apoyo, cariño, sin sus palabras, esto no sería posible. Gracias por soportar cada momento amargo, secar mis lágrimas, abrazar mis miedos, celebrar mis logros y consolar mis derrotas. Los amo.

A mi tía amarilis y abuela flor marina, por estar siempre presente, dándome sus manos, queriendo siempre que lograra cada objetivo propuesto, por su gran cariño. Las adoro.

A mis hermanas, mi manada: Karlita, Jenasis, Nicolina, Grace, Tania, Giselle y Jesmir. Por tantos días de ajetreo en esos pasillos de nuestra querida universidad, por las interminables noches de desvelo para cada parcial, por tantos momentos y vivencias, en pro de ser colegas y profesionales. Se les quiere.

A Luis Carlos Zerpa y su familia. Gracias por estar conmigo en todo momento, por darme aliento y llenarme de positivismo cuando todo parecía estar en contra. Por ser tan paciente, tolerante, incondicional a la hora de darme la mano en lo que fuese necesario. Por tu compañía, consejos, cariño, por abrirme las puertas de su casa y su corazón. Siempre están presentes.

A Fernando Gómez, has sido un gran apoyo, gracias por brindarme tanto cariño, por tu compañía y por respaldarme siempre en las malas y las buenas.

A la familia Galué Segovia por abrirme las puertas de su casa, brindarme su apoyo al inicio de este largo camino.

A mi profesor y tutor académico Alexis Cova por sus enseñanzas, por siempre abrir un espacio en su tiempo para asesorarme y brindarme sus conocimientos.

A la Lcda. María Godoy, excelente tutora industrial, por los conocimientos adquiridos, por la confianza, y ayudarme a desarrollar parte de mi experiencia laboral en este campo.

Al sr Alberto Brito por ayudarme desde el primer día, gran profesor impartiendo tantos conocimientos, compañero de trabajo y a la vez amigo. Gracias por el cariño y su apoyo.

A mi gente del laboratorio: Elimar, José Barrios, José Rojas y Carlos. Agradecida por prestarme su colaboración en mi trabajo de pasantías.

Al grupo de gerencia de plantas gas y agua, departamento de tratamiento químico de PDVSA Maturín y punta de mata.

A todos y cada uno de los profesores que formaron parte de mi desarrollo como profesional, y permitirme decir que soy una orgullosa egresada de la casa más alta en esta carrera tan fascinante como lo es la Ingeniería Química.

## RESUMEN

La planta Recuperación Secundaria Oriente (RESOR) se encarga del tratamiento de aguas procedentes del acuífero las piedras, ubicado en las cercanías de Jusepín, con la finalidad de mejorar su calidad antes de ser llevadas a un proceso de inyección a yacimientos. RESOR trabaja conjuntamente con la planta Sistemas de Aguas Efluente Norte conocida como SAEN, ya que las aguas procesadas por cada una de ellas se encuentran en un punto de mezcla, donde se requiere que presenten determinadas condiciones de especificación exigida por el cliente. El agua tratada es caracterizada a través de distintos ensayos de laboratorio, realizados por el departamento de tratamiento químico de la planta RESOR, donde se encuentra ubicado su laboratorio de ensayos y control de calidad. En la actualidad, para acreditarse como laboratorio competente en el campo de los ensayos y calibraciones, se requiere cumplir con la estimación de un parámetro que defina la dispersión del resultado de medición y la confiabilidad del mismo. Este parámetro es conocido como la incertidumbre, que caracteriza la dispersión al resultado de una medición que puede ser atribuida al mensurando. Se escogieron los ensayos a los cuales serían estimado ese valor, siendo estos turbidez y sólidos suspendidos totales (SST) ya que están asociados al proceso de filtración, lo que permitió paralelamente, la evaluación del rendimiento de los trenes de filtración de ambas plantas. Se realizó la captación de muestras durante tres días seguidos en diferentes semanas, tanto para la turbidez como para los SST. Se chequearon los certificados de calibración de los equipos necesarios, para realizar los métodos de ensayo, debido a que son de suma importancia para el conocimiento y desarrollo de las características metrológicas de cada uno. Los resultados obtenidos permitieron establecer una comparación en los

factores de diseño para cada equipo de filtración y así ubicar el nivel del rendimiento operacional de cada proceso de filtración. Las eficiencias obtenidas en el periodo establecido, evidenciaron un cumplimiento del objetivo de las plantas, así como la situación actual del rendimiento a nivel operativo

## TABLA DE CONTENIDO

RESOLUCIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
RESUMEN.....	viii
TABLA DE CONTENIDO .....	x
CAPITULO 1 .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Objetivos .....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos .....	5
CAPITULO II.....	6
MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Antecedentes .....	6
2.2 Planta recuperación secundaria oriente (RESOR).....	7
2.3 Ubicación geografica del area en estudio.....	10
2.4 Conocimientos generales sobre inyección de agua .....	12
2.4.1 Caracterización del agua para inyección .....	12
2.4.2 Tratamiento del agua para inyección .....	15
2.4.2.1 Tratamiento químico para el agua de inyección.....	16
2.5 Proceso de filtración como método para el tratamiento del agua.....	17
2.5.1 Clasificación de los procesos de filtración .....	19
2.5.2 Efectos prácticos de las variables de filtración .....	20
2.5.2.1 Presión .....	20
2.5.2.2 Torta de filtración.....	20

2.5.2.3 Viscosidad y temperatura.....	20
2.5.2.4 Tamaño de partículas y concentración.....	21
2.5.3 Medios filtrantes.....	21
2.5.4 Materiales de precapa, auxiliares de filtración .....	21
2.5.5 Criterios de selección de equipos de filtración.....	22
2.6 Aguas residuales.....	23
2.6.1 Clasificación de las aguas residuales .....	23
2.6.2 Etapas del tratamiento del agua residual.....	24
2.6.2.1 Etapa preliminar .....	24
2.6.2.2. Etapa primaria .....	25
2.6.2.3 Etapa secundaria .....	25
2.6.2.4 Etapa terciaria .....	25
2.7 Parámetros más utilizados en la calidad del agua .....	26
2.7.1 Parámetros de carácter físico .....	26
2.7.2 Parámetros de carácter químico.....	26
2.7.3 Parámetros de carácter microbiológico.....	26
2.8 Descripción del proceso de la planta de inyección de agua para recuperación secundaria de oriente “RESOR” .....	27
2.9 Breve descripción del proceso de tratamiento SAEN.....	29
2.10. Eficiencia .....	31
2.11 Conocimientos básicos para el cálculo de la incertidumbre .....	32
2.11.1 Incertidumbre.....	32
2.11.2 Tipos de incertidumbre .....	32
2.12 Fuentes posibles de la incertidumbre en una medición.....	34
2.13 Determinación de parámetros relevantes en el cálculo de incertidumbre.....	34
2.13.1 Presupuesto de incertidumbre .....	34
2.13.2 Magnitud de entrada.....	35
2.13.2.1 Variabilidad de las magnitudes de entrada .....	35

2.13.3 Distribución de probabilidades .....	36
2.13.3.1 Distribución rectangular .....	36
2.13.3.2 Distribución triangular.....	36
2.13.3.3 Distribución normal.....	37
2.13.4 Coeficiente de sensibilidad .....	37
2.13.5 Repetibilidad .....	37
2.13.6 Reproducibilidad .....	37
2.13.7 Calibración.....	38
2.13.8 Criterios para la determinación de la corrección.....	38
2.13.8.1 Criterio 1: aproximación .....	38
2.13.8.2 Criterio 2: valores intermedios.....	39
2.14 Trazabilidad de las mediciones en la incertidumbre .....	40
CAPITULO 3.....	41
DESARROLLO DEL PROYECTO .....	41
3.1 Porcentaje de disminución de turbidez y remoción de sólidos como parámetro que califica el funcionamiento de los trenes de filtración de las plantas SAEN Y RESOR, basándose en resultados de laboratorio .....	41
3.2 Comparación de los resultados obtenidos con las especificaciones de diseño de cada planta .....	43
3.3 Desarrollo de procedimientos para la estimación de la incertidumbre en la medición de los solidos suspendidos totales (SST) y turbidez .....	43
3.3.1 Pasos para la determinación de la incertidumbre .....	46
3.3.2 Equipos, materiales y sustancias.....	47
3.3.2.1 Equipos .....	47
3.3.2.2 Materiales.....	47
3.3.2.3 Sustancias.....	48
3.3.2.4 Herramientas.....	48
3.3.3 Técnicas utilizadas .....	49
3.3.3.1 Determinación de la turbidez del agua .....	49

3.3.3.2 Determinación de los sólidos suspendidos totales .....	49
3.3.4 Muestra de cálculo .....	51
3.3.4.1 Cálculo de la incertidumbre en ensayo de sólidos suspendidos totales (SST) .....	51
3.3.4.2 Estimación de la incertidumbre de los SST de la muestra .....	63
3.3.4.3 Cálculo de la incertidumbre en ensayo de turbidez.....	65
3.4 Estimado de la inversión requerida para la implementación del cálculo de la incertidumbre en el laboratorio de tratamiento químico de la planta RESOR.....	67
CAPITULO 4 .....	70
DISCUSIÓN DE RESULTADOS,CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	70
4.1 Discusión de resultados .....	70
4.1.1 Porcentaje de disminución de turbidez y remoción de sólidos como parámetro que califica el funcionamiento de los trenes de filtración de las plantas SAEN y RESOR, basándose en resultados de laboratorio.....	70
4.1.1.1 Eficiencia a la salida de los filtros coalescedores (SFC) de planta SAEN.....	72
4.1.1.2 Eficiencia a la salida de los filtros pulidores de planta SAEN .....	75
4.1.1.3 Eficiencia del tren de filtración de planta RESOR .....	79
4.1.2 Comparar los resultados obtenidos con las especificaciones de diseño de cada planta.....	82
4.1.3 Desarrollo de procedimientos para la estimación de la incertidumbre en la medición de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y turbidez.....	87

4.1.4 Estimado de la inversión requerida para la implementación del cálculo de la incertidumbre en el laboratorio de tratamiento químico de la planta RESOR .....	94
4.2 CONCLUSIONES.....	96
4.3 RECOMENDACIONES .....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	99
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....	102

# **CAPITULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

En el laboratorio de tratamiento químico de la planta RESOR, se realizan los principales ensayos para la caracterización del agua para inyección a yacimientos. Para optar a la acreditación como laboratorio competente en ensayos y calibración, se requiere de la estimación de la desviación del resultado de las mediciones, esto es estimar su incertidumbre.

La incertidumbre es el parámetro asociado al resultado de la medición, el cual caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos al valor obtenido en las mediciones. Los ensayos seleccionados para el cálculo de este parámetro, son la turbidez, y sólidos suspendidos totales. La turbidez basada en el método nefelométrico, que trabaja en base al principio óptico de la medición de la luz difusa en un ángulo de  $90^\circ$ . A mayor sólidos no disueltos en masas líquidas, mayor absorción y dispersión de la luz que los atraviesa, y por lo tanto, mayor turbidez.

El ensayo de sólidos suspendidos totales, trabaja en base al método gravimétrico, que consiste en la medición cuantitativa de la masa de sólidos suspendidos totales en un determinado volumen de agua, mediante la técnica de filtración y secado, usando filtros de papel. Con el desarrollo del cálculo de la incertidumbre, se podrán identificar todas las componentes que generan dicha dispersión en la medición.

Para el desarrollo de este procedimiento, se seguirá los pasos establecidos por las normas correspondientes a la estimación y expresión de

la incertidumbre en mediciones de ensayos de laboratorio. Siguiendo una serie de procedimientos en la captación de muestras, y mantenimiento de las condiciones del lugar de trabajo. Y con la respectiva documentación certificada de calibración de los instrumentos de medición.

### **1.1 Planteamiento del problema**

La planta Recuperación Secundaria de Oriente (RESOR) tiene como principal objetivo el tratamiento de aguas, con fines de mejora de su calidad, para luego ser inyectadas a los yacimientos de El Furrial. Su abastecimiento proviene del acuífero Las Piedras, cerca de Jusepín. RESOR opera conjuntamente con la planta Sistema de Aguas Efluentes Norte (SAEN), la cual recibe descargas de procesos de deshidratación de crudo de Jusepín, planta de tratamiento de aguas contaminantes del proceso, residuales y de lluvia, planta compresora Wilpro, entre otros efluentes que eventualmente descargan en las fosas de alimentación de dicha planta.

Para llevar a cabo el análisis de los parámetros químicos de calidad del agua para inyección, RESOR cuenta en sus instalaciones con el laboratorio de tratamiento químico, el cual está actualmente certificado por la Norma Venezolana COVENIN 9001:2000 de Sistema de Gestión de la Calidad (Norma ISO, 2000), donde se sigue un plan para el manejo y procesamiento de aguas y gas, a fin de cumplir con las especificaciones del cliente.

En el párrafo 0.1 de la norma COVENIN 3631:2000 dice *“Cuando se reporta el resultado de una medición de una magnitud física es obligatorio proporcionar alguna indicación cuantitativa de la calidad del resultado, de manera que el usuario pueda evaluar su confiabilidad. Sin esta indicación, los resultados de las mediciones no pueden ser comparados, ni entre ellas*

*mismas ni con respecto a valores de referencia dados en una especificación o norma. Por lo tanto, es imprescindible implementar un procedimiento, fácil de usar y aceptado de manera general para caracterizar la calidad del resultado de una medición, esto es calcular y expresar su incertidumbre*". Dando cumplimiento a la norma venezolana guía para la expresión de la incertidumbre en las mediciones COVENIN 3631:2000 (**Fondonorma, 2000**).

Actualmente uno de los parámetros que rigen la acreditación para la competencia en laboratorios de medición según la norma Venezolana Fondonorma ISO/IEC 17025:2005 (Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración) es la estimación de la incertidumbre de la medición "*Los laboratorios de ensayo deben tener y aplicar procedimientos para estimar la incertidumbre de la medición. En algunos casos la naturaleza del método de ensayo puede excluir un cálculo riguroso, metrológicamente y estadísticamente válido, de la incertidumbre de medición. En estos casos el laboratorio debe por lo menos, tratar de identificar todos los componentes de la incertidumbre y hacer una estimación razonable, y debe asegurarse de que la forma de informar el resultado no dé una impresión equivocada de la incertidumbre*".

En tal sentido se pretende realizar la estimación de la incertidumbre en los ensayos más importantes asociados al proceso de filtración. Estos son primordiales para el reconocimiento de la calidad del agua tratada y procesada que permiten establecer medidas para el control de los mismos a través de la inyección de químicos.

Esto se hará a través del desarrollo de una serie de pasos específicos, donde se buscará identificar las fuentes que generan dicha incertidumbre en

el análisis respectivo y cuantificar su variabilidad, para posteriormente determinar la incertidumbre expandida en cada uno de los mismos.

En base a lo anterior se podrá implementar un programa sencillo que permitirá el cálculo de este parámetro. El resultado obtenido será reportado en el informe que proporciona el laboratorio de tratamiento químico y será de gran utilidad en el ámbito operacional al aplicar la incertidumbre y obtener el posible valor verdadero convencional (VVC).

Podrá ser empleado en el Dpto. de operaciones, al comparar con las especificaciones de diseño de las plantas. Para el cálculo de eficiencia del proceso de filtración de las plantas seleccionadas, se tomó como base los datos generados en el laboratorio durante mayo del 2008 a diciembre 2009, en los puntos establecidos de control.

Con la obtención de la incertidumbre en los ensayos de medición, anteriormente mencionados, se podrá iniciar el procedimiento para en un futuro optar a la acreditación por FONDONORMA ISO/IEC 17025:2005 del laboratorio de tratamiento químico de la planta RESOR, con la finalidad de establecerse con un nivel de confiabilidad considerable para el cliente, a la hora de cumplir con sus especificaciones.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Estimar la incertidumbre en parámetros de calidad del agua analizados en el laboratorio de tratamiento químico de la planta RESOR, complejo jusepin.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Establecer el porcentaje de disminución de turbidez y remoción de sólidos como parámetro que califica el funcionamiento de los trenes de filtración de las plantas SAEN y RESOR, basándose en resultados de laboratorio.
2. Comparar los resultados obtenidos con los parámetros de diseño de cada planta.
3. Desarrollar procedimientos para la estimación de la incertidumbre en la medición de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y turbidez.
4. Realizar un estimado de la inversión requerida para la implementación del cálculo de la incertidumbre en el laboratorio de tratamiento químico de la planta RESOR.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

Delgado (2008) estimó la incertidumbre en la determinación del pH en una muestra de agua, tomando en cuenta todos los parámetros experimentales que intervienen en el proceso de medición, siguiendo el procedimiento establecido en la GUM ISO 1995.

- González (2004) evaluó los procesos de preparación y análisis de mineral de hierro realizado en el laboratorio de calidad de Ferrominera Orinoco C.A, enfocado en la implementación del sistema de calidad ISO 17025. Debido a esto, se realizaron cálculos de las incertidumbres de medición, estudio estadístico y cuadros comparativos para establecer diferencias entre los procedimientos empleados en el laboratorio y los procedimientos normalizados ISO.
- Jiménez (2003) realizó la determinación de las incertidumbres de cada una de las mediciones efectuadas, en los departamentos de control de calidad, laboratorio y producción perteneciente a la empresa de revestimiento de tuberías Venezuela Atlántida Internacional.
- González (2002) estudió la incertidumbre asociada a los resultados obtenidos en procedimientos de medida bioquímicos-clínicos, basándose en el conocimiento de los diferentes factores relacionados a cada paciente, además de la enfermedad, que pueden causar variación en un resultado, tomando en cuenta la identificación de los diferentes componentes de la variabilidad.

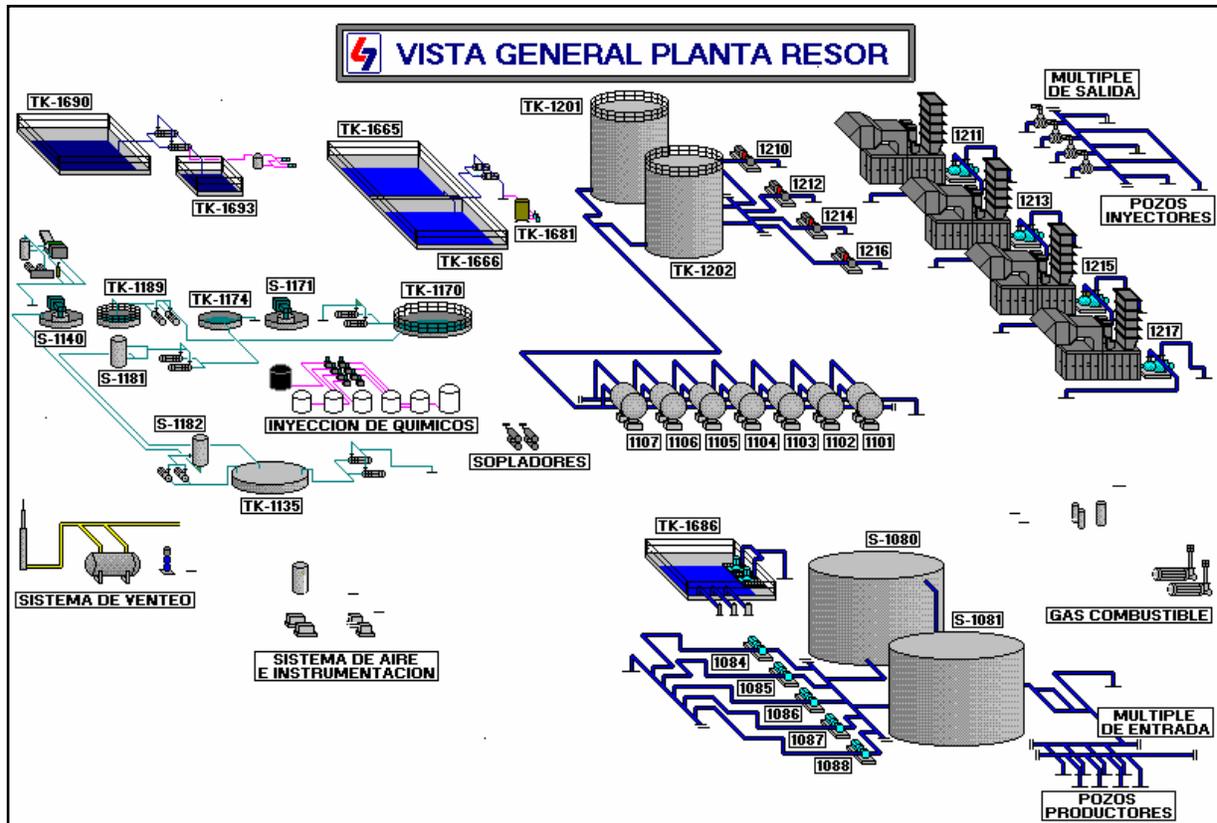
- Al igual que los estudios anteriores se realizará el cálculo de la incertidumbre en las mediciones realizadas en un laboratorio de ensayo. La diferencia es que será aplicada a los ensayos relacionados a un proceso de filtración, para analizar la contribución de las condiciones operacionales en los resultados, y se llevará a cabo un estimado de la inversión requerida para realizar el cálculo de este parámetro, en las actividades laborales de dicho laboratorio. Se realizará el cálculo de la eficiencia del proceso a través de una muestra representativa entre los años 2008 y 2009 para establecer una comparación con las especificaciones de diseño de las plantas RESOR/SAEN.

## **2.2 Planta recuperación secundaria oriente (RESOR)**

La planta de inyección de agua recuperación secundaria de oriente pertenece al complejo de plantas Jusepín, al noroeste de Maturín. Ésta inicia sus operaciones en septiembre de 1993, con la inyección de 400 MBAD con el fin de recuperar adicionalmente 1.350 millones de barriles de petróleo, a una tasa de producción de 170 MBD por un periodo de 20 años. RESOR se encarga del acondicionamiento y bombeo del agua proveniente de 28 pozos productores correspondientes al acuífero Las Piedras, además del agua procesada por el Sistemas de Aguas Efluente Norte, SAEN, para la inyección de 550 mil barriles de agua diarios (BAD) a una presión en rangos desde 3.900 a 4.300 psig a los yacimientos de Naricual y Cretáceo, de los campos del Furrial, Musipán, y Jusepín. Con el propósito de suministrar la energía necesaria para mover los fluidos desde el yacimiento hasta la superficie.

La principal fuente de abastecimiento de RESOR la constituye el acuífero Las Piedras, con reservas probadas de 600.000 BAD. El agua

producida posee componentes indeseables (oxígeno disuelto, gas metano, sólidos suspendidos, colonias de bacterias), por lo que requiere ser procesada antes de dirigirla a inyección. En la figura 2.1 se muestra el esquema general de la planta RESOR.



**Figura 2.1 Vista general de la planta RESOR**

La segunda fuente de agua proviene de la planta Sistema de Aguas Efluente Norte, SAEN, ubicada adyacente al patio de tanques en el complejo Jusepín. Entró en operación en Junio de 1996. La misma fue diseñada para tratar físico-química y bacteriológicamente 50 MBAD provenientes de los efluentes de la planta de deshidratación de crudos del campo Furrial, Wilpro baja presión, extracción Jusepín y la osa 24 MBAD (comprende el agua de lluvias y de producción Furrial) y fosa de aguas 15 MBAD, con el objetivo de

transferirla bajo especificaciones a la planta RESOR con fines de recuperación secundaria de crudo en los yacimientos Naricual y Cretáceo pertenecientes al campo El Furrial.

De acuerdo a los pronósticos de los yacimientos, a partir de 1999, se tendría una entrada abrupta de agua con tendencia a acentuarse, la cual no podía ser manejada con la infraestructura existente, por lo que surgió la necesidad de ampliar la capacidad de procesamiento de la planta con el fin de manejar 122 MBAD atendiendo a la solicitud de la Unidad de Explotación El Furrial. La ampliación finalizó en el año 2001 y consistió en incorporar un nuevo tren de filtración (Tren 2), con mayor capacidad instalada 67 MBAD que el tren existente que comprende cuatro filtros coalescedores y cinco pulidores a diferencia del Tren 1 que posee cuatro filtros coalescedores y cuatro filtros pulidores. En la figura 2.2 está representado la vista general de la planta SAEN (**Verde, 2007**).

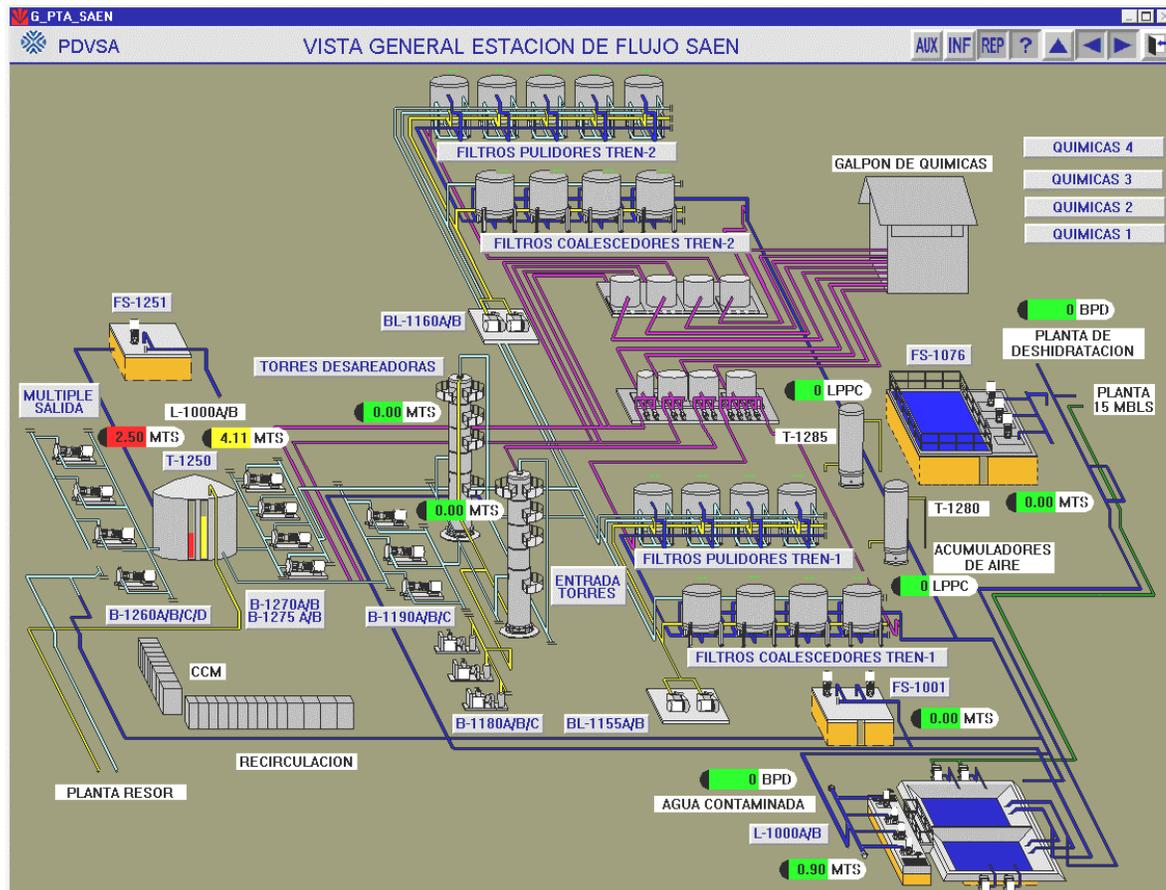
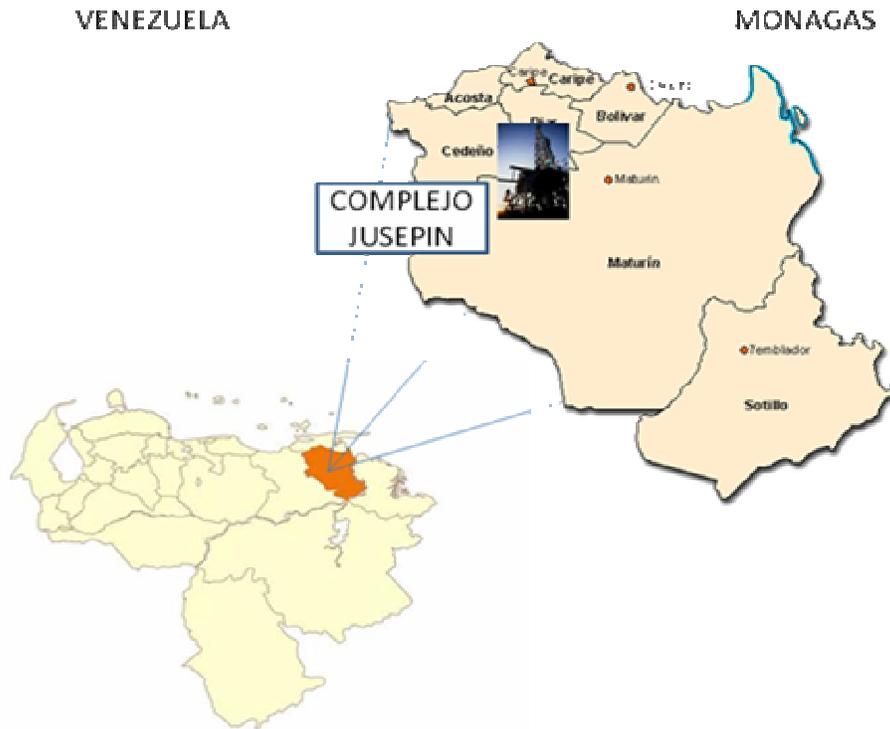


Figura 2.2 Esquema general de planta SAEN

### 2.3 Ubicación geográfica del area en estudio

El distrito norte se encuentra situado a 67 metros de altura, junto al río Guarapiche, estado Monagas, se encuentra ubicada en la región nororiental del país. Limita con el edo. Sucre al norte, con el golfo de Paria y el edo. Delta Amacuro al este, con el edo. Anzoátegui al oeste y con el edo. Bolívar al sur, específicamente con el distrito Morichal constituido por los campos: El Furrial, Musipan y Muri.

En el distrito norte opera el complejo Jusepin, situado al noroeste del edo. Monagas, a 30 km de Maturín, ubicación reflejada en la figura 2.3; está conformado por la plantas compresoras jusepin, sistema de deshidratación de crudo, recuperadora de vapor, módulos de producción, tanques de estabilización y dos plantas de tratamiento de agua, como lo son: RESOR (Recuperadora Secundaria de Oriente) y SAEN (Sistema de Aguas Efluente Norte).



**Figura 2.3 Ubicación geográfica del Complejo Jusepín**

## 2.4 Conocimientos generales sobre inyección de agua

La inyección de agua es un proceso donde el petróleo es llevado hacia los pozos de producción por acción de la presión ejercida por el agua, esta operación fue realizada por primera vez. Para la inyección se utiliza el agua salada dado que se prohíbe desde el punto de vista contractual el uso de agua fresca, la cual debe presentar ciertas condiciones (Castro L, 2008):

- No debe ser corrosiva
- Los componentes minerales como  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{SrSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{FeS}$  y  $\text{Fe}_2\text{S}_3$  ocasionan la formación de conchas por lo que se debe tratar de eliminar este tipo de minerales.
- Debe eliminarse los sólidos o líquidos en gran volumen que produzcan la obstrucción de los pozos de inyección.
- Muchos de los minerales arcillosos que se encuentran en el yacimiento al unirse con el agua, producen el aumento del volumen de los mismos, por eso el agua inyectada no debe reaccionar con éstos.
- El agua preparada para la inyección debe presentar características similares al agua encontrada en el yacimiento para que sean compatibles y pueda funcionar el método.

Hoy en día el método de inyección de agua es el más utilizado de los métodos de recuperación secundaria, cubriendo así más de la mitad de la producción de los pozos a nivel mundial (**Tebutt T, 1998**).

### 2.4.1 Caracterización del agua para inyección

Es de suma importancia en el diseño de un sistema de tratamiento de agua para inyección determinar la calidad y la tasa futura de producción de

agua con el fin de conocer el tipo y la cantidad de contaminantes, como también los volúmenes presentes y futuros a disponer o reinyectar. También se requieren análisis de compatibilidad entre el agua utilizada para la inyección y la de formación. Esta caracterización permite establecer especificaciones de diseño para los equipos de tratamiento. Existen técnicas estándar de muestreo y análisis dependiendo del tipo de contaminante.

Las características físicas más importantes de las aguas de producción son (**Tebutt T, 1998**):

- **Temperatura:** las variaciones de temperatura son importantes en las consideraciones de diseño para el sistema de tratamiento de agua. Los minerales más comunes que forman incrustaciones muestran una solubilidad inversa con la temperatura, lo que significa que la solubilidad disminuye cuando aumenta la temperatura. Adicionalmente un aumento en la temperatura aumenta la tasa de corrosión.
- **Contenido de sólidos y distribución del tamaño de partículas:** las aguas producidas contienen sólidos suspendidos que pueden taponar la formación receptora, causando una reducción de inyectabilidad. El contenido de sólidos y la distribución del tamaño de partículas se utilizan para el diseño de los equipos de separación y filtración. La concentración de sólidos, combinada con la tasa de flujo, indica la masa, de sólidos a ser removidos y manejados. El contenido de sólidos se determina por filtración mientras que la distribución de las partículas se determina por difracción de rayos láser o microscopía.
- **Turbidez:** es el grado absorción y dispersión de un rayo de luz incidente sobre las partículas suspendidas en el agua. Se mide con un instrumento llamado turbidímetro en unidades nefelométricas de turbidez (NTU).

- **Contenido de aceite:** el aceite disperso en el agua forma coágulos con los sólidos y puede taponar la formación. Además puede afectar el sistema de filtración.
- **Análisis de corrosión:** es importante conocer la tasa de corrosión generalmente en milésimas de pulgadas por año, (mpy) para el diseño de los equipos y del tratamiento para el control de la corrosión. La tasa de corrosión de con cupones y probetas de corrosión en campo o en laboratorio.
- **Análisis bacterial:** las bacterias causan corrosión o taponamiento de la formación. Existen bacterias sulfato reductoras (generadoras de H<sub>2</sub>S), bacterias depositadoras de hierro y formadoras de lodo (slime). Es necesario hacer cultivos para determinar la clase, especie y concentración de bacterias en el agua y para diseñar tratamiento de control.

Las características más importantes de las aguas de producción son [6]:

- **pH:** es un indicador del carácter ácido (pH<7) o básico (pH>7) del agua de producción. Tiene influencia en la precipitación de sólidos o incrustaciones y en la tasa de corrosión.
- **Sales disueltas:** todas las aguas de producción contienen sólidos disueltos, principalmente cloruro de sodio. Su concentración se determina por colorimetría, titulación o absorción atómica en caso del bario y estroncio.
- **Gases disueltos:** los gases disueltos que causan mayor preocupación son el oxígeno (O<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S). Su concentración se determina por colorimetría y/o titulación. El oxígeno es el agente corrosivo más serio que participa en los mecanismos de corrosión en los campos petroleros.

- **Compatibilidad:** la prueba de compatibilidad de aguas se efectúa con el fin de determinar si existen diferencias entre la química o la temperatura del agua que causen o formen precipitados, cuando el agua a inyectar se mezcle con el agua de la formación receptora.

#### 2.4.2 Tratamiento del agua para inyección

Las aguas asociadas a la producción de hidrocarburos contienen contaminantes como: hidrocarburos suspendidos o disueltos, sólidos suspendidos, sales, carbonatos y metales pesados, entre otros. La concentración de estos contaminantes depende del origen del agua, del tipo de yacimiento y de las operaciones de producción.

En algunos casos, estas aguas tienen un bajo contenido en sales disueltas y metales lo que permite su tratamiento y vertimiento en superficie cumpliendo con la normativa ambiental vigente. Sin embargo esta situación rara vez se presenta y la sola remoción del aceite y los sólidos suspendidos del agua no la califican para su vertido en superficie, por lo que la alternativa de la reinyección es la más favorable desde el punto de vista económico, técnico y ambiental.

El proceso de tratamiento de agua tiene como objetivo principal garantizar que el efluente del sistema cumpla con la calidad requerida para la inyección en los yacimientos. El tratamiento de agua en superficie consta generalmente de separadores agua-aceite-sólidos (separadores API, separadores de placas, celdas de flotación, filtros y lagunas de aireación) los cuales no son suficiente para remover los contaminantes disueltos, para ello

se requieren métodos diferentes como: ósmosis inversa, evaporación, intercambio iónico, y tratamiento químico.

#### **2.4.2.1 Tratamiento químico para el agua de inyección**

Durante el tratamiento de agua, se aplican productos químicos cuya función es producir reacciones, que permitan transformar los contaminantes presentes en el agua en productos, que sean más fáciles de eliminar en los procesos físicos de separación, con el objetivo de disminuir la concentración de sólidos, los problemas de corrosión, emulsiones e incrustaciones y los causados por la presencia de bacterias reductoras de sulfato (**Tebutt T, 1998**).

##### **A.- Surfactante**

Es cualquier sustancia o producto que reduce la tensión interfacial entre dos superficies en contacto. Tiene propiedades para penetrar, aflojar y dispersar depósitos de compuestos parafínicos, asfálticos, y compuestos de hierro. Ha sido diseñado para mejorar la limpieza de los medios filtrantes de los sistemas de filtración.

##### **B.- Secuestrador de oxígeno**

Es un químico el cual secuestra el oxígeno disuelto en agua por una reacción de reducción y de este modo inhibe la corrosión causada por éste.

##### **C.- Polielectrolito**

Es cualquier molécula que presenta varias cargas eléctricas descompensadas. Los polielectrolitos se diferencian de los iones comunes (o

electrolitos) en que presentan simultáneamente ambos signos de carga, positivo y negativo. Estas cargas se encuentran fijas en distintas posiciones moleculares, por lo que no pueden anularse mutuamente.

#### **D.- Coagulante**

Un coagulante es una sustancia que favorece la separación de una fase insoluble en agua por medio de sedimentación. El coagulante es un compuesto químico que inestabiliza la materia suspendida en forma coloidal, a través de la alteración de la capa iónica cargada eléctricamente que rodea a las partículas coloidales formando hidróxidos complejos. Los coagulantes típicos son sales de hierro y aluminio.

#### **E.- Biocida**

Los biocidas pueden ser sustancias químicas sintéticas, naturales o de origen biológico o de origen físico y están destinados a destruir, contrarrestar, neutralizar, impedir la acción o ejercer un control de otro tipo sobre cualquier microorganismo considerado nocivo para el hombre. Estos actúan a nivel de la membrana celular del microorganismo, penetrándola y destruyendo los sistemas que le permiten vivir.

### **2.5 Proceso de filtración como método para el tratamiento del agua**

La filtración es la separación de una mezcla de sólidos y fluidos que incluye el paso de la mayor parte del fluido a través de un medio poroso, que retiene la mayor parte de las partículas sólidas contenidas en la mezcla **(Treybal R, 1997)**.

La variedad de tipos de medios porosos utilizados como medios filtrantes es muy diversa, en forma de telas y fibras tejidas, fieltros y fibras no tejidas, sólidos porosos o perforados, membranas poliméricas o sólidos particulados, a lo que se suma la gran variedad de materiales: fibras naturales, fibras sintéticas, materiales metálicos, materiales cerámicos y polímeros.

El sistema de filtración va desde un simple colado hasta separaciones altamente complejas. El fluido puede ser un líquido o un gas; las partículas sólidas pueden ser gruesas o finas, rígidas o plásticas, redondas o alargadas, individuales separadas o agregados. La suspensión de alimentación puede llevar una fracción elevada o muy baja de sólidos.

En algunos casos, la separación de las fases debe ser prácticamente completa, en otros se desea una separación parcial, por lo que se han desarrollado numerosos filtros para las diferentes situaciones, como por ejemplo:

Los filtros de cáscara de nuez son filtros de flujo descendente con capa profunda, que emplean cáscaras de nuez como medio filtrante, diseñados para filtración de agua producida. A medida que el líquido pasa por la capa con el medio filtrante, el aceite y los sólidos son retenidos eficientemente en la capa, y pueden ser fácilmente lavados del mismo contraflujo mediante el sistema de limpieza patentado. Cuenta con una amplia variedad de aplicaciones como en aguas de proceso e industriales, generación de energía, filtración de aguas municipales, instalaciones químicas y petroquímicas, y aguas de campos petrolíferos. Se utiliza agua de alimentación para el lavado por contraflujo. El ciclo de lavado del medio

filtrante evita que se ensucie la capa filtrante. Sus costos de operación, mantenimiento y tiempos de paradas son reducidos.

Los filtros multilecho remueven sólidos en suspensión presentes en el agua, tales como: barro, arena, arcilla, etc. Hasta 30 micras de tamaño. Estos fueron desarrollados para resolver los importantes problemas que se observaban en el funcionamiento de filtros monocapa, en un intento de mantener en la superficie del filtro un material de mayor talla efectiva y de conseguir un menor porcentaje de sólidos en suspensión llegara hasta el material filtrante de talla efectiva inferior, donde el filtro efectúa su capacidad de afino del filtrado. Los filtros multilecho poseen de 4 a 5 capas de material filtrante de diferente densidad y granulometría que van deteniendo las partículas de mayor tamaño en las capas superiores y las más pequeñas son detenidas en las siguientes capas.

### **2.5.1 Clasificación de los procesos de filtración**

El patrón de clasificación de los procesos de filtración es diverso, y según obras de referencia, se puede realizar en función de los siguientes criterios:

- el mecanismo de filtración
- la naturaleza de la mezcla
- la meta del proceso
- el ciclo operacional
- la fuerza impulsora

## **2.5.2 Efectos prácticos de las variables de filtración**

### **2.5.2.1 Presión**

En la mayoría de los casos, la compresibilidad de la torta de filtración se encuentra entre valores de 0,1 y 0,8 de manera que la mayor parte de la pérdida de carga del fluido es consecuencia del medio filtrante. En general, si el aumento de presión conlleva un aumento significativo del caudal o velocidad de filtración, es un indicio de la formación de una torta granulada. En cambio, para las tortas espesas o muy finas, un aumento de la presión de bombeo no resulta en un aumento significativo del caudal de filtrado

### **2.5.2.2 Torta de filtración**

Considerando aparte las características del medio filtrante, el caudal promedio es inversamente proporcional a la cantidad de la torta y directamente proporcional al cuadrado del área filtrante. Como resultado de estas dos variables conjuntas, para una misma cantidad de fluido a filtrar se observará que su caudal es inversamente proporcional al cuadrado del espesor de la torta al final del proceso. Esta observación conlleva que la máxima productividad se alcanza teóricamente con aquellas tortas de espesor muy fino cuya resistencia supera a la del medio mismo filtrante. Sin embargo, otros factores como el tiempo para regenerar la torta, su dificultad de descarga y el coste de una superficie filtrante más amplia explica que en la práctica se prefiera trabajar en condiciones de tortas espesas.

### **2.5.2.3 Viscosidad y temperatura**

El efecto de la viscosidad es como lo indican las ecuaciones de velocidad; la velocidad de flujo de filtrado en cualquier instante es

inversamente proporcional a viscosidad de filtrado. El efecto de la temperatura sobre la velocidad de filtración de sólidos incompresibles es evidente, sobre todo, mediante su efecto sobre la viscosidad.

#### **2.5.2.4 Tamaño de partículas y concentración**

El efecto del tamaño de las partículas sobre la resistencia de la torta y la tela es muy notable. Afectan al coeficiente en la ecuación para la resistencia de la torta, y los cambios mayores afectan la compresibilidad

#### **2.5.3 Medios filtrantes**

El medio filtrante es el elemento fundamental para la práctica de la filtración y su elección es habitualmente la consideración más importante para garantizar el funcionamiento del proceso.

En general, entre los principales criterios de selección del material de medio filtrante se pueden destacar:

- compatibilidad y resistencia química con la mezcla
- permeabilidad al fluido y resistencia a las presiones de filtración
- capacidad en la retención de sólidos
- adaptación al equipo de filtración y mantenimiento
- relación vida útil y coste

#### **2.5.4 Materiales de precapa, auxiliares de filtración**

Estas son sustancias granuladas o fibrosas que permiten la formación sobre el medio filtrante de una torta prefiltrante adicional de mayor

permeabilidad y mayor profundidad, donde quedan retenidas las fases heterogéneas en forma de flóculos deformables o pastas de mayor viscosidad y contenido en sólidos finos. Ejemplos de sustancias frecuentemente empleadas para la ayuda de filtración son:

- tierras de diatomeas, diatomita o tierras diatomáceas (sílice de alta pureza)
- perlita o lava expandida (silicato alcalino de aluminio)
- fibras de celulosa o pulpa de madera molida
- tierras de Kieselguhr
- yeso
- carbón activado

### **2.5.5 Criterios de selección de equipos de filtración**

La selección de un equipo de filtración en general requiere un estudio de las especificaciones y objetivos del proceso junto con una evaluación de la capacidad y características del equipo de filtración en las que las consideraciones sobre el medio filtrante son importantes.

Los factores a considerar relativos del proceso que suelen citarse son:

- características fluidomecánicas y fisicoquímicas de la corriente de fluido a tratar o lechada
- capacidad de producción
- condiciones del proceso
- parámetros de funcionamiento
- materiales de construcción

Por su parte, los criterios del equipo de filtración a estudiar suelen ser:

- tipo de ciclo: continuo o por lotes
- fuerza de impulsión
- caudales admisibles
- calidad de la separación
- fiabilidad y mantenimiento
- materiales de construcción y dimensiones
- costo

## **2.6 Aguas residuales**

Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Éstas pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas (por ejemplo: tanques sépticos u otros medios de depuración) o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías - y eventualmente bombas - a una planta de tratamiento municipal. Los esfuerzos para coleccionar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujetas a regulaciones y estándares locales, estatales y federales (regulaciones y controles). A menudo ciertos recursos industriales de aguas residuales requieren procesos de tratamiento especializado. **(Kemmer, 1989)**.

### **2.6.1 Clasificación de las aguas residuales**

Las aguas residuales se clasifican en:

#### **- Agua residual doméstica**

Las aguas residuales domésticas son aquellas que habiéndose aprovechado para varios usos, no han sido purificadas y están constituidas

principalmente por líquidos y desechos provenientes de casas de habitación y edificios comerciales; es decir, son resultantes de las actividades propias del hombre, y se conoce comúnmente como aguas negras.

#### **- Agua residual industrial**

Las aguas residuales industriales son las que han tenido algún uso en las plantas de procesos industriales, bien que formen parte de un residuo propiamente dicho, que ha sido utilizada para lavado e inclusive que haya sido utilizada como refrigerante únicamente

### **2.6.2 Etapas del tratamiento del agua residual**

El proceso de tratamiento del agua residual se puede dividir en cuatro etapas: pre tratamiento, primaria, secundaria y terciaria. Algunos autores llaman a las etapas preliminar y primaria unidas como etapa primaria.

#### **2.6.2.1 Etapa preliminar**

La etapa preliminar debe cumplir dos funciones:

1. medir y regular el caudal de agua que ingresa a la planta
2. extraer los sólidos flotantes grandes y la arena (a veces, también la grasa)

En esta etapa también se puede realizar la preaireación, cuyas funciones son:

- a) eliminar los compuestos volátiles presentes en el agua servida, que se caracterizan por ser malolientes

- b) aumentar el contenido de oxígeno del agua, lo que ayuda a la disminución de la producción de malos olores en las etapas siguientes del proceso de tratamiento

#### **2.6.2.2. Etapa primaria**

Tiene como objetivo eliminar los sólidos en suspensión por medio de un proceso de sedimentación simple por gravedad o asistida por coagulantes y floculantes. Así, para completar este proceso se pueden agregar compuestos químicos (sales de hierro, aluminio y polielectrolitos floculantes) con el objeto de precipitar el fósforo, los sólidos en suspensión muy finos o aquellos en estado de coloide.

#### **2.6.2.3 Etapa secundaria**

Tiene como objetivo eliminar la materia orgánica en disolución y en estado coloidal mediante un proceso de oxidación de naturaleza biológica seguido de sedimentación. Este proceso biológico es un proceso natural controlado en el cual participan los microorganismos presentes en el agua residual, y que se desarrollan en un reactor o cuba de aireación, más los que se desarrollan, en menor medida en el decantador secundario.

#### **2.6.2.4 Etapa terciaria**

Tiene como objetivo suprimir algunos contaminantes específicos presentes en el agua residual tales como los fosfatos que provienen del uso de detergentes domésticos e industriales y cuya descarga en curso de agua favorece la eutrofización, un desarrollo incontrolado y acelerado de la

vegetación acuática que agota el oxígeno, y mata la fauna existente en la zona.

## **2.7 Parámetros más utilizados en la calidad del agua**

Una de las clasificaciones 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 pueden dividir en **(Kemmer, 1989)**:

### **2.7.1 Parámetros de carácter físico**

- Características organolépticas
- Turbidez y sólidos en suspensión
- Temperatura
- Conductividad

### **2.7.2 Parámetros de carácter químico**

- salinidad y dureza
- pH
- oxígeno disuelto
- sustancias de carácter orgánico (materia orgánica)
- sustancias de carácter inorgánico

### **2.7.3 Parámetros de carácter microbiológico**

- bacterias indicadoras
- microorganismos patógenos

## **2.8 Descripción del proceso de la planta de inyección de agua para recuperación secundaria de oriente “RESOR”**

El sistema de producción está conformado por 28 pozos productores subdivididos en 6 módulos de producción. Cada pozo productor de agua posee en el fondo una bomba electrosumergible, seguida de los equipos de superficie que controlan el flujo de producción; todos conectados a las líneas de 8” de diámetro que dirigen el agua hasta el múltiple de entrada de la planta desde donde se distribuye al sistema de desgasificación.

Los fluidos (gas + agua) provenientes de los pozos productores, son enviados a dos tanques separadores (TK-1080/TK-1881) llamados tanques de desgasificación (figura 2.4), los cuales, están conectados en paralelo por medio de una línea de igualación. Cada tanque es alimentado por el tope a través de un sistema de dispersión, el cual es usado para facilitar la separación del gas contenido en el agua. Este proceso se basa en el principio de separación (gas-líquido) por equilibrio de fases, bajo la influencia de la fuerza de gravedad y la diferencia de densidad entre el gas y el agua. Adicionalmente el fluido contenido en el tanque permanece durante un tiempo de dos horas antes de ser bombeado a la planta de tratamiento de agua, para garantizar la separación completa del gas.**(Gerencia de SHAC, 2002).**

Después de cumplido el tiempo de residencia del agua en los tanques de desgasificación, mostrado en la figura 2.4, esta es enviada mediante bombas al sistema de filtración de agua, para evitar taponamiento de la formación inyectora y la pérdida de inyectividad. El sistema de filtros primarios está formado por recipientes horizontales provistos de doble lecho de antracita-granate. En operación normal los filtros reciben el agua

desgasificada proveniente de las bombas P-1084 a P-1088 a través de una línea de 24" de diámetro que termina en un cabezal del mismo diámetro. Del cabezal de succión de los filtros salen líneas independientes de diámetro de 12", para alimentar cinco unidades S-1099 al S-1105 por su parte superior.

Uno de los parámetros más importantes para establecer la calidad del agua que se va a inyectar, es el contenido y tamaño de sólidos suspendidos, los cuales deben tener una concentración máxima de 0,5 ppm de sólidos totales. En esta etapa se retiran parcialmente los sólidos suspendidos mayores de 2 micrones.

Posteriormente, el agua se distribuye a los tanques de agua tratada. El agua tratada que sale de la planta de tratamiento se recolecta en dos tanques atmosféricos con sello a gas, desde donde succionan las bombas de refuerzo de las turbo bombas.



**Figura 2.4 Tanques de desgasificación de la planta RESOR**

### **2.9 Breve descripción del proceso de tratamiento SAEN**

La planta SAEN tiene como objetivo principal el tratamiento físico, químico mediante la aplicación de productos coagulante y floculantes de las aguas efluentes de diferentes procesos en el complejo Jusepín que luego mezclada con el agua de la planta RESOR, es inyectada en los yacimientos; Naricual, Cretáceo y Jusepín ( convenios con terceros-TOGV) y permitan mantener la presión y aumentar el factor de recobro del mismo.

Esta planta trata el agua proveniente de:

- Planta de deshidratación de crudo complejo jusepin
- Fosa 24000 Bls (aguas de: lluvias, de proceso, etc.)
- Planta de extracción Jusepín

- Planta compresora fosa 9 y deparador trifásico Wilpro
- Planta 15000 Bls (retrolavados del proceso SAEN)
- Drenajes de patio de tanques Jusepín
- Aguas de lluvias

La capacidad de la planta es 120 MBIs/d, distribuidos en Trenes: I (55 MBIs/d) y II (67 MBIs/d). Actualmente dos filtros del tren II se encuentran en mantenimiento. Los efluentes ingresan a la fosa L-1000 A/B, se estabilizan y a través de un sistema desnatador, envía el crudo hacia deshidratación (primero pasa por un tanque en la fosa 15000 Bls, TQ-1501 y luego al TQ-3501 para luego mediante 2 bombas enviar el crudo hacia deshidratación Furrial con el objeto de recuperarlo).

Una vez el agua bombeada desde la fosa L-1000 A/B (a la salida de las bombas de envío del agua hacia los filtros hay unos filtros en “Y” que retiene partículas de mayor tamaño y evitar pasen a los trenes de filtración) hacia los trenes de filtración se inicia el proceso de acondicionamiento del agua cruda con químicos y por filtración para conseguir las características requeridas para el agua de salida que es transferida hacia planta RESOR.

El agua ingresa a los filtros coalescedores por la parte inferior (se reparte equitativamente el flujo entre tres unidades, ya que una siempre estará disponible o en lavado) pasando por lechos de grava y arena con el objeto de que el filtro retenga las partículas más grandes, existe una válvula de desalojo de crudo, la cual abre 1 minuto cada 3 horas, el crudo es enviado a los TQ-1501 y TQ-3501 de planta 15000. A la salida de los coalescedores el agua debe tener las siguientes especificaciones:

- Crudo: 20 ppm
- Turbidez: 20 NTU

- SST: 20 ppm

Luego, ingresa a los filtros pulidores por la parte superior pasando por los lechos de grava y arena, repartiéndose equitativamente el flujo entre cuatro equipos, ya que uno estará en espera o en lavado, el agua a la salida de los pulidores debe cumplir con estas especificaciones:

- Crudo: 5 ppm
- Turbidez: 5 NTU
- SST: 0.5 ppm

Para la transferencia de las aguas procesadas a RESOR se debe cumplir con las especificaciones antes descritas, ya que de lo contrario se colocará la planta en recirculación, dada las condiciones de los yacimientos.

## 2.10. Eficiencia

La eficiencia de un sistema se determina sobre la base porcentual de remoción de constituyentes no deseados presentes en el agua, según la ecuación **(Himmelblau D, 1997)** :

$$\% E = \frac{P_E - P_S}{P_E} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 2.1})$$

donde:

$E$ : porcentaje de eficiencia de remoción.

$P_E$ : concentración del parámetro de entrada (mg/l).

$P_S$ : concentración del parámetro de salida (mg/l).

## **2.11 Conocimientos básicos para el cálculo de la incertidumbre**

El mensurando es el objetivo de medición. No se puede aspirar a una medición confiable si no se conoce de antemano que es lo que se va a medir. La definición del mensurando depende del grado de exactitud a la que se aspira (**Fondonorma GUM, 2000**).

### **2.11.1 Incertidumbre**

Es el parámetro asociado al resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores que razonablemente pudiera ser atribuida al mensurando (**NACE, 2005**).

El parámetro puede ser la mitad de un ancho de intervalo con un nivel de confianza establecido.

### **2.11.2 Tipos de incertidumbre**

#### **- Incertidumbre estándar**

Incertidumbre del resultado de una medición expresado como una desviación estándar.

A su vez la incertidumbre estándar se divide en 2 tipos:

#### **- Incertidumbre tipo A**

Procedente de magnitudes cuyos valores e incertidumbres son determinados en el proceso de medición. Basadas en distribuciones de

probabilidades normal y calculadas a través de la desviación estándar de la media.

### **- Incertidumbre tipo B**

Procedente de magnitudes cuyos valores e incertidumbres son incorporados por otras fuentes:

- Datos anteriores, norma o literatura
- Experiencia y manuales
- Certificado de calibraciones

### **- Incertidumbre estándar combinada**

Incertidumbre estándar del resultado de una medición cuando el resultado se obtiene a partir de los valores de algunas otras magnitudes, igual a la raíz cuadrada positiva de una suma de términos, siendo estos términos las varianzas y covarianzas de estas otras magnitudes ponderadas, de acuerdo a como el resultado de la medición varía, con respecto a cambios en estas magnitudes. Se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$U_C = \sqrt{(U_{y_1})^2 + (U_{y_2})^2 + \dots + (U_{y_n})^2} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

### **- Incertidumbre expandida**

Magnitud que define un intervalo alrededor de una medición del que se pueda esperar que abarque una fracción grande de la distribución de valores que, razonablemente puedan ser atribuidos al mensurando. Su ecuación es:

$$U_{\text{exp}} = k \cdot U_c \quad (\text{Ec. 2.3})$$

donde:

(k): es el llamado factor de cobertura (k), el cual es el número por el cual se multiplica la incertidumbre estándar para alcanzar el nivel de confiabilidad requerido.

(U<sub>c</sub>): Incertidumbre combinada

## 2.12 Fuentes posibles de la incertidumbre en una medición

- a. Definición incompleta del mensurando o cantidad a medir
- b. Realización imperfecta de la definición del mensurando
- c. Muestreo no representativo
- d. Efectos de condiciones ambientales no conocidas, o mediciones inadecuadas
- e. Lecturas inadecuadas de instrumentos
- f. Resolución finita, umbral de discriminación
- g. Comportamiento inadecuado del equipo de medición
- h. Valores inexactos de patrones y materiales de referencia
- i. Valores inexactos de constantes físicas, algoritmo de procesamientos de datos
- j. Aproximaciones y suposiciones utilizadas en el procedimiento de medición

## 2.13 Determinación de parámetros relevantes en el cálculo de incertidumbre

### 2.13.1 Presupuesto de incertidumbre

Es una tabla de datos donde se describen las magnitudes de entrada, su variabilidad, el tipo de incertidumbre, la función de densidad de

probabilidades, los coeficientes de sensibilidad, el impacto porcentual, el valor del mensurando y la incertidumbre expandida.

**Tabla 2.1 Esquema general de un presupuesto de incertidumbre**

<b>Magnitud entrada</b>	<b>Variabilidad</b>	<b>Tipo Distribución</b>	<b>Us</b>	<b>Cs</b>	<b>Uyi (UsxCs)</b>	<b>(Uyi/Uc)<sup>2</sup> Impacto</b>	<b>Uc, ±</b>	<b>Uexp,± K=2</b>

Donde:

Us: incertidumbre estándar

Cs: coeficiente de sensibilidad

Uc: incertidumbre combinada

Uexp: Incertidumbre expandida

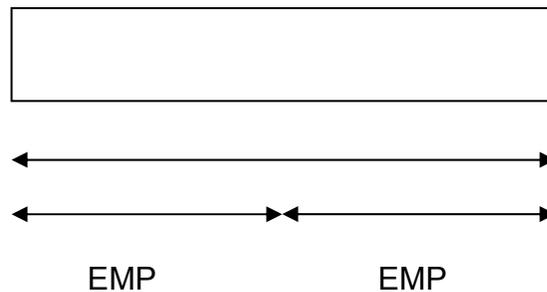
### **2.13.2 Magnitud de entrada**

Son las variables asociadas a las variaciones en observaciones repetidas que pueden afectar el resultado de la medición y no se mantienen completamente constantes. Su variabilidad viene dada por el ancho de la función de distribución de probabilidades asumida para dicha magnitud.

#### **2.13.2.1 Variabilidad de las magnitudes de entrada**

Las variabilidades de las magnitudes de entrada vienen dadas por el ancho de la función de distribución de probabilidades asumida por la magnitud de entrada.

Ej.: para el error máximo permisible de un instrumento el ancho de la distribución de probabilidades si se asume rectangular es de  $2\text{EMP}$ , ya que los errores máximos permisibles vienen dados por  $\pm \text{EMP}$ .



Si una balanza tiene un EMP de  $\pm 2$  g el ancho de la distribución es 4g.

El cálculo de la incertidumbre estándar tipo B se estima a partir de la desviación estándar de la función de probabilidades.

### 2.13.3 Distribución de probabilidades

Las distribuciones aplicadas en el cálculo de la incertidumbre fueron:

#### 2.13.3.1 Distribución rectangular

Dada por la ecuación:  $U(x_i) = \frac{a / 2}{\sqrt{3}}$  (Ec. 2.4)

Donde:  $a/2$  es el semi- ancho del intervalo

#### 2.13.3.2 Distribución triangular

$$\frac{a / 2}{\sqrt{6}} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

### 2.13.3.3 Distribución normal

$$U(x_i) = \frac{U}{k} \quad (\text{Ec.2.6})$$

Donde k es el factor de cobertura, que para uso de laboratorios según la GUM (guía para la expresión de la incertidumbre en mediciones) es igual a 2 con un nivel de confianza de 95.45%.

### 2.13.4 Coeficiente de sensibilidad

Descripción de lo sensible que es el mensurando con respecto a una magnitud de entrada.

### 2.13.5 Repetibilidad

Proximidad de la concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando, las mediciones realizadas deben cumplir con la aplicación de la totalidad de las siguientes condiciones **(NACE, 2005)**:

- Mismo procedimiento de medición
- Mismo observador
- Mismo instrumento de medición utilizado bajo las mismas condiciones
- Mismo lugar
- La repetición dentro de un período corto de tiempo

### 2.13.6 Reproducibilidad

Proximidad de la concordancia entre los resultados de las mediciones del mismo mensurando, con las mediciones realizadas haciendo variar las condiciones de medición.

### 2.13.7 Calibración

La magnitud de entrada de calibración está relacionada con la calibración del instrumento, esta información se obtiene del certificado de calibración en la columna declarada como  $U_{exp}$ . Todos los certificados de calibración de laboratorios competentes tienen una  $U_{exp}$  con factor de cobertura de  $K=2$  ya que el nivel de confianza es del 95,45% (valor establecido por la GUM 3631:2000)

### 2.13.8 Criterios para la determinación de la corrección

#### 2.13.8.1 Criterio 1: aproximación

Si se necesita conocer el verdadero valor de la corrección y la incertidumbre correspondiente a un punto, en la vecindad de otro, en un certificado de calibración se toman los valores por aproximación.

Ej:

**Tabla 2.2 Ejemplo para ubicar verdadero valor de corrección en certificado de calibración**

<b>Lectura Instr. (°C)</b>	<b>Lectura Patrón (°C)</b>	<b>Error</b>	<b><math>U_{exp}</math> (k = 2)</b>
<b>20</b>	<b>20,1</b>	<b>-0,1</b>	<b>0,12</b>
<b>31</b>	<b>30</b>	<b>1</b>	<b>0,14</b>

Si se desea determinar la incertidumbre (U) y corrección para 20,2 °C el valor más cercano es el de 20°C, por lo tanto: corrección = -error = 0,1 y la incertidumbre expandida (Uexp) = 0,12.

### 2.13.8.2 Criterio 2: valores intermedios

Si se necesita saber el valor de la corrección y la incertidumbre correspondiente a un punto intermedio en un certificado de calibración se aplica la ecuación de la recta y de esa manera se obtiene la corrección. Para hallar la incertidumbre se selecciona la mayor de las dos incertidumbres del intervalo donde se encuentra el punto intermedio.

$$m = (C_1 - C_0) / (P_1 - P_0) \quad (\text{Ec. 2.7})$$

donde:

m: pendiente de la recta

$C_1, C_0$  : son las correcciones de los puntos del intervalo que contiene el punto intermedio.

$P_1, P_0$ : puntos del intervalo que contiene el punto intermedio

Una vez hallada la pendiente de la recta (m), se halla el valor de la corrección, a través de la siguiente ecuación:

$$C = m \times (P - P_0) + C_0 \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde:

C: valor de la corrección

m: pendiente de la recta

P: punto intermedio

#### **2.14 Trazabilidad de las mediciones en la incertidumbre**

Todos los equipos utilizados para los ensayos, incluido los equipos para mediciones auxiliares (por ejemplo, de las condiciones ambientales) que tengan un efecto significativo en la exactitud o en la validez del resultado del ensayo, deben ser calibrados antes de ser puesto en servicio. El laboratorio debe establecer un programa y un procedimiento para la calibración de sus equipos.

Es conveniente que dicho programa incluya un sistema para seleccionar, utilizar, verificar, controlar y mantener los patrones de medición, los materiales de referencia utilizados como patrones de medición, y los equipos de ensayo y de medición utilizados para realizar los ensayos y calibraciones.

Los equipos del laboratorio de tratamiento químico de la planta RESOR cuentan con sus respectivos certificados de calibración avalados por un laboratorio central de calibraciones llamado R.C.J Services C.A, el cual está acreditado por la norma ISO 17025:2005. Dichos certificados se aplicaron en la toma de datos para el cálculo de la incertidumbre en los ensayos de turbidez y sólidos suspendidos totales (**Wolfgang A, 2000**).

## CAPITULO 3

### DESARROLLO DEL PROYECTO

#### **3.1 Porcentaje de disminución de turbidez y remoción de sólidos como parámetro que califica el funcionamiento de los trenes de filtración de las plantas SAEN Y RESOR, basándose en resultados de laboratorio**

Las plantas SAEN y RESOR están diseñadas principalmente para la remoción de residuos presentes en el agua, por tal motivo se determinó la eficiencia de los trenes de filtración de dichas plantas, que forman el sistema sobre la base porcentual de remoción de estos parámetros exclusivamente, para encontrar la concentración de sólidos presente en el agua.

Se utilizó como base, los datos generados en el laboratorio de tratamiento químico de la planta RESOR, desde mayo del 2008 hasta diciembre del 2009, recolectados desde los puntos establecidos de control o muestreo.

Tomando esto en consideración la eficiencia de los equipos se calculó con la ecuación (3.1) **(Himmelblau D, 1997)**:

$$\% E = \frac{P_e - P_f}{P_e} \times 100 \quad (\text{EC 3.1})$$

Donde:

E: porcentaje de eficiencia

Pe: concentración del agua de entrada (mg/l)

Pf: concentración del agua de salida (mg/l)

### - Muestra de cálculo

Para el cálculo de porcentaje de eficiencia en disminución de turbidez, se consideraron los puntos de entrada y de salida del sistema de filtración de planta RESOR, con un valor de turbidez en la entrada de 0,45 NTU y a la salida 0,3 NTU, respectivos al mes de mayo del año 2008. Estos valores se encuentran en la tabla A.1. Sustituyendo en la Ec. 3.1.

$$\% E = \frac{(0,45-0,3) \text{ NTU}}{0,45 \text{ NTU}} \times 100 = 33,33\%$$

Para la muestra de cálculo de porcentaje de remoción de sólidos, se consideraron los puntos ubicados en el tren uno de la planta SAEN, entrada a filtros coalescedores (EFC) con un valor de 26,60 ppm, y el punto de salida de filtros coalescedores (SFC) con un valor de 15,40 ppm, respectivos al mes de mayo de año 2008. Dichos valores se encuentran reflejados en la tabla B.1.

$$\% E = \frac{(26,60 - 15,40) \text{ ppm}}{26,60 \text{ ppm}} \times 100 = 42,11\%$$

Los datos y resultados son mostrados en las tablas de anexos, siendo el anexo A la eficiencia referida a la turbidez en el sistema de filtración de la planta RESOR, y el anexo B la eficiencia referida a la remoción de sólidos en los trenes de filtración de la planta SAEN.

### **3.2 Comparación de los resultados obtenidos con las especificaciones de diseño de cada planta**

Para realizar esta comparación se trabajó en base a las características de diseño del proceso de las plantas SAEN/RESOR, de manera de tener un patrón de funcionamiento adecuado de los equipos de filtración que operan en dicha planta, y verificar si se están cumpliendo estos parámetros. Esto a través del análisis de las condiciones del agua durante el proceso de tratamiento, mediante de la caracterización de la misma, con el propósito de conocer el rendimiento operacional de los trenes de filtración, que conforman estas plantas, respecto a la disminución de turbidez y remoción de sólidos del agua procesada en dichos equipos.

Estas especificaciones son mostradas en la tabla 3.1, de esta manera se observó el rendimiento de los trenes de filtración al momento de realizar esta investigación.

**Tabla 3.1 Especificaciones de diseño de la plantas SAEN-RESOR**

<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Característica de Diseño</b>
<b>Salida de filtros coalescedores</b>	<b>20 NTU</b>
<b>Salida de filtros pulidores</b>	<b>5 NTU</b>
<b>Entrada RESOR</b>	<b>0,5 NTU</b>
<b>Salida RESOR</b>	<b>0,2 NTU</b>

### **3.3 Desarrollo de procedimientos para la estimación de la incertidumbre en la medición de los sólidos suspendidos totales (SST) y turbidez**

Para realizar el desarrollo de estos procedimientos se trabajó en base a los principales ensayos asociados al proceso de filtración de las plantas

SAEN/RESOR, siendo estos la turbidez y sólidos suspendidos totales, primordiales para el reconocimiento de la calidad del agua en tratamiento. Para llevar a cabo estos ensayos, se hizo la captación de muestras durante tres días en los puntos establecidos de control para cada planta.

En la planta SAEN dichos puntos están distribuidos en dos trenes de filtración, donde ambos, cuentan con el mismo punto de entrada, denominado entrada a filtros coalescedores. Los restantes se dividen en: salida de filtros coalescedores y salida de filtros pulidores para cada tren, sumando un total de cinco puntos de muestreo que representan cada etapa del proceso.

A diferencia de la planta SAEN, el proceso en RESOR cuenta con sólo dos puntos de muestreo que caracteriza todo el proceso de dicha planta.

Para la captación, preservación e identificación de muestras se aplicó el método propuesto por la Norma Venezolana COVENIN 270990 “Aguas Naturales, Industriales y Residuales. Procedimientos Para el Muestreo”. (Gerencia de SHAC, 2002)

Se recolectaron un total de siete muestras diarias, durante los tres días de ensayo entre febrero y marzo de 2010. Las muestras fueron captadas en envases plásticos, de dos litros de capacidad, para el análisis de sólidos suspendidos totales. Los envases para la captación de muestras se encontraban limpios y rotulados al momento de realizar las tomas.

Para la variable turbidez, se captaron las muestras en celdas de diez ml, perfectamente limpias y secas, las cuales estaban rotuladas para identificar cada punto de muestreo. Posteriormente se llevó a cabo el análisis

de cada variable en el laboratorio de tratamiento químico de la planta RESOR.

En el cálculo de la incertidumbre se tomaron en cuenta parámetros establecidos por el Centro Nacional de Metrología (CENAM) de México. El cual establece lo siguiente:

**- Calificación de equipos**

Los equipos de medición utilizados contaron con su documentación certificada por un ente acreditado por la norma para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración de manera que estaban definidas las características metrológicas requeridas para obtener mediciones confiables. En este caso los equipos se encontraban debidamente calibrados y certificados por el Laboratorio RJ SERVICES C.A, acreditado por la Norma Venezolana ISO/IEC 17025:2005. Ubicado en la ciudad de Maturín, Edo. Monagas.

**- Competencia técnica del analista**

Se realizó una evaluación a la aptitud técnica del analista donde se observó su desempeño sobre su sesgo, recuperación, repetibilidad, límite de cuantificación y límite de detección.

**- Trazabilidad de la medición**

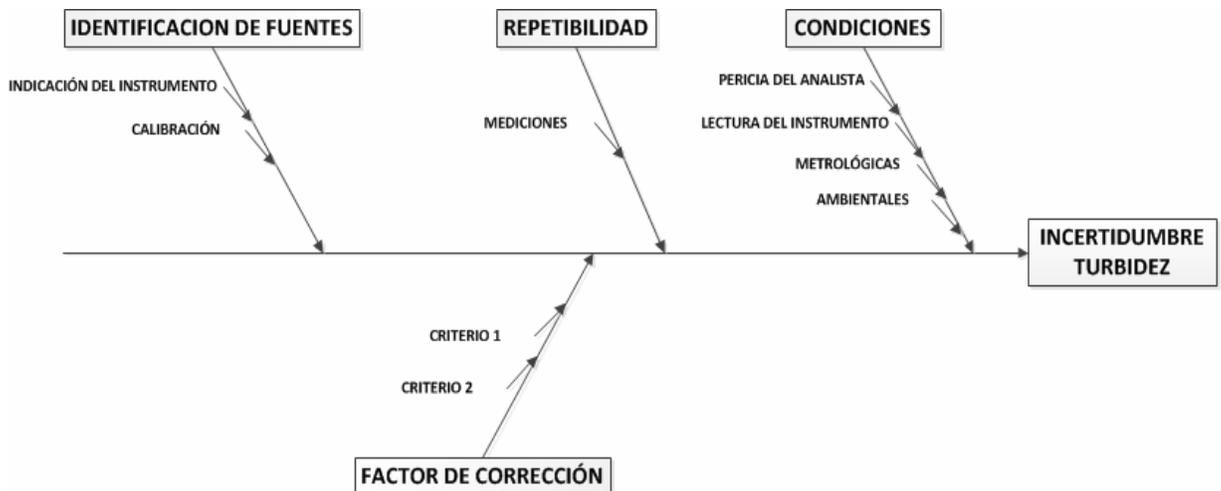
Se refiere a la propiedad del resultado de una medición de tal manera que pueda ser relacionada con referencias determinadas, generalmente

patrones nacionales o internacionales, esto dependiendo del sistema de unidades que se esté usando.

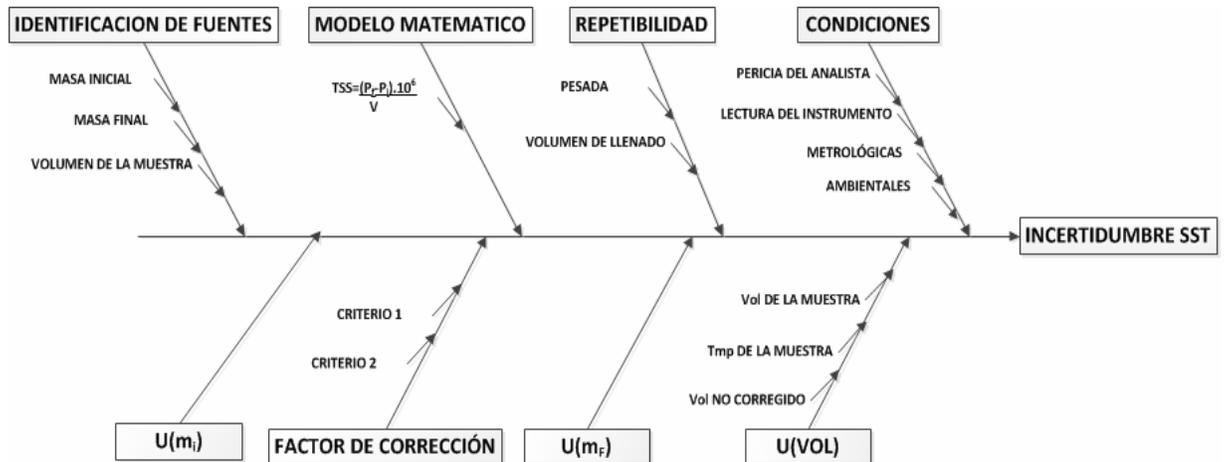
### 3.3.1 Pasos para la determinación de la incertidumbre

Para llevar a cabo los pasos para la expresión de la incertidumbre se tomó como referencia los criterios establecidos en GUM (*guía para la expresión*) en Venezuela fue adaptada bajo el nombre de “Guía Para la Expresión de la Incertidumbre Norma Venezolana COVENIN 3631:2000 (FONDONORMA, 2000)”. Esta guía establece las convenciones, directrices y modelos a emplear en el cálculo de la incertidumbre. La cual establece criterios que permiten obtener incertidumbres coherentes y con correspondencia universal.

Dicha guía establece una serie de pasos, mostrados en la figuras 3.1 y 3.2, para el cálculo de la incertidumbre en turbidez y sólidos suspendidos totales, respectivamente.



**Figura 3.1 Diagrama causa-efecto en el cálculo de la incertidumbre en el ensayo de turbidez**



**Figura 3.2 Figura 3.1 Diagrama causa-efecto en el cálculo de la incertidumbre en el ensayo de turbidez**

### 3.3.2 Equipos, materiales y sustancias

#### 3.3.2.1 Equipos

- Horno, marca Carbolite, modelo CSF-1200, con precisión de  $\pm 5^\circ\text{C}$
- Balanza analítica, marca Denver Instrument Company AA-200, rango de 0-200g
- Desecador
- Turbidímetro, marca HACH, modelo 2.100 P, rango de 0-1000 NTU
- Filtro a presión, marca NALCO con capacidad de 1000 ml
- Estufa de calentamiento marca Fisher Scientific con precisión de  $\pm 5^\circ\text{C}$
- CPU Portátil, Marca, Soneview, Core Dúo N 1410

#### 3.3.2.2 Materiales

- Erlenmeyer de 250 ml

- Beaker de 150, 250 y 600 ml
- Gotero plástico
- Cilindro graduado de 25 y 250 ml
- Soporte universal
- Celdas HACH de 10 ml P/N 24954-02
- Membrana filtrante (Milipore) de 0,45 micrones
- Pinza
- Envases plásticos de 1000 ml y envases de vidrio de 500 ml de capacidad
- Guantes de nitrilo/látex
- Lentes de seguridad
- Pipeta graduada de 1 ml
- Cápsulas de petri
- Filtro milipore

### **3.3.2.3 Sustancias**

- Agua destilada
- Alcohol isopropílico

### **3.3.2.4 Herramientas**

- Microsoft office XP (Word, Excel, PowerPoint)
- Microsoft internet Explorer 8.0

Los equipos, materiales y sustancias se encuentran ubicados y disponibles en la planta Recuperación Secundaria Oriente (RESOR) y en el laboratorio de tratamiento químico, ubicado igualmente en esta planta. Con disponibilidad absoluta.

### **3.3.3 Técnicas utilizadas**

#### **3.3.3.1 Determinación de la turbidez del agua**

Para la determinación de la turbidez se siguió la Norma ASTM D-1899-99 (Gerencia SHAC, 2002):

1. Se encendió el turbidímetro HACH 2100P por lo menos 5 minutos antes del análisis presionando la tecla I/O del equipo.
2. Se tomaron 15 ml aproximadamente de la muestra a analizar en una celda de muestreo limpia y seca.
3. Se secó bien la celda con un paño de terciopelo (o papel suave) para evitar rayas, humedad o huellas digitales de los dedos.
4. Se colocó la celda en el porta celda del equipo y se tapó.
5. Se dio click a la tecla leer (READ) del equipo (en el panel frontal del equipo) y espere unos segundos.
6. Se observó el valor de la turbidez de la muestra directamente en la pantalla del equipo expresado en NTU.
7. Se reportó la turbidez expresada en NTU.

#### **3.3.3.2 Determinación de los sólidos suspendidos totales**

Para la determinación de la concentración de los sólidos suspendidos totales se siguió la Norma COVENIN 2861-877 (Gerencia SHAC, 2002):

1. Se purgó (abrió la válvula de suministro de aire y se dejó pasar aire por unos 5 minutos) la línea de suministro de aire al equipo antes de usarlo.
2. Se verificó la presión de aire de suministro al equipo, la cual debe ser de 20 psi.
3. Cierre la válvula de suministro de aire al filtro.
4. Se pesó cada filtro milipore de 0,45 micrones y se anotó el valor obtenido.

5. Se colocó el filtro, ya pesado, en el equipo (filtro) y ajustando la tapa del mismo.
6. Con el equipo despresurizado se añadió 500 ml de muestra aproximadamente.
7. Se verificó y aseguró que al filtro no le quedaron burbujas de aire.
8. Se completó la cantidad de muestra hasta medir 1000 ml de la misma.
9. Se cerró el equipo colocando el tapón en la parte superior del mismo asegurando que no quedaron fugas de aire.
10. Se abrió la llave de paso de aire hacia el filtro y se filtró entre 100 y 1000 ml de agua contenida en el filtro.
11. Se cerró la válvula de aire de suministro y la llave de paso de aire que va hacia el filtro.
12. Se despresurizó el equipo abriendo cuidadosamente la llave de purga que está en la base superior del filtro y el tapón que se encuentra en la parte superior del recipiente de este.
13. Se destapó el equipo y saque el filtro milipore.
14. Se colocó el filtro sobre un soporte de cartón absorbente y se llevó al horno por espacio de media hora a  $102 \pm 2^\circ\text{C}$  para su secado.
15. Se sacó el papel milipore y se colocó en un secador por espacio de 15 minutos.
16. Se pesó el filtro milipore y anotó su peso.
17. Se calculó la cantidad de sólidos suspendidos totales a través de la formula:

$$SST = \frac{(P_f - P_i)}{V} \cdot 10^6 \quad (\text{Ec. 3.2})$$

\Donde:

SST: sólidos suspendidos totales (mg/L)

$p_f$ : peso final (g)

$p_i$ : peso inicial (g)

V: volumen de la muestra (ml)

### 3.3.4 Muestra de cálculo

#### 3.3.4.1 Cálculo de la incertidumbre en ensayo de sólidos suspendidos totales (SST)

La medición de masa de sólidos suspendidos totales en un volumen de agua, se basa en la filtración de la muestra a través de un filtro poroso con paso de partícula para luego ser secado a una determinada temperatura hasta llevarlo a un peso constante. Para esta muestra de cálculo se tomó como referencia el punto de muestreo, denominado “Entrada a Filtros Coalescedores (EFC)”.

#### - Ecuación en la medición de masa de sólidos suspendidos totales en volumen de agua

La ecuación empleada en la medición de la masa de sólidos suspendidos totales está referido en la ecuación 3.2 (NACE, 2005):

$$TSS = \frac{(P_f - P_i)}{V} \cdot 10^6$$

Donde:

$p_f$ : está referido a la masa del filtro + masa de la capsula de petri + SST

$p_i$ : masa del filtro seco + masa de la capsula de petri

V: volumen de muestra

### - Fuentes de incertidumbre del proceso de medición de SST

Para la identificación de las fuentes de incertidumbre significativas, tabla 3.2, se parte de la ecuación correspondiente correspondiente al proceso de medición, Ec 3.1, así como de aquellas fuentes que no están descritas explícitamente en el modelo y provienen d otras fuentes como certificados, manuales, entre otras. Las fuentes asociadas a este ensayo están expuestas en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2 Fuentes de incertidumbre del proceso de medición de masa de SST**

<b>Pf (masa del filtro + SST)</b>	<b>Pi ( masa del filtro seco)</b>	<b>V, volumen de muestra</b>
- Repetibilidad	- Repetibilidad	- Calibración
- Linealidad	- Linealidad	- Repetibilidad

### - Estimación de la incertidumbre estándar a la masa inicial

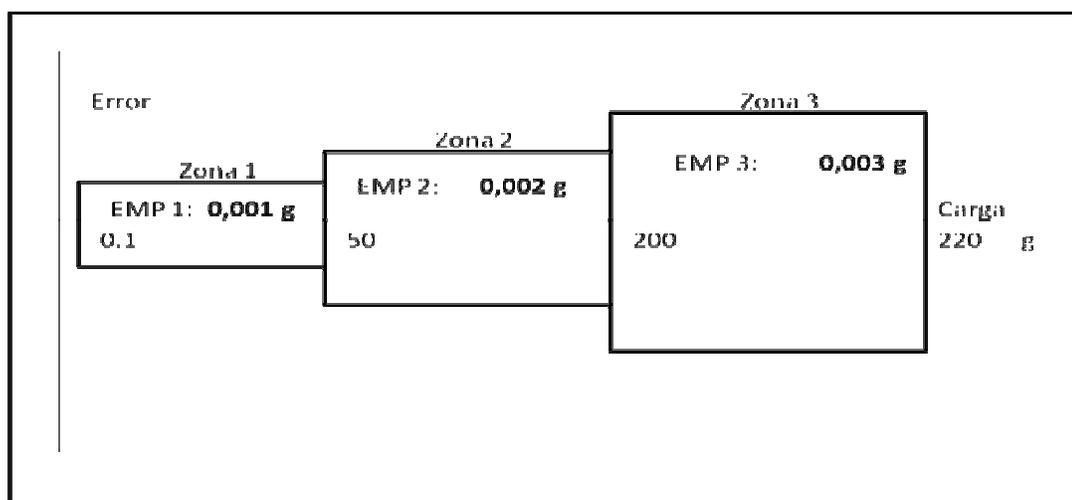
Debido a que se realizó la repetibilidad de la pesada, se consideró los datos de la tabla 3.3.

**Tabla 3.3 Repetibilidad inicial de la masa de capsula de petri + filtro ( $m_i$ ).**

	EFC		
	1	2	3
<b>Masa inicial, <math>m_i</math> (g)</b> <b>(cápsula + filtro)</b>	8,5209	8,5217	8,4548
	8,5209	8,5218	8,4547
	8,5210	8,5218	8,4548
<b>Promedio <math>M_i</math></b>	8,5209	8,5218	8,4548
<b>Desviación x rept, <math>M_i</math></b>	0,0000577	0,0000577	0,0000577

**- Clasificación de la balanza**

Según la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), de acuerdo a lo establecido en la recomendación internacional R76 de la OIML y datos metrológicos el instrumento se pudo inferir que la balanza pertenece a la Clase I de Exactitud Especial y que dispone de las siguientes zonas de pesaje con los correspondientes errores máximos permitidos, mostrado en la figura 3.2, cuyo certificado de calibración se encuentra ubicado en el anexo C, figura C.2 . (NACE 2005)



**Figura 3.3 Error máximo permisible en función de la carga.**

En la tabla 3.4 se muestran los datos obtenidos del certificado de calibración de la balanza analítica. Dichos datos fueron tomados como base para el cálculo del factor de corrección, valor indispensable para completar los cálculos que facilitan llenar el presupuesto de incertidumbre

**Tabla 3.4 Datos del certificado de calibración de la balanza.**

N°	Lect balanza	Masa conv	Unidad (SI)	Error	Zona pesaj	EMP	U exp	U exp + Error	Conformidad
1	5,0001	4,99993	g	0,00017	1	0,0010	0,00017	0,00034	conforme
2	10,0000	9,99995	g	0,00005	1	0,0010	0,00017	0,00023	conforme
3	20,0001	20,00007	g	0,00003	1	0,0010	0,00019	0,00022	conforme
4	40,000	40,00014	g	0,00014	1	0,0010	0,00029	0,00043	conforme
5	49,999	49,99961	g	0,00029	1	0,0010	0,00021	0,00050	conforme

#### - Cálculo del factor de corrección

La lectura del instrumento más la promediación de la repetición de la pesada, se tiene que el valor es 8,5209 g, el cual indicó que se trabajaría en la zona 1 de la balanza, que tiene un rango de 0,1 a 50 g y una resolución de 0,0001. Luego se buscó en la tabla 3.4 el intervalo donde se ubica el valor indicado por el instrumento.

**Tabla 3.5 Datos tomados del certificado de calibración de la balanza.**

<b>Lectura del instrumento (g)</b>	<b>Lectura masa conv. (g)</b>	<b>Error (g)</b>	<b>Uexp (K=2)</b>
5,0001	4,99993	0,00017	0,00017
10,0000	9,99995	0,0005	0.00017

De acuerdo a lo observado en la sección 2.16.2, se aplicó el criterio de los valores intermedios, se ubicó el intervalo donde se encuentra el valor leído por el instrumento. Se utilizó la ecuación 2.7, de la pendiente de la recta y así se obtuvo el factor de corrección:

$$m = (C_1 - C_0) / (P_1 - P_0) = (0,0005 - 0,00017) / (10,0000 - 5,0001) = -0,000024 \text{ g}$$

Sustituyendo m en la ecuación 2.8:

$$C = m \times (P - P_0) + C_0 = -0,000024 \times (8,5209 - 5,0001) + 0,00017 = -8,7969 \text{ E-05 g}$$

Ya con el factor de corrección calculado se procedió a llenar el presupuesto de incertidumbre, el cual en la determinación de masa está estructurado de la manera mostrada en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6 Ejemplo de presupuesto de incertidumbre para medición de masa.**

N°	Mag Entr	Valor Est	Variabild	Tipo Dist	Us	Cs	Uyi	(Uyi/Uc) <sup>2</sup>	Uexp
1	Ind Masa	<Ind>	R	Rectangular	$(R/\sqrt{12})$	1	$(UsxCs)$		
2	Correc calibración	C	Uexp	Normal	$Uexp/k$	1	$(UsxCs)$		
3	Repetibild	0	S	Normal	$S/\sqrt{n}$	1	$(UsxCs)$		

Donde:

R: resolución del instrumento

C: corrección

S: desviación estándar

Uexp: incertidumbre expandida

Us: incertidumbre estándar

Cs: coeficiente de sensibilidad

**Tabla 3.7 Presupuesto de incertidumbre para masa inicial.**

Mag Entr	Valor Est	Variabild	Tipo Dist	Us	Cs	Uyi	(Uyi/Uc) <sup>2</sup>	Uc	Uexp
Ind Masa	8,5209	0,0001	Rectangular	0,0000289	1	0,0000289	0,0908816	0,0000958	0,00019
Correc calibración	-8,79E-05	0,00017	Normal	0,0000850	1	0,0000850	0,7879430	0,0000958	0,00019
Repetibild	0	0,00006	Normal	0,0000333	1	0,0000333	0,1211754	0,0000958	0,00019

Se obtuvo como resultado de la incertidumbre que:

Masa inicial =  $(8,52085 \pm 0,00019)$  g para un 95,45% de confiabilidad

**- Cálculo de incertidumbre de la masa final**

Debido a que se realizó la repetibilidad de la pesada, se consideran los datos de la tabla 3.8:

**Tabla 3.8 Repetibilidad de la masa de capsula de petri + filtro + SST.**

<b>Masa final, <math>m_f</math> (g) (cápsula+filtro+sólidos)</b>	8,5245
	8,5246
	8,5245
<b>Media, <math>m_f</math></b>	8,5245
<b>Desviación estándar, <math>m_i</math></b>	0,0000577
<b>Media volumen filtrado (ml)</b>	102

Se siguió el mismo procedimiento anterior, con el valor indicado por el instrumento luego de haber realizado la filtración de la muestra, el cual es 8,52453 g. Se obtuvo un valor de corrección igual a -0,0000855. Se sustituyó este valor en el presupuesto de incertidumbre, obteniéndose los datos restantes expuestos en la tabla 3.9:

**Tabla 3.9 Presupuesto de incertidumbre para masa final.**

Mag Entr	Valor Est	Variabild	Tipo Dust	Us	Cs	Uyi	(Uyi/Uc) <sup>2</sup>	Uc	Uexp
Ind Masa	8,5245	0,0001	Rectangular	0,0000289	1	0,0000289	0,0908816	0,0000958	0,00019
Correc calibración	- 8,79E- 05	0,00017	Normal	0,0000850	1	0,0000850	0,7879430	0,0000958	0,00019
Repetib	0	0,00006	Normal	0,0000333	1	0,0000333	0,1211754	0,0000958	0,00019

Se obtuvo como resultado de la incertidumbre para masa final:

Masa final =  $(8,52445 \pm 0,00019)$  g para un 95,45% de confiabilidad

**- Cálculo de la incertidumbre de correspondiente al volumen corregido de la muestra a 20° C**

**Paso 1. Cálculo de la incertidumbre del volumen de la muestra**

Debido a que se realizó la repetibilidad y reproducibilidad del volumen de la muestra se consideran los siguientes datos mostrados en la tabla 3.10.

**Tabla 3.10 Repetibilidad y reproducibilidad del volumen corregido a 20°C.**

Muestra	N°	Volumen (ml)	T. repetibilidad (°C)	T. reproducibilidad (°C)
EFC	1	100	39	38
	2	100	38	38
	3	110	37	36
	4	100	36	35
	5	100	36	34
	<b>Media</b>	102	37,2	36,2
	<b>Desv. Est</b>	4,4721	1,3038	1,7889

Se toman en cuenta los datos proporcionados por el certificado de calibración del cilindro graduado, expuestos en la tabla 3.11.

**Tabla 3.11 Datos del certificado de calibración del cilindro graduado.**

N°	Temp. °C	Valor normal ml	Volumen Patrón ml	Corrección ml	E.M.P ml	Uexp ml	Err + Uexp	Conformidad
1	21,1	200,00	196,439	-3,56	5,00	0,58	4,1391	conforme
2	21,2	500,00	496,058	-3,94	5,00	0,58	4,5217	conforme
3	21,2	1000,00	996,126	-3,87	5,00	0,58	4,4588	conforme

En este caso, el valor leído fue de 102 ml y el valor mínimo calibrado es de 200ml, lo cual denota un punto de atención en futuras calibraciones de dicho instrumento y/o análogos. En este caso se aplicará el criterio de aproximación, explicado en la sección 2.16.1 tomando como referencia la corrección para el mínimo número dado del certificado, de -3,56 ml. Se procederá a llenar el presupuesto de incertidumbre para la determinación del volumen No corregido, según la tabla 3.12.

**Tabla 3.12 Ejemplo de presupuesto de incertidumbre para volumen no corregido.**

N°	Mag Entr	Valor Est	Variabilid	Tipo Dist	Us	Cs	Uyi	(Uyi/Uc) <sup>2</sup>	Uexp
1	Volumen Resolución	<Ind Vol>	R	Triangular	(R/√24)	1	(UsxCs)		
2	Correc calibración	C	Uexp	Normal	Uexp/k	1	(UsxCs)		
3	Repetibilidad	0	S	Normal	S/√n	1	(UsxCs)		

Llenando el presupuesto, quedó:

**Tabla 3.13 Presupuesto de incertidumbre para volumen no corregido.**

Mag Entr	Valor Est	Variabild	Tipo Dust	Us	Cs	Uyi (Us x Cs)	(Uyi/Uc) <sup>2</sup>	Uc	Uexp
Ind Inst	102	0.10	Triangular	2,0412415	1	2,0412415	0,505036	2,8724148	5,7
Correc calibración	-3,56	0,58	Normal	0,2900000	1	0,2900000	0,0101930	2,8724148	5,7
Repetibil	0	4,47214	Normal	2,000000	1	2,000000	0,4848034	2,8724148	5,7

Obteniendo como resultado final de la incertidumbre en el volumen de muestra el siguiente valor:

Volumen de la muestra =  $(98,44 \pm 5,7)$  ml para un 95,45% de confiabilidad

### **Paso 2. Estimación de incertidumbre de la temperatura de la muestra**

Se toman en consideración los datos administrados por el certificado de calibración del termómetro:

**Tabla 3.14 Datos del certificado de calibración del termómetro.**

Lect Inst	Lect Patrón	Unidad	Corrección	EMP	Uexp	Corr+Uexp	conformidad
31,00	30,53	°C	-0,47	1,00	0,32	0,79	conforme
81,00	81,25	°C	0,25	1,00	0,31	0,56	conforme
151,00	150,68	°C	-0,32	1,00	0,32	0,63	conforme

Se tomó por criterio de aproximación el valor de corrección:  $-0,47$  ° C.  
Se llenó el presupuesto de incertidumbre para temperatura con el siguiente formato de la tabla 3.15:

**Tabla 3.15 Ejemplo de presupuesto de incertidumbre para la temperatura.**

N°	Mag Entr	Valor Est	Variabilidad	Tipo de Dist	Us	Cs	Uyi	(Uyi/Uc) <sup>2</sup>	Uexp
1	Indica Temp	<Ind Temp>	R	Rectangular	(R/√12)	1			
2	Corecc cal	Correc cal	Uexp	Normal	Uexp/k	1			
3	Repetibilidad	0	S	Normal	S/√N	1			
4	Reproducibilidad	0	S	Normal	S/√N	1			

Se llenó el formato del presupuesto con los valores respectivos en la tabla 3.16:

**Tabla 3.16 Presupuesto de incertidumbre de la temperatura.**

Mag Entrada	Valor Est	Variabilidad	Tipo de Distribución	Us	Cs	Uyi	(Uy/Uci) <sup>2</sup>	Uc	Uexp
Ind Inst	36,40	10	Rectangular	0,1443376	1	0,1443376	0,0163857	1,1275785	2,3
Corecc cal	-0,47	0,32	Normal	0,1600000	1	0,1600000	0,0201348	1,1275785	2,3
Repetibilidad	0	1,304	Normal	0,6519202	1	0,6519202	0,3342684	1,1275785	2,3
Reproducibilidad	0	1,581	Normal	0,8944272	1	0,8944272	0,6292111	1,1275785	2,3

Temperatura de la muestra =  $(36,3 \pm 2,3) ^\circ \text{C}$

### **Paso 3. Estimación de la incertidumbre del volumen corregido filtrado a 20°C**

Para estimar la incertidumbre del volumen corregido a 20° C se necesita del modelo matemático para un volumen a una temperatura referida:

$$\text{Vol } 20 \text{ C} = \text{Vol} ( 1 - \alpha ( T - T_0)) \quad \text{Ec (3.3)}$$

Donde:

$\alpha$  : coeficiente de expansión cubica del vidrio, para vidrio de borosilicato es  $1 \times 10^{-5}$

T: temperatura de la muestra

To: temperatura de referencia 20° C

Vol: volumen de la muestra

En este punto se cuenta con un presupuesto de incertidumbre conformado por los siguientes parámetros mostrados en la tabla 3.17:

**Tabla 3.17 Ejemplo de presupuesto de incertidumbre para volumen corregido.**

N°	Mag Entr	Valor Est	Variabilid	Tipo Dust	Us	Cs	Uyi	(Uyi/Uc) <sup>2</sup>	Uexp
1	Ind Masa	Vol	Uexp	Normal	Uexp/2	Cv	(UsxCs)		
2	Coef de expansión volumétrica	$\alpha$	$\alpha$	Rectangular	$\alpha/\text{raíz}(12)$	C $\alpha$	(UsxCs)		
3	Temperatura de la Muestra	T	Uexp	Normal	Uexp/2	Ct	(UsxCs)		

Donde los coeficientes de sensibilidad (Cs) de cada magnitud de entrada, están determinados por las derivadas parciales de dichas magnitudes respecto a la ecuación 3.1 del volumen corregido a 20° C:

$$Cv = 1 - \alpha (T - To), To = 20 \text{ ° C} \quad Ec (3.4)$$

$$C\alpha = -Vol (T - To) \quad Ec (3.5)$$

$$Ct = -\alpha \times Vol \quad Ec (3.6)$$

Sustituyendo los respectivos valores en cada ecuación se obtuvo los coeficientes para cada magnitud de entrada:

$$C_v = 1 - 1 \times 10^{-5} (36,3 - 20) = 0,9998$$

$$C_\alpha = - 98,44 (36,3 - 20) = - 1603,92$$

$$C_t = - 1 \times 10^{-5} \times 98,44 = -0,000984$$

Con estos valores obtenidos, se llenará el presupuesto de incertidumbre con el formato de la tabla 3.18.

**Tabla 3.18 Presupuesto de Incertidumbre del volumen filtrado corregido a 20°C.**

Magnitud de entrada	Valor estimado	Variabilidad	Tipo de distribución	Us, ±	Cs	Cs	U <sub>yi</sub> , ± (Us x Cs)	(U <sub>yi</sub> /Uc) <sup>2</sup> (impacto)	Uc, ±	Uexp, ±
Volumen	98,4	5,7	Normal	1,6454483	Cv	0,9998	1,6451192	0,9999916	1,6451261	3,3
Coefficiente expansión volumétrica	0,00001	0,00001	Rectangular	0,0000029	Cα	-1603,92	-0,0046301	0,0000079		
Temperatura	36,3	2,3	Normal	1,1500000	Ct	-0,000984	-0,0011316	0,0000005		

### 3.3.4.2 Estimación de la incertidumbre de los SST de la muestra

Finalmente se para estimar la incertidumbre asociada a la medición total de los sólidos suspendidos, se aplicó la ley de la propagación de la incertidumbre y el modelo matemático de la ecuación 3.1:

$$TSS = \frac{m_f - m_i}{Vol}$$

Donde:

m<sub>f</sub> : masa final

m<sub>i</sub>: masa inicial

Vol: volumen de la muestra

Los coeficientes de sensibilidad de cada magnitud de entrada, vienen dado por las derivadas parciales respecto al modelo matemático de la ecuación antes mencionada:

$$C_{mi} = -1/Vol \quad E_c (3.7)$$

$$C_{mf} = 1/Vol \quad E_c (3.8)$$

$$C_{vol} = -(mf - mi)/ Vol^2 \quad E_c (3.9)$$

Sustituyendo los valores respectivos para cada coeficiente:

$$C_{mi} = -1/98,4 = - 98,3$$

$$C_{mf} = 1/ 98,3 = 98,3$$

$$C_{vol} = -(8,52085 - 8,52445)/ (98,3)^2 = -3,7 \times 10^{-7}$$

Con los coeficientes obtenidos se realizó el presupuesto de incertidumbre para los sólidos suspendidos de la muestra mostrada en la tabla 3.20:

**Tabla 3.19 Presupuesto de incertidumbre de TSS.**

Mag Ent	Valor Estimado	Variabilidad	Tipo de Dist	Us	Cs	Cs	Uyi	(Uyi/Uc) <sup>2</sup>	Uc	Uexp
mi	8,52085	0,00019	Normal	0,0000548	Cmi	-98,3	-6x10 <sup>-5</sup>	0,312776	0,0000010	0,000002
mf	8,52445	0,00019	Normal	0,0000548	Cmf	98,3	6x10 <sup>-5</sup>	0,312776	0,0000010	0,000002
Vol Corr	98,3	3,3	Normal	1,5400000	Cvol	-	3,7x10 <sup>-5</sup>	0,374446	0,0000010	0,000002

Se obtuvo el valor de los sólidos suspendidos totales a través del modelo matemático ecuación 3.1:

$$TSS = \frac{(8,52445 - 8,52085)}{(98,3)} = 36,62258 \text{ g/ml}$$

De la tabla 3.20 se lee el valor de la incertidumbre expandida,  $U_{exp} = 0,000002$ , se multiplica por potencia de  $10^6$  según modelo matemático, obteniéndose un valor de 1,9.

Resultado final de la medición: TSS =  $(36,6 \pm 1,9)$  g/ml

### 3.3.4.3 Cálculo de la incertidumbre en ensayo de turbidez

El ensayo de turbidez se basa en la medición de la concentración de materia en suspensión en el agua, a través de la toma de muestras en celdas esterilizadas e identificadas, las cuales se introducen dentro de un turbidímetro que arroja de manera inmediata el valor de dicha concentración, puede ser realizada en campo o laboratorio. Para esta muestra de cálculo se tomó como referencia el punto de muestreo denominado “Entrada a Filtros Coalescedores (EFC)”.

En este ensayo se aplicó la repetibilidad en la medición de la muestra, haciéndose un total de 10 mediciones para cada punto de muestreo, como se muestra en la tabla 3.21.

**Tabla 3.20 Repetibilidad en la medición de turbidez.**

Mediciones	EFC (NTU)
1	18,9
2	18,6
3	18,5
4	18,4
5	18,3
6	18,1
7	18,2
8	18,2
9	18,4
10	18,1
<b>Media</b>	18,37
<b>Desviación Estándar</b>	0,23685

Se tomaron en cuenta los datos proporcionados por el certificado de calibración del turbidímetro, mostrados en la tabla 3.22.

**Tabla 3.21 Datos del certificado de calibración del turbidímetro.**

N°	Lect Inst NTU	Val Patrón NTU	Corrección NTU	Corrección %	E.M.P %	Uexp %	Crr% + Uexp	Resolución
1	0,08	0,07	-0,01	16,00	2,00	7,55	23,55	0,01
2	21,67	20,16	-1,51	6,95	2,00	1,41	8,36	0,1

Se aplicó el criterio de valores intermedios para hallar el factor de corrección, en el rango establecido en la tabla 3.22, para el valor de 18,37 NTU, obteniéndose:

$$m = (0,08 - 21,67) / (-1,51 - (-0,01)) = -0,07$$

$$Co = -0,07 \times (18,37 - 0,08) + (-0,01) = -0,79$$

Posteriormente, se llenó el presupuesto de incertidumbre para la turbidez, mostrado en la tabla 3.22.

**Tabla 3.22 Presupuesto de incertidumbre para ensayo de turbidez.**

Magnitud de entrada	Valor estimado	Variabilidad	Tipo de distribución	Us, ±	Cs	Uyi, ± (Us x Cs)	(Uyi/Uc) <sup>2</sup> (impacto)	Uc, ±	Uexp, ± (K=2)
Indicación turbidez	18,37	0,1	Rectangular	0,0288675	1	0,0288675	0,1056546	0,0888107	0,18
Corrección por calibración	-1,28	0,076	Normal	0,0380000	1	0,0380000	0,1830784		
Repetibilidad	0	0,23685	Normal	0,0748999	1	0,0748999	0,7112670		

Resultado final de incertidumbre en la medición de turbidez: (18,37 ± 0,18) NTU

### 3.4 Estimado de la inversión requerida para la implementación del cálculo de la incertidumbre en el laboratorio de tratamiento químico de la planta RESOR

Para llevar a cabo la implementación de la medición de la incertidumbre, es necesario la adquisición de nuevos materiales y equipos, debido a que los lineamientos y normas que rigen la expresión de este parámetro exigen una precisión, estabilidad, y mantenimiento de las condiciones físicas y ambientales tanto de los equipos como del lugar de trabajo donde se realiza. Lo que demanda tiempo y espacio exclusivamente para realizar con total igualdad de condiciones dicho procedimiento.

Para ello se solicitó una cotización al grupo de Advance Laboratorios C.A, en el mes de julio. Dicha cotización se muestra en la tabla 3.24.

**Tabla 3.23 Cotización de materiales y equipos por ADVANCE Laboratorios.**

Código del Producto	Cantidad	Producto	Precio Unitario Bsf	Subtotal Bsf	Disponibilidad
501429600	1	Mufla Digital T	20.934	20.934	3 meses
30BA210G01	1	Balanza analítica	12.750	12.750	Inmediata
50208880	1	Desecador al vacío	2.269	2.269	3 meses
504650000	1	Turbidímetro portátil 2100 P	20.774	20.774	Inmediata
50H1428900	1	Estufa de laboratorio	10.227	10.227	3 meses
20FIOLA300	1 caja	Matraz erlenmeyer	24	24	Inmediata

**Continuación tabla 3.23 Cotización de materiales y equipos por  
Advance laboratorios.**

20BEAKER250	1 caja (10)	Vaso de precipitado	18	18	Inmediata
20CILINDRO250	1	Cilindro graduado 250 ml	154	154	Inmediata
502495402	1 caja (100)	Celdas de vidrio 10 ml	2.346	2.346	Inmediata
50135300	1 caja (100)	Membrana filtrante 0,45 micras	2.468	2.468	3 meses
2510-30600500	1 caja (500)	Placas de Petri 100x15 MM	850	850	Inmediata
502586200	1	Soporte Vacuum	15.932	15.932	3 meses

Sub-total = Bsf 88.746

Impuesto del 12% sobre Bsf 88.746 = Bsf 10.649,52

Total = Bsf 99395,52

Como se mencionó anteriormente es de primera necesidad contar con un analista de laboratorio dedicado en gran parte de la jornada laboral a la estimación de la incertidumbre de los ensayos, debido a los lineamientos aplicados por la norma, se debe evaluar y mantener la aptitud técnica sobre

el sesgo, repetibilidad, detección, y método de trabajo que aplica a la hora de realizar la toma de muestras, mediciones digitales en campo (turbidez), pesadas, registro de datos, mantenimiento de los equipos en las mismas condiciones diariamente para lograr alcanzar la máxima precisión y exactitud posible en cada medición.

Por dichas razones, el laboratorio de tratamiento químico se vería en la obligación de solicitar un analista para poder aplicar a este cálculo, de manera que no se vean afectadas las demás mediciones rutinarias con las que deben cumplir de manera puntual todos los días.

Se solicitó en calidad de investigación en el departamento de administración y gerencia de PDVSA Maturín, el costo anual de un técnico superior para el laboratorio, y un analista devenga un total de BsF 140.000 al año. Dicha información no pudo ser dada de manera desglosada en cuanto a beneficios, bonos administrativos y de alimentación, ayuda de ciudad, vacaciones, seguro de salud, entre otros, puesto que se considera información confidencial para la empresa.

Tomando en cuenta la cotización facilitada por Advance Laboratorios y la cifra suministrada por administración y gerencia de PDVSA Maturín, para llevar a cabo la implementación de la incertidumbre en el laboratorio de tratamiento químico de RESOR, se requiere un estimado aproximado de BsF 239.395,52.

## **CAPITULO 4**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 Discusión de resultados**

##### **4.1.1 Porcentaje de disminución de turbidez y remoción de sólidos como parámetro que califica el funcionamiento de los trenes de filtración de las plantas SAEN y RESOR, basándose en resultados de laboratorio**

Las plantas SAEN y RESOR tienen como objetivo fundamental el tratamiento químico y bacteriológico de las aguas efluentes de diferentes procesos del complejo Jusepín y de las aguas provenientes de pozos, a fin de que mezcladas sea inyectada en el yacimiento Naricual y se mantenga la presión y el factor de recobro del mismo. En la figura 4.1 se muestran los dos trenes de filtración de la planta SAEN.

La concentración de sólidos es uno de los parámetros más importantes en la determinación de la calidad del agua para inyección, aquí radica la importancia de que los equipos de la planta de tratamiento cumplan con los valores de rendimiento para los que estos fueron diseñados, y de esta forma, asegurar que el cliente reciba el agua a inyectar bajo los parámetros de calidad requeridos.



**Figura 4.1 Trenes de filtración de la planta SAEN.**

Los cálculos de la eficiencia de turbidez y remoción de sólidos fueron organizados por fecha y grupo de filtros, es decir, se clasificaron por año y tipo de filtro en su punto de muestreo. En planta SAEN fueron un total de cinco puntos de control, lo que permitió observar el comportamiento de cada equipo.

Para tener una idea o margen de referencia con las eficiencias obtenidas, en la tabla 4.1 se muestran las características de diseño para la eficiencia en los filtros de lecho.

**Tabla 4.1 Características de diseño de filtros de lechos.**

EQUIPO	CARACTERÍSTICA DE DISEÑO
<b>Filtros de lechos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entrada máxima de crudo 100 ppm</li> <li>- Crudo saliente &lt; 5 ppm</li> <li>- Eficiencia de remoción en filtros coalescedores entre el 20 y el 50 %</li> <li>- Eficiencia de remoción en filtros pulidores entre 70 y 95%</li> </ul>

#### **4.1.1.1 Eficiencia a la salida de los filtros coalescedores (SFC) de planta SAEN**

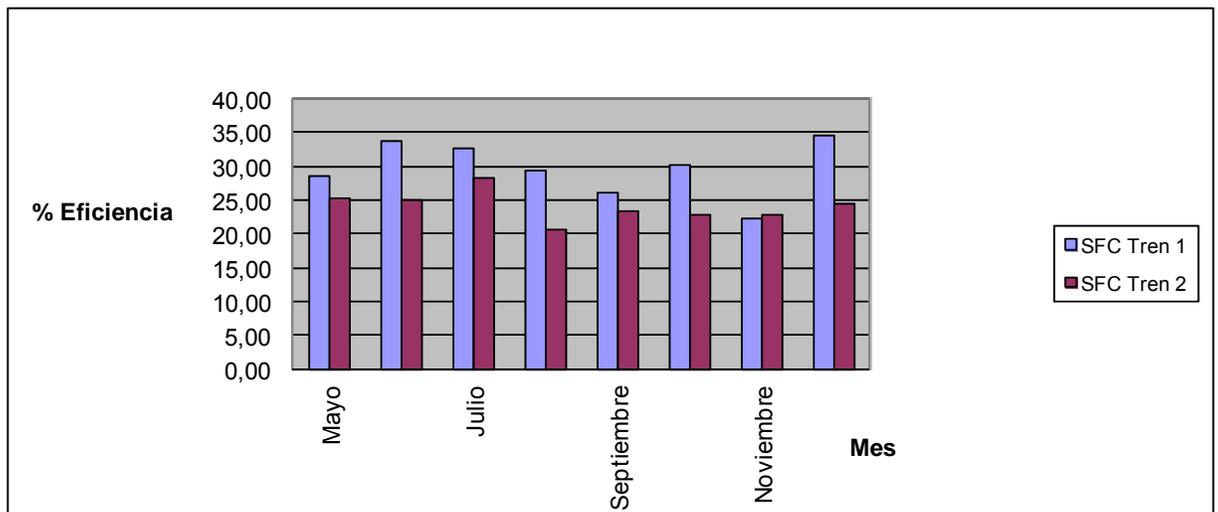
Los resultados obtenidos respecto a los filtros coalescedores de la planta SAEN desde mayo del año 2008 hasta diciembre del año 2009, arrojaron los valores de eficiencia por mes mostrados en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2 Eficiencia global de filtros coalescedores de plata SAEN año 2008.**

% Eficiencia de Diseño	(20 a 50) %	20 a 50 %
Mes	%E SFC Tren 1	%E SFC Tren 2
Mayo	28,44	25,19
Junio	33,70	24,94
Julio	32,73	28,17
Agosto	29,32	20,67
Septiembre	26,00	23,38
Octubre	30,14	22,81
Noviembre	22,38	22,90
Diciembre	34,52	24,47
<b>Promedio Anual</b>	<b>29,65</b>	<b>24,07</b>

Considerando las características de diseño, durante el periodo de mayo a diciembre del 2008 la planta se encontraba trabajando dentro de los rangos operacionales establecidos, el tren de filtración 1 arroja una mayor eficiencia, dejando aproximadamente 6% de diferencia con respecto al tren 2. En los informes proporcionados por el laboratorio no se observó ningún reporte de contingencia operacional por lo cual se deduce que los resultados de las mediciones fueron realizados dentro de las condiciones establecidas de trabajo.

En la figura 4.2 se muestra la gráfica la eficiencia de ambos equipos mes por mes.

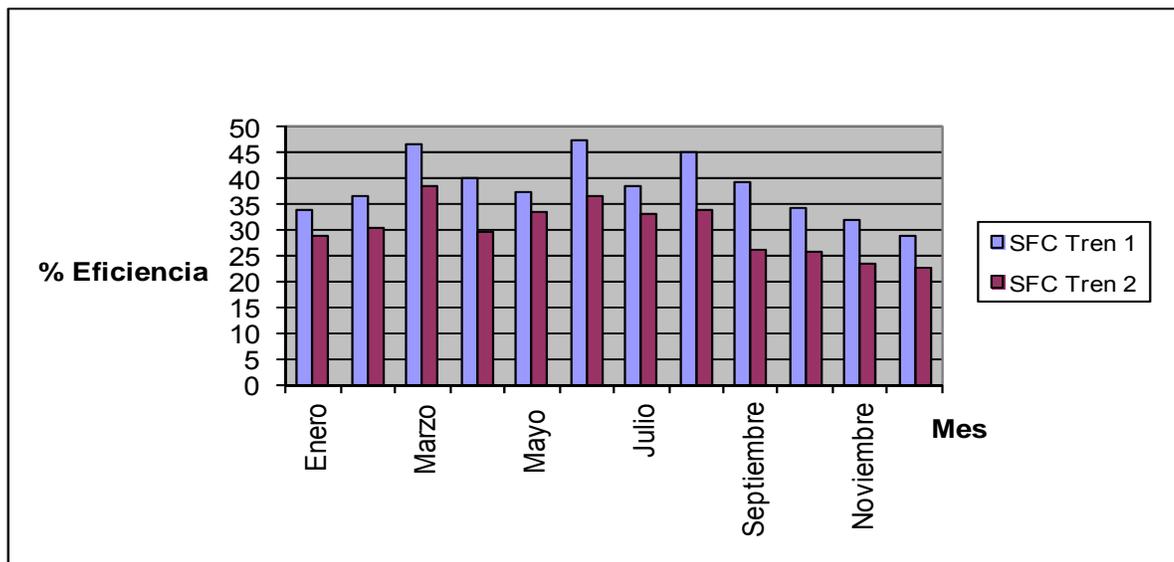


**Figura 4.2 Eficiencia de los filtros coalescedores de planta SAEN año 2008.**

**Tabla 4.3 Eficiencia global de filtros coalescedores de planta SAEN año 2009.**

<b>Mes</b>	<b>SFC Tren 1</b>	<b>SFC Tren 2</b>
<b>% Eficiencia de Diseño</b>	<b>20 a 50</b>	<b>20 a 50</b>
Enero	33,99	28,94
Febrero	36,64	30,25
Marzo	46,65	38,47
Abril	40,03	29,39
Mayo	37,24	33,29
Junio	47,43	36,47
Julio	38,37	33,07
Agosto	45,19	33,72
Septiembre	39,39	26,28
Octubre	34,15	25,56
Noviembre	32,09	23,27
Diciembre	28,78	22,67
<b>Promedio Anual</b>	<b>38,33</b>	<b>30,12</b>

Para el periodo 2009 los trenes de filtración de la planta SAEN se encontraban dentro del rango permitido de especificación de calidad del agua para inyección. Mostrando una evidencia de mayor rendimiento operacional del tren 1, lo que indica que la planta durante este periodo se encontraba en apropiadas condiciones operacionales, por lo cual se deduce que los filtros operaban acorde a la filosofía de diseño. En la figura 4.1 se expone la eficiencia mensual de cada equipo.



**Figura 4.3 Eficiencia de filtros coalescedores de planta SAEN año 2009.**

En ambos periodos (2008-2009), a la salida de los filtros coalescedores arrojaron eficiencias positivas y una continuidad en los resultados, lo que sugiere que que la planta SAEN para este punto de control operaba acorde a la filosofía para la cual fue diseñado, pues, la eficiencia supera el valor mínimo de 20% disminución de turbidez y remoción de sólidos.

#### **4.1.1.2 Eficiencia a la salida de los filtros pulidores de planta SAEN**

En este caso se observa continuidad en los resultados y un comportamiento similar, pese a que las eficiencias obtenidas son positivas se encuentran por debajo del porcentaje requerido de diseño, no obstante en este caso el tren dos presenta mayor rendimiento operacional respecto al tren uno, y también una similitud en los valores obtenidos mes por mes.

Las causas motivadas a estos resultados fuera de especificación pudiesen verse influidas por falta de mantenimiento de los equipos, pérdida

constante de los lechos durante el retrolavado el cual se realiza cada cierto tiempo de operación (4000-5000) minutos

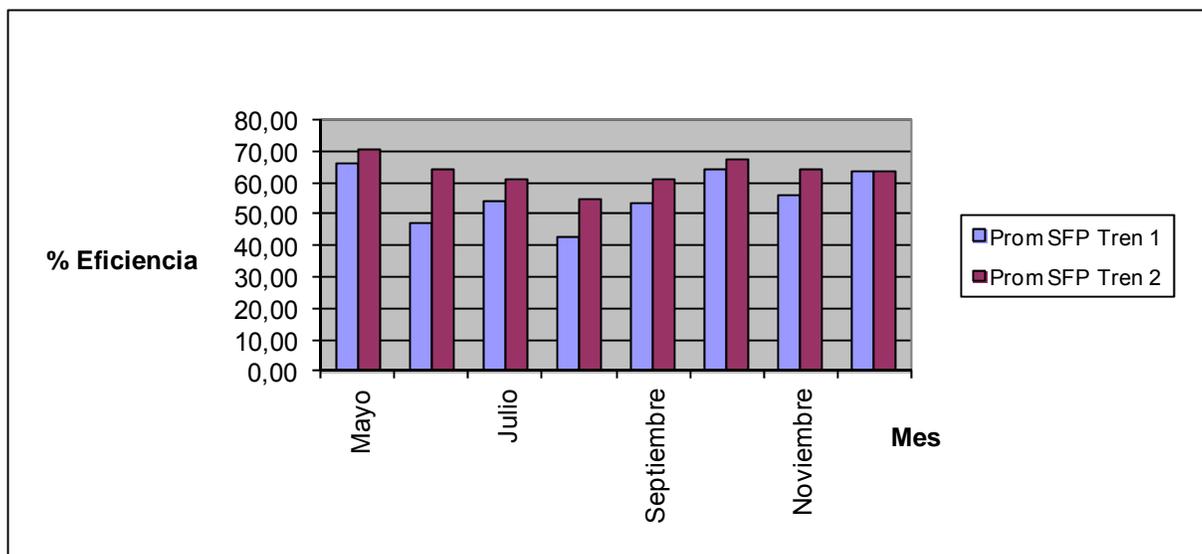
También puede atribuirse poco tiempo de residencia del agua en las fosas de recolección de agua, lo cual no permite la actualización completa del tratamiento químico, que consiste en la aplicación de coagulantes y floculantes, demulsificante, removedor de oxígeno e inhibidor de incrustaciones.

El polímero coagulante es inyectado antes de los filtros coalescedores, y el floculante es mezclado en línea antes de la entrada de los filtros. El secuestrante de oxígeno es inyectado a la entrada de las torres desareadoras, pero en la actualidad las torres están fuera de servicio por taponamiento de crudo y la inyección no se lleva a cabo.

El inhibidor de incrustación se inyecta a la descarga de las bombas, sin embargo en la actualidad no se usa este químico. En la figura 4.4 se muestra la gráfica con la eficiencia mes a mes de cada equipo.

**Tabla 4.4 Eficiencia de los filtros pulidores planta SAEN año 2008.**

<b>% Eficiencia de Diseño</b>	<b>70 a 95</b>	<b>70 a 95</b>
<b>Mes</b>	<b>Promedio SFP Tren 1</b>	<b>Promedio SFP Tren 2</b>
Mayo	66,05	70,60
Junio	47,03	64,44
Julio	54,28	60,77
Agosto	42,75	54,69
Septiembre	53,18	60,82
Octubre	64,23	67,17
Noviembre	56,07	64,17
Diciembre	63,24	63,35
<b>Promedio Anual</b>	<b>55,85</b>	<b>63,25</b>

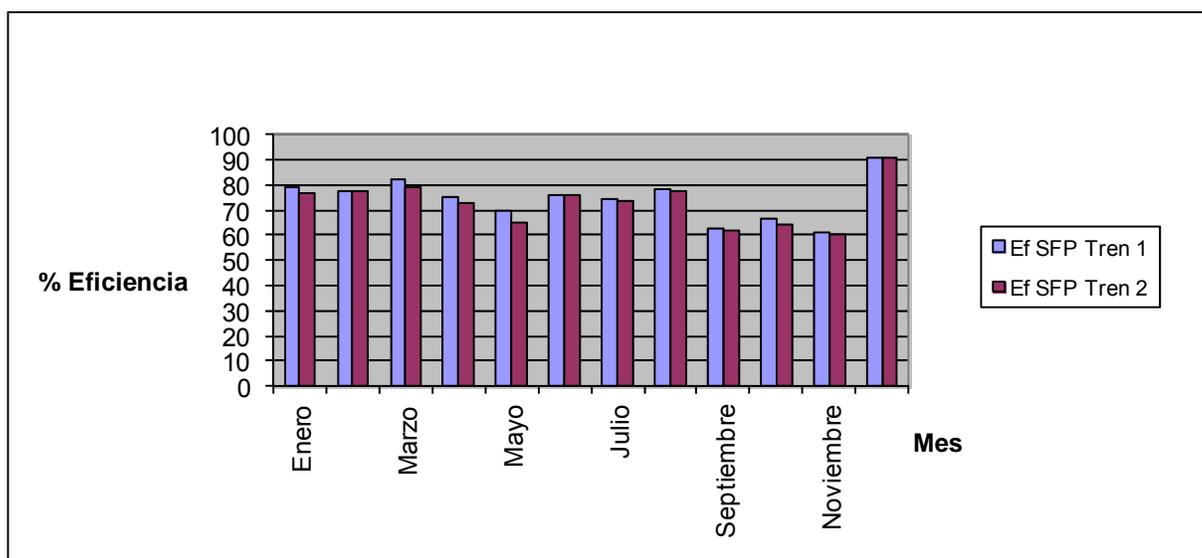


**Figura 4.4 Eficiencia de lo filtros pulidores de planta SAEN año 2008.**

En el año 2009 los filtros pulidores de planta SAEN arrojaron un mejor comportamiento a nivel operacional, evidenciando resultados dentro del rango de diseño, con un mejor rendimiento por parte del tren 1 por diferencia mínima de apenas 1,67% entre ambos. En la figura 4.5 se expone la gráfica de ambos equipos con sus respectivos valores por cada mes.

**Tabla 4.5 Eficiencia de los filtros pulidores de planta SAEN año 2009.**

<b>%Eficiencia de Diseño</b>	<b>70 a 90</b>	<b>70 a 90</b>
<b>Mes</b>	<b>Eficiencia SFP Tren 1</b>	<b>Eficiencia SFP Tren 2</b>
Enero	79,31	76,59
Febrero	77,79	77,83
Marzo	82,33	78,69
Abril	75,49	72,49
Mayo	69,58	65,07
Junio	75,82	75,82
Julio	74,59	73,37
Agosto	78,02	77,12
Septiembre	62,84	61,80
Octubre	66,93	64,53
Noviembre	61,06	60,24
Diciembre	90,75	90,85
<b>Promedio Anual</b>	<b>74,54</b>	<b>72,87</b>



**Figura 4.5 Eficiencia de los filtros pulidores de planta SAEN año 2009.**

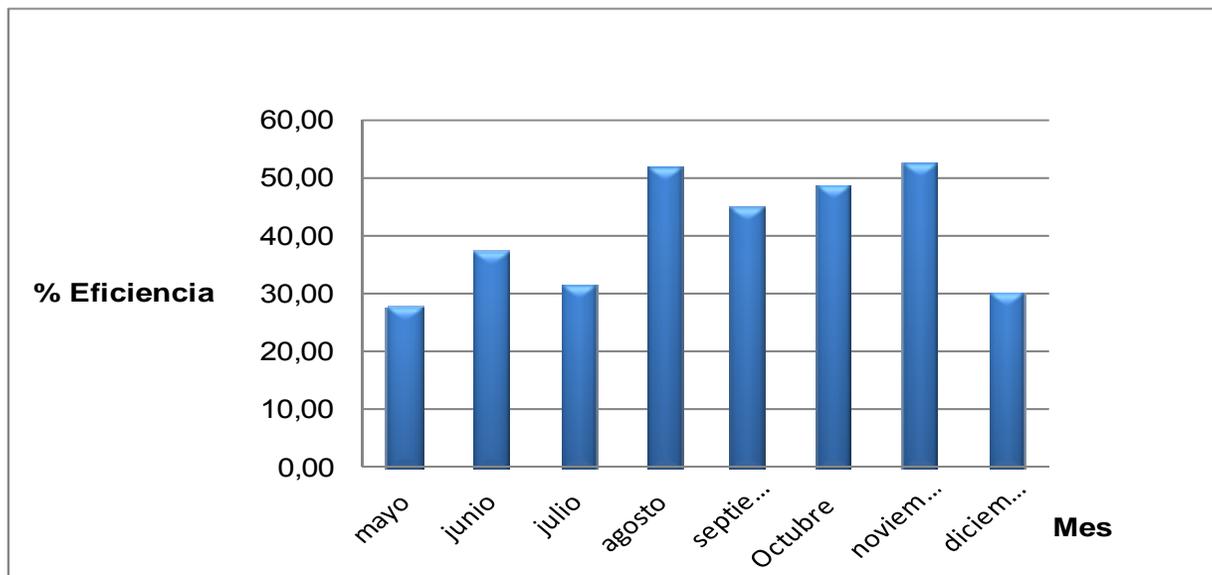
#### 4.1.1.3 Eficiencia del tren de filtración de planta RESOR

A diferencia de la planta SAEN, RESOR cuenta con dos puntos de control o muestreo para medición de la calidad del agua. Estos se conocen como entrada y salida. Como se expuso en la sección 2.6, el proceso de dicha planta se basa en suministro de químicos para el control de calidad de las aguas provenientes de pozo profundo y el agua tratada en planta SAEN. Donde el agua proveniente de pozo es previamente desgasificada para luego ser enviada mediante bombas al sistema de filtración.

**Tabla 4.6 Eficiencia de los filtros de planta RESOR año 2008.**

<b>Mes</b>	<b>% Eficiencia</b>
Mayo	27,73
Junio	37,27
Julio	31,34
Agosto	51,81
Septiembre	45,01
Octubre	48,55
Noviembre	52,55
Diciembre	30,23
<b>Promedio Anual</b>	<b>40,56</b>

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa eficiencias con un comportamiento con escasa continuidad. Sin embargo, las eficiencias obtenidas fueron positivas, lo que demuestra que los equipos de la planta, durante dicho periodo, estuvieron cumpliendo con su objetivo disminuyendo las concentraciones de sólidos y siendo éstas menores en la salida con respecto al punto de muestreo de entrada.



**Figura 4.6 Eficiencia de los filtros de planta RESOR año 2008.**

Como se observa en la figura 4.6 en los meses de agosto a noviembre es donde se presenta una relativa continuidad en los niveles operacionales de los equipos de filtración, finalizando en diciembre con una baja de aproximadamente un 22% en la eficiencia, lo que evidencia que posiblemente durante este periodo la planta pudo haber presentado desperfectos en el proceso de remoción de sólidos o fallas en la dosificación de químicos antes del muestreo.

Es importante resaltar que esto puede indicar que la planta está trabajando sobre su capacidad de diseño. Por otra parte posiblemente puede atribuirse que la granulometría de los lechos filtrantes, en este caso grava y antracita, no es compatible con los establecidos en diseño; también influye la falta de mantenimiento en válvulas indicadoras de presión y de niveles.

Cabe destacar que durante la realización de los cálculos con los datos suministrados por los reportes del laboratorio, se presentaron eficiencias negativas (Anexo A), donde las concentraciones de salida superaban las de

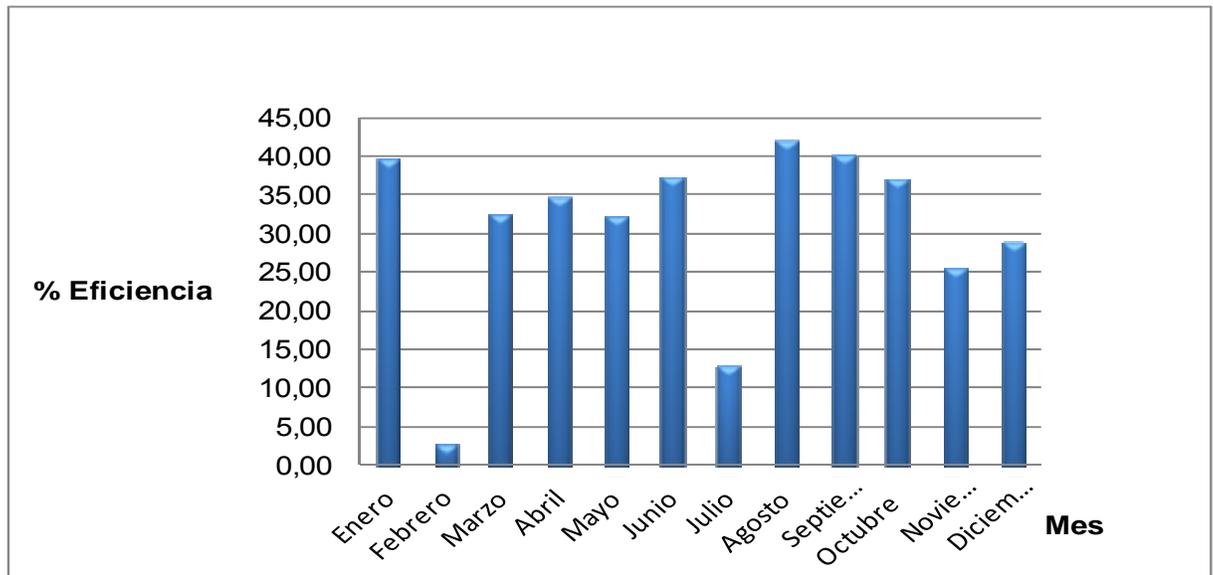
entrada arrojando un déficit en el rendimiento operacional de los equipos, por lo que se presume durante los días de muestreo efectuados, la planta se encontraba fuera de especificación, posiblemente por alguna de las causas mencionadas.

Cuando se presentan algunas de estas fallas puede considerarse como posibles soluciones, mantenimiento correctivo a todas las etapas de filtración, implementación de tratamientos mecánicos previos, a corto plazo. A largo plazo, una ampliación de la planta de manejo y tratamiento agua.

Esto correspondería en primera instancia al equipo de operaciones de la planta y no directamente al departamento de tratamiento químico. Estas causas son a nivel macro, si se hiciera al detalle, pueden encontrarse más condiciones que influyen en el rendimiento operacional de los equipos.

**Tabla 4.7 Eficiencia de los filtros de planta RESOR año 2009.**

<b>Mes</b>	<b>% Eficiencia</b>
Enero	39,51
Febrero	2,76
Marzo	32,36
Abril	34,73
Mayo	32,17
Junio	37,35
Julio	12,80
Agosto	42,04
Septiembre	40,10
Octubre	36,96
Noviembre	25,45
Diciembre	28,79
<b>Promedio Anual</b>	<b>30,42</b>



**Figura 4.7 Eficiencia de los filtros de planta RESOR año 2009.**

Respecto a los resultados obtenidos de enero a diciembre del año 2009, los datos aportados por los reportes presentan continuos días con presencia de eficiencias negativas donde se observan críticos niveles de turbidez en el punto de salida, arrojando una caída en el rendimiento operacional de los equipos. Con mayor evidencia en el mes de febrero, en el cual se presentaron los niveles negativos más significativos en la eficiencia, esto se encuentra en la tabla de anexo A.2.

#### **4.1.2 Comparar los resultados obtenidos con las especificaciones de diseño de cada planta**

Se estudiaron las características de los equipos que forman la planta SAEN/RESO, tomando como documento base la filosofía de diseño de la planta, para luego comparar esta información con las condiciones operacionales observadas en el periodo de la investigación.

Durante los cálculos de la eficiencia, se manejaron los datos de los reportes diarios por mes suministrados por el laboratorio de tratamiento químico. El grupo de analistas realiza diariamente una toma de muestras en campo, haciendo la medición directamente en cada punto de control al momento de la captación mediante un turbidímetro portátil, que permite conocer el valor de la turbidez, prácticamente en tiempo real, con el proceso operacional de los equipos de filtración.

En el periodo de mayo a diciembre de 2008, se calculó un promedio mensual de la turbidez en cada punto de muestreo, para las plantas SAEN y RESOR, obteniéndose los siguientes valores mostrados en la tabla 4.8.

**Tabla 4.8 Promedio de valores de Turbidez en Planta SAEN año 2008.**

<b>Mes</b>	<b>SFC Tren 1 NTU</b>	<b>SFP Tren 1 NTU</b>	<b>SFC Tren 2 NTU</b>	<b>SFP Tren 2 NTU</b>
Mayo	38,56	12,33	41,10	5,20
Junio	33,30	17,29	37,67	13,45
Julio	23,65	10,76	25,15	9,81
Agosto	18,79	10,01	20,69	8,41
Septiembre	20,74	9,27	21,38	8,15
Octubre	21,30	7,75	23,70	7,67
Noviembre	27,86	11,31	28,15	9,24
Diciembre	19,76	7,15	23,30	6,79

De acuerdo a lo señalado en la tabla 3.1 ubicada en la sección 3.2, los valores a la salida de los filtros coalescedores (SFC) deben oscilar entre los (20-15) NTU y a la salida de los filtros pulidores con un valor de 5 NTU. Los

resultados evidencian un comportamiento operación fuera de especificación para los meses de mayo y junio.

Sin embargo si se compara entre las salidas para cada equipo, estos cumplen con su principal objetivo que es la disminución de turbidez y remoción de sólidos entre ambas salidas.

De acuerdo a lo expuesto en la sección 2.7, si dichos resultados a la salida de planta SAEN no concuerdan con los parámetros de diseño para la entrada al punto de mezcla de RESOR, la planta se coloca en recirculación, a través de un proceso que consta de cinco etapas:

1. Vaciado parcial
2. Formación de colchón de aire
3. Lavado agua aire
4. Enjuague
5. Llenado

**Tabla 4.9 Promedios de valores de turbidez planta SAEN año 2009.**

<b>Mes</b>	<b>SFC Tren 1 NTU</b>	<b>SFP Tren 1 NTU</b>	<b>SFC Tren 2 NTU</b>	<b>SFP Tren 2 NTU</b>
Enero	27,55	5,88	29,25	6,18
Febrero	29,50	6,67	33,09	7,51
Marzo	20,63	3,48	23,23	4,85
Abril	19,17	4,74	22,24	6,12
Mayo	16,21	4,92	17,12	5,96
Junio	17,55	4,63	21,06	5,01
Julio	12,81	3,16	14,27	3,59
Agosto	15,92	3,24	19,63	4,29
Septiembre	10,69	3,90	13,23	5,14
Octubre	26,11	8,90	29,75	10,52
Noviembre	21,21	8,78	23,85	9,78
Diciembre	17,38	5,63	15,63	7,13

Los resultados expuestos en la tabla 4.9 dejan en evidencia un comportamiento similar entre ellos, en su mayoría valores ubicados dentro del rango de diseño, disminuyendo las concentraciones entre los puntos de salida de filtros coalescedores a pulidores. En las tablas de anexo B se encuentran reflejados los valores diarios de medición, a partir del cual, fueron calculados estos promedios por mes.

Al suceder este tipo de eventos, generalmente la captación de muestras se aumenta por lo general a tres tomas antes que finalice la jornada, monitoreando constantemente la dosificación de químicos para controlar los niveles de turbidez en el agua tratada.

Las especificaciones de diseño de planta RESOR están dadas para un valor de turbidez de 0,5 NTU para el punto de entrada. En los valores obtenidos para el punto de entrada para el periodo de la muestra representativa, que se seleccionó, se obtuvieron resultados acordes a las especificaciones de diseño, arrojando un valor promedio global de 0,47 NTU lo que indica que la planta durante el tiempo estudiado estaba trabajando dentro de los parámetros de diseño especificados, de igual manera puntualmente mes por mes se evidencia la escala de valores arrojados coincidiendo con las características dadas.

**Tabla 4.10 Promedios de valores de turbidez de planta RESOR año 2008.**

<b>Mes</b>	<b>Entrada RESOR NTU</b>	<b>Salida RESOR NTU</b>
Mayo	0,37	0,23
Junio	0,43	0,22
Julio	0,33	0,20
Agosto	0,38	0,17
Septiembre	0,43	0,19
Octubre	0,44	0,17
Noviembre	0,44	0,16
Diciembre	0,46	0,25

**Tabla 4.11 Promedios de valores de turbidez de planta RESOR año 2009.**

<b>Mes</b>	<b>Entrada RESOR NTU</b>	<b>Salida RESOR NTU</b>
Enero	0,47	0,25
Febrero	0,42	0,32
Marzo	0,50	0,27
Abril	0,50	0,28
Marzo	0,45	0,27
Junio	0,41	0,23
Julio	0,35	0,28
Agosto	0,55	0,27
Septiembre	0,80	0,31
Octubre	0,63	0,31
Noviembre	0,39	0,26
Diciembre	0,58	0,28

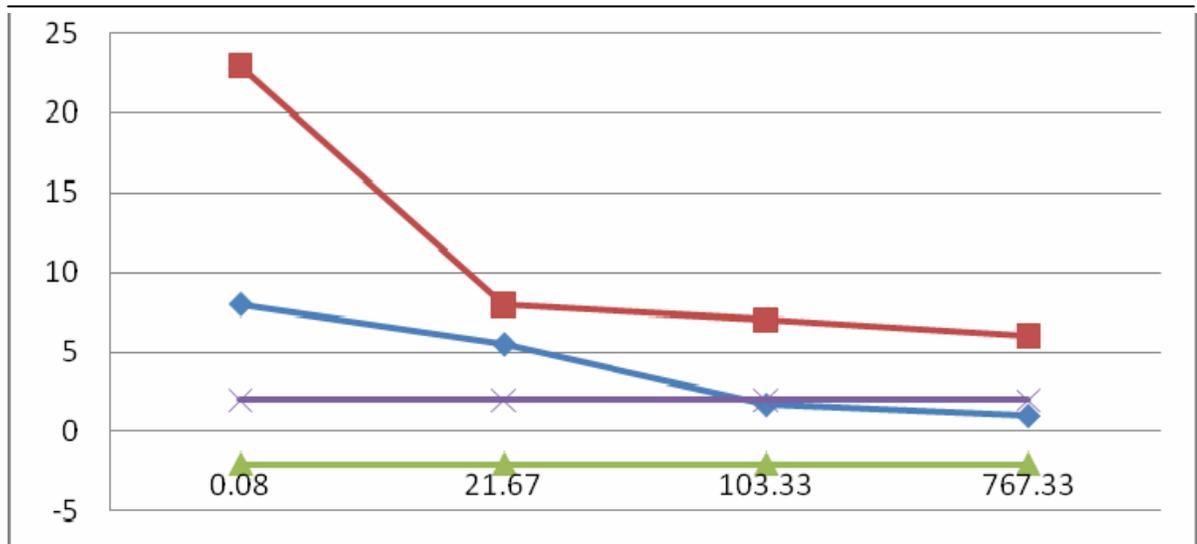
Para el punto de salida se obtuvo un promedio global de 0,24 NTU, valor que se considera ajustado a las condiciones operacionales de diseño, y observando los datos diarios de turbidez por cada mes, en casi un 90% los equipos de filtración cumplieron con con el objetivo de disminuir las concentraciones respecto a los puntos previos de entrada, en el nivel requerido por el cliente para mantener la calidad del agua tratada para inyección.

#### **4.1.3 Desarrollo de procedimientos para la estimación de la incertidumbre en la medición de los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y turbidez**

Se debe analizar las posibles fuentes que generan la incertidumbre, las cuales se presentan en las condiciones de calibración de los equipos de medición, las condiciones ambientales del lugar donde se realizan los ensayos de medición, y la aptitud técnica o pericia del analista. (FONDONORMA 3631:2000)

Los certificados de calibración describieron las las características metrológicas de los equipos, requeridas para la obtención de mediciones confiables y permitiendo realizar la comparación directa con los requisitos metrológicos del cliente, que generalmente se refieren a los requerimientos del método de ensayo acreditado para satisfacer las necesidades del cliente del laboratorio.

Durante el desarrollo de los presupuestos de incertidumbre, surgieron diversas observaciones a medida que se iban ampliando los cálculos. Para el ensayo de turbidez, el certificado de calibración proporcionó el rango de porcentaje de corrección.



**Figura 4.8 Porcentaje de corrección del turbidímetro.**

En la figura 4.8, la línea verde representa el rango de lectura del instrumento en NTU, abarca un rango desde 0,08 a 767,33 NTU, lo que suministra un amplio margen de medición en el ensayo. El rango aplicado en este estudio estuvo ubicado entre (0,08-21,67) NTU.

Mientras que la línea morada representa el error máximo permisible (EMP) del equipo con un valor constante de 2.0% para todo el rango de medición. La línea azul ubica el porcentaje de la incertidumbre expandida del equipo, y línea la vinotinto la sumatoria de los porcentajes de corrección e incertidumbre expandida.

Esto datos permitieron hallar el factor de corrección por calibración, dato indispensable para completar los valores de los presupuestos de incertidumbre. Los resultados obtenidos son mostrados en la tabla 4.12.

**Tabla 4.12 Resultados de cálculo de incertidumbre en ensayo de turbidez.**

FECHA	SAEN / TURBIDEZ (NTU)												RESOR / TURBIDEZ (NTU)			
	TREN 1						TREN 2						ER		SR	
	EFC	Uexp, ±	SC1	Uexp, ±	SP1	Uexp, ±	EFC	Uexp, ±	SC2	Uexp, ±	SP2	Uexp, ±	ER	Uexp, ±	SR	Uexp, ±
18-02-10	17,09	0,18	9,78	0,13	3,96	0,10	17,09	0,18	10,49	0,12	4,69	0,10	0,26	0,10	0,28	0,19
19-02-10	28,37	0,31	17,95	0,20	6,35	0,12	28,37	0,31	20,87	0,29	12,60	0,19	0,16	0,10	0,27	0,10
22-02-10	35,20	0,28	18,26	0,23	6,29	0,20	35,20	0,28	23,30	0,24	7,131	0,19	0,24	0,19	0,312	0,19
PROMEDIOS	26,89	0,25	15,33	0,19	5,53	0,14	26,89	0,25	18,22	0,22	8,14	0,16	0,22	0,13	0,28	0,16

Durante los días seleccionados de muestreo las mediciones arrojaron valores de turbidez acorde a los parámetros de diseño, dejando en evidencia el cumplimiento del objetivo de la planta, lo que indica que los trenes de filtración se encontraban en adecuadas condiciones operacionales, disminuyendo las concentraciones a la salida de los puntos de control. Las incertidumbres obtenidas para cada punto indican cuantitativamente la calidad del resultado de la medición.

El rango obtenido de las incertidumbres para la medición de turbidez, oscilaron entre (0,12-0,28) NTU, estos números pueden ser atribuidos al mensurando, para tener un margen de la dispersión de los valores en la medición. Tomando en cuenta los resultados, ya se puede establecer un patrón comparativo, al solicitarle al cliente sus requisitos metrológicos.

En cuanto a las fuentes de incertidumbre para este ensayo, fueron establecidas: la repetibilidad, corrección por calibración y la indicación de la turbidez. Obteniendo un mayor impacto la indicación de la turbidez, esto viene asociado a las características metrológicas del equipo establecidas en

su certificado de calibración, aunado a la técnica de ensayo, mantenimiento de condiciones ambientales y de materiales en el lugar de trabajo.

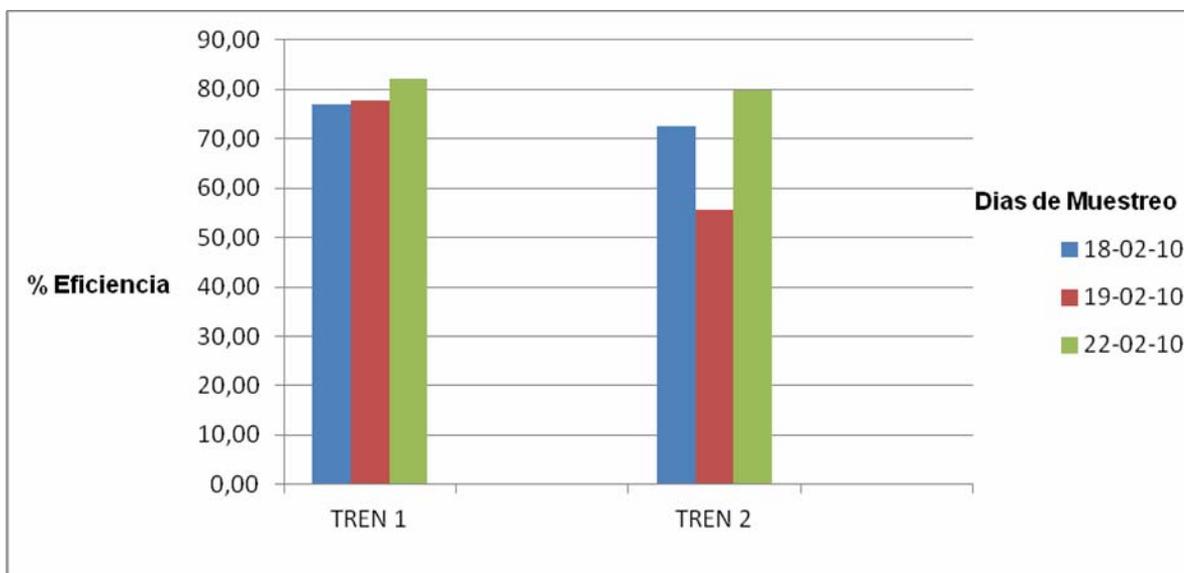
Durante el ensayo, se aplicó la repetibilidad en la medición a un total de 10 mediciones por muestra, esto permitió observar la concordancia entre las mediciones sucesivas del mismo mensurando. Cumpliendo siempre en totalidad con las condiciones aplicadas a la norma, de realizar el mismo procedimiento, con un mismo analista, en un breve periodo de tiempo entre medición en el mismo lugar.

Paralelamente con los valores obtenidos durante los días de muestreo, se realizó un cálculo de eficiencia global para cada tren de filtración de planta SAEN, a manera de chequear el comportamiento operacional durante este periodo, arrojando los siguientes resultados:

**Tabla 4.13 Eficiencia de los trenes de filtración SAEN respecto a turbidez.**

	<b>PLANTA SAEN</b>	
<b>FECHA</b>	<b>Eficiencia TREN 1 (%)</b>	<b>Eficiencia TREN 2 (%)</b>
18-02-10	76,86	72,55
19-02-10	77,62	55,59
22-02-10	82,13	79,74
<b>PROMEDIOS</b>	<b>78,87</b>	<b>69,29</b>

El tren 1 arrojó los valores con mayor rendimiento operacional los días de captación de muestra, con un promedio global de 78,87%. El comportamiento durante los tres días fue similar, con una continuidad en los resultados.



**Figura 4.9 Eficiencia de trenes de filtración de planta SAEN para ensayo de Turbidez.**

Para el ensayo de sólidos suspendidos totales, se realizó captación de muestras durante tres días seguidos, las muestras fueron recolectadas en recipientes de dos litros, esterilizados y debidamente identificados. Se contó con la documentación metrológica de los equipos utilizados durante el ensayo: la balanza analítica, el cilindro graduado, y el termohigrómetro.

Durante el análisis para el desarrollo del procedimiento para la estimación de la incertidumbre en este ensayo, se consideraron las pautas establecidas por la norma, aplicando el concepto de peso constante, es decir, se hicieron 10 pesadas a los papeles de filtro dentro de sus respectivas cápsulas de petri, antes y después de filtrado del volumen de muestra. De manera que haya repetibilidad en las pesadas y exista una desviación estándar para obtener un resultado más confiable

Cabe destacar que en el laboratorio de tratamiento químico, los analistas a la hora de realizar esta medición, no utilizan las placas de petri al momento de pesar el papel de filtro, lo que puede influir notoriamente en la calidad de la medición ya que esto puede ocasionar mucha variabilidad y dispersión entre los resultados por pérdida o mala manipulación del papel de filtro al momento de colocarlo en la balanza, ya que la capsula aporta una estabilidad a la pesada y a su vez protege el papel de filtro luego de ser secado ya que este queda muy frágil y puede romperse al ser manipulado con la pinza durante las pesadas.

Por otra parte también se aplicó repetibilidad en el llenado de volumen de muestra, con el cilindro graduado calibrado. Esto permite mayor confiabilidad en los resultados.

**Tabla 4.14 Resultados en cálculo de incertidumbre en ensayo de SST.**

FECHA	SAEN / TSS (PPM)												RESOR / TSS (PPM)			
	TREN 1						TREN 2						ER		SR	
	EFC	Uexp, ±	SC1	Uexp, ±	SP1	Uexp, ±	EFC	Uexp, ±	SC2	Uexp, ±	SP2	Uexp, ±	ER	Uexp, ±	SR	Uexp, ±
02-03-10	36,60	1,90	27,00	1,20	18,90	1,10	36,60	1,90	26,70	1,20	15,59	0,67	0,50	0,16	0,20	0,16
03-03-10	53,83	4,63	34,20	2,60	13,42	0,59	53,83	4,63	38,50	2,90	28,66	0,93	1,21	0,16	0,33	0,16
04-03-10	40,20	2,00	14,60	1,60	8,38	0,53	40,20	2,00	44,20	2,20	19,27	0,85	4,95	0,16	0,37	0,15
PROMEDIOS	43,54	2,84	25,27	1,80	13,57	0,74	43,54	2,84	36,47	2,10	21,17	0,82	2,22	0,16	0,30	0,16

Los resultados obtenidos en la medición de sólidos suspendidos oscilaron en un rango de (0,1- 2,8) ppm. Las magnitudes de entrada establecidas en este ensayo fueron: indicación del instrumento, corrección por calibración, repetibilidad, reproducibilidad. Teniendo mayor impacto la repetibilidad, como se mencionó anteriormente representa un factor esencial para obtener la mayor exactitud posible en las mediciones.

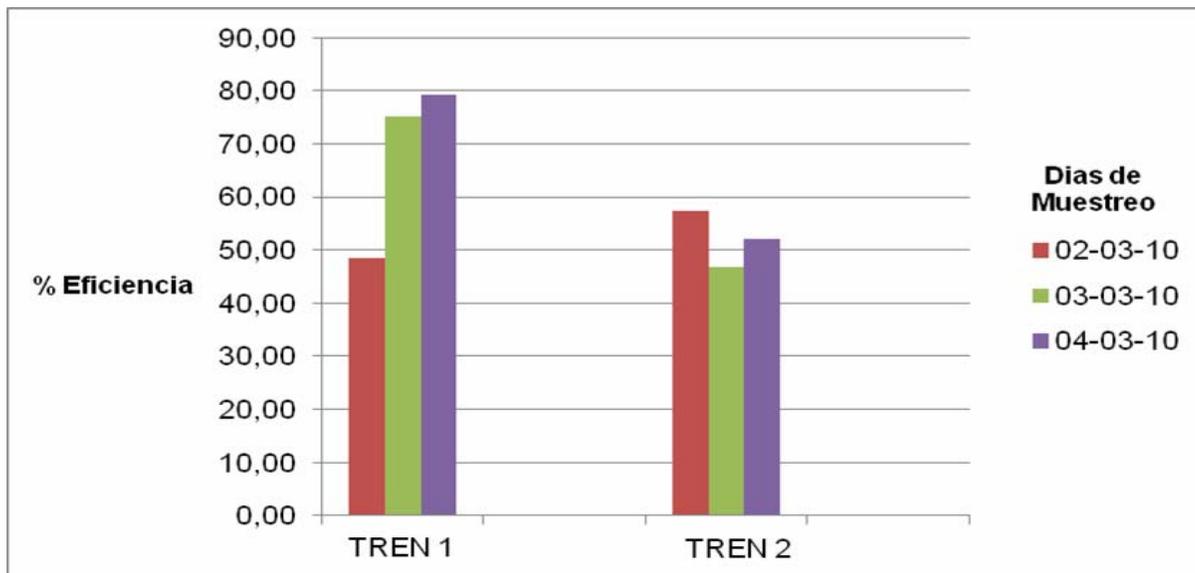
Se utilizaron los resultados obtenidos para determinar la eficiencia de los trenes de filtración de planta SAEN, durante los tres días de muestreo, a manera de verificar el nivel de rendimiento operacional de la planta durante ese periodo. Es importante destacar que las mediciones arrojaron resultados fuera de especificación, debido a que la planta presentó altos niveles de concentración durante esos días, ya que los trenes de filtración anteriormente estuvieron en proceso de lavado, luego de un largo periodo de tiempo sin mantenimiento, lo que requirió el aumento en la dosificación de químicos.

Los resultados obtenidos en la eficiencia de los trenes de planta SAEN, fueron los mostrados en la tabla 4.12.

**Tabla 4.15 Eficiencia de los trenes de filtración de planta SAEN respecto a SST.**

<b>FECHA</b>	<b>PLANTA SAEN</b>	
	<b>Eficiencia TREN 1 (%)</b>	<b>Eficiencia TREN 2 (%)</b>
<b>02-03-10</b>	48,36	57,40
<b>03-03-10</b>	75,07	46,76
<b>04-03-10</b>	79,15	52,06
<b>PROMEDIOS</b>	<b>67,53</b>	<b>52,08</b>

De acuerdo a los resultados arrojados, nuevamente el tren 1 presenta mayor rendimiento operacional con un 67,53% con comportamiento un poco discontinuo esto debido al problema presentado durante los días de captación de muestras, como se muestra a continuación en la figura 4.10.



**Figura 4.10 Eficiencia de los trenes de filtración de planta SAEN para ensayo de SST.**

En la gráfica se observa el comportamiento operacional, donde tiene mayor similitud durante los días dos y tres de muestreo, con un mejor rendimiento el último día de captación de muestras. Sin embargo pese a los resultados fuera de especificación, los niveles de concentración disminuyeron entre cada punto de salida de los filtros coalescedores y pulidores.

#### **4.1.4 Estimado de la inversión requerida para la implementación del cálculo de la incertidumbre en el laboratorio de tratamiento químico de la planta RESOR**

De acuerdo a los datos económicos aportados por el departamento de administración y gerencia de PDVSA Maturín, los gastos por contrato de analista en la empresa genera un egreso de 140000 Bsf anuales, esto sin

tener detallado los aranceles de beneficios y bonos que proporciona la empresa a sus trabajadores.

Es de suma necesidad la contratación de un analista para el área de estimación de la incertidumbre en los ensayos correspondientes al laboratorio de tratamiento químico de la planta RESOR, ya que esto requiere en la totalidad del tiempo exacto que dura la jornada laboral diaria, puesto que hay que cumplir con las pautas establecidas por la norma en cuanto a captación de muestras, métodos de ensayo, y sobretodo de cumplir con la condición de repetibilidad exigida por dicha norma de tener un mismo observador o analista en esta área, lo que quiere decir que no se podría hacer una rotación de personal para la estimación de este cálculo, ya que el encargado deberá siempre mantener las mismas condiciones respecto a su pericia, detección, y precisión.

Por otra parte se requiere de la inversión para nuevos equipos en el laboratorio para la implementación de este estudio, debido a que actualmente solo cuentan con las unidades exactas por cada equipo: balanza, filtro a presión, desecador, mufla, etc. De manera que no sea un impedimento para los otros analistas el uso y tiempo en cuanto a los equipos para el cumplimiento de sus labores diarias respecto a los ensayos de rutina que diariamente deben reportarse al cliente.

La cotización sumistrada por Advance Laboratorios, expuesta en la sección 3.5 estima un total de Bsf 99395,52. Lo que suma un estimado de inversión de aproximadamente Bsf 239400 Bsf para la implementación y desarrollo de este cálculo, que actualmente representa una de los requisitos imprescindibles para la acreditación de laboratorios de ensayo por Fondonorma ISO/IEC 17205:2005. Es una inversión con alta productividad

ya que será la acreditación como laboratorio de alta calidad y confiabilidad en sus mediciones, lo que genera mayor seguridad para el cliente y sus especificaciones.

#### **4.2 CONCLUSIONES**

1. La planta SAEN está cumpliendo con la filosofía de diseño, lo que indica el buen funcionamiento de los equipos de filtración.
2. El tren de filtración 1 presenta un mejor rendimiento operacional respecto a disminución de turbidez y remoción de sólido.
3. Los equipos de la planta RESOR durante el periodo 2009 arrojaron una baja eficiencia pese a cumplir con especificaciones, lo que indica la posibilidad de contingencias durante el periodo seleccionado.
4. Los niveles de turbidez se encuentran dentro de los parámetros de diseño de cada planta.
5. Los equipos de medición del laboratorio de tratamiento químico se encuentran en perfectas condiciones metrológicas, permitiendo un nivel de confiabilidad en sus resultados.
6. El cálculo de la incertidumbre realizado en los ensayos de turbidez y SST, evidenciaron un nivel bajo de dispersión en las mediciones proporcionadas por el laboratorio químico de planta RESOR, lo que indica que cuentan con un nivel de confiabilidad apreciable para el cliente.

7. Se requiere realizar la inversión estimada para iniciar la implementación de este método, a manera de poder llevar a cabo la tramitación de la acreditación del laboratorio de ensayo.
8. Aplicar el concepto de repetibilidad en las mediciones y pesadas durante los ensayos, ya que genera un aumento en el nivel de confiabilidad y exactitud de los resultados.

#### **4.3 RECOMENDACIONES**

1. Filtrar mayores volúmenes de muestras para los puntos de control de planta SAEN a fin de obtener una incertidumbre menor con un mayor nivel de confiabilidad.
2. Cada analista a la hora de realizar el ensayo de SST debe cerciorarse de que se está haciendo la pesada en una de las tres zonas establecidas por el certificado de calibración de la balanza.
3. Implementar el uso de la capsula de petri al momento de pesar el papel de filtro durante todo el ensayo de SST.
4. Aplicar el concepto de peso constante, de manera que haya repetibilidad en las pesadas y obtener un resultado más confiable.
5. Verificar el uso del cilindro graduado calibrado para medir el volumen de llenado de las muestras.

6. Aumentar el número de captación de muestras diarias, ya que estas plantas realizan un proceso continuo y una muestra al día no se considera representativa en el rendimiento operacional del proceso.
7. Monitorear periódicamente con los resultados obtenidos, los niveles de eficiencia de los equipos de manera que se tenga al día la verificación del rendimiento de los trenes de filtración.
9. Hacer extensiva la estimación de la incertidumbre en los demás ensayos de laboratorio, con la finalidad de buscar una mejora en la confiabilidad de sus resultados y optar a la acreditación con la norma ISO/IEC 17025:2005.
10. Es necesario la instalación de más equipos en el laboratorio de tratamiento químico cuando se inicie la estimación de la incertidumbre en los ensayos, para evitar contratiempos en el cumplimiento de los reportes diarios.
11. Plantear la necesidad de contar con un analista que realice los procedimientos para la expresión de la incertidumbre, a manera de cumplir con los requisitos básicos para llevar a cabo este procedimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

Delgado, M. (2008). *Estimación de la incertidumbre en la medición de pH en aguas*. Trabajo de Metrología Química II, facultad de ciencias y tecnología, departamento de Química. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-LEÓN).

González, B. (2002). *Estudio de la incertidumbre asociada a los resultados obtenidos con ciertos procedimientos de medida bioquímicos-clínicos*. Tesis doctoral, facultad de Medicina. Universitat Autònoma de Barcelona, España.

González, J. (2004). *Evaluación de la preparación y análisis de mineral de hierro para la implementación de procedimientos de ensayos del sistema de calidad ISO 17025 en un laboratorio de la Gerencia de Calidad de CVG Ferrominera Orinoco C.A.* Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Puerto La Cruz.

Jiménez, Y. (2003). *Mejoramiento del sistema de determinación de la incertidumbre en las mediciones de una empresa de revestimiento de tuberías*. Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Puerto La Cruz.

Verde, J. (2007). *Análisis de la situación actual de planta SAEN ubicada en el Complejo Jusepín de PDVSA*. Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Puerto La Cruz.

Castro, L. (2008). *Recuperación por inyección de agua*. Yacimientos de petróleo. Disponible en: <http://yacimientos-de-petroleo.blogspot.com/2008/10/recuperacion-por-inyeccion-de-agua.html>

FONDONORMA Covenin 3631:2000. (2000). *Guía para la expresión de la incertidumbre en las mediciones*.

NORMA ISO 9001:2000. (2000). *Sistemas de Gestión de Calidad*.

FONDONORMA. ISO/IEC 17025:2005. (2005). *Requisitos para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*.

NACE. Norma TM0173-2005. (2005). *Métodos para determinar la calidad de la inyección de agua del subsuelo mediante filtros de membrana*.

Wolfgang, A. (2000). *Guía para Estimar la incertidumbre de la medición*.

Gerencia de SHAC. (2002). *Procedimiento de laboratorio manejo y procesamiento de agua plantas RESOR/SAEN*. Maturín.

Tebutt, T. (1998). *Fundamentos de control de calidad del agua*. México: Editorial LIMUSA.

Kemmer, F. (1989). *Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones*. España: McGraw-Hill.

Himmelblau, D. (6ta Ed.). (1997). *Principios básicos y cálculos en ingeniería química*. México: Prentice-hall hispanoamericana.

Treybal R. (2da Ed.). (1990). *Operaciones de transferencia de masa*. México: McGraw-Hill.

## METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

<b>TÍTULO</b>	<b>ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE EN PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA ANALIZADOS EN EL LABORATORIO DE TRATAMIENTO QUÍMICO DE LA PLANTA RESOR COMPLEJO JUSEPIN</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

### AUTOR (ES):

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
Mejia C. Luisana M.	CVLAC: 18.237.918 E MAIL: mejia_luisi@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

### **PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

ESTIMACION DE INCERTIDUMBRE

PARAMETROS DE CALIDAD

PLANTA RESOR

COMPLEJO JUSEPIN

TRATAMIENTO QUÍMICO

## METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Química

### RESUMEN (ABSTRACT):

La planta Recuperación Secundaria Oriente (RESOR) se encarga del tratamiento de aguas procedentes del acuífero las piedras, ubicado en las cercanías de Jusepín, con la finalidad de mejorar su calidad antes de ser llevadas a un proceso de inyección a yacimientos. RESOR trabaja conjuntamente con la planta Sistemas de Aguas Efluente Norte conocida como SAEN, ya que las aguas procesadas por cada una de ellas se encuentran en un punto de mezcla, donde se requiere que presenten determinadas condiciones de especificación exigida por el cliente. El agua tratada es caracterizada a través de distintos ensayos de laboratorio, realizados por el departamento de tratamiento químico de la planta RESOR, donde se encuentra ubicado su laboratorio de ensayos y control de calidad. En la actualidad, para acreditarse como laboratorio competente en el campo de los ensayos y calibraciones, se requiere cumplir con la estimación de un parámetro que defina la dispersión del resultado de medición y la confiabilidad del mismo. Este parámetro es conocido como la incertidumbre, que caracteriza la dispersión al resultado de una medición que puede ser atribuida al mensurando. Se escogieron los ensayos a los cuales serian estimado ese valor, siendo estos turbidez y sólidos suspendidos totales (SST) ya que están asociados al proceso de filtración, lo que permitió paralelamente, la evaluación del rendimiento de los trenes de filtración de ambas plantas. Se realizó la captación de muestras durante tres días seguidos en diferentes semanas, tanto para la turbidez como para los SST. Se chequearon los certificados de calibración de los equipos necesarios, para realizar los métodos de ensayo, debido a que son de suma importancia para el conocimiento y desarrollo de las características metrológicas de cada uno. Los resultados obtenidos permitieron establecer una comparación en los factores de diseño para cada equipo de filtración y así ubicar el nivel del rendimiento operacional de cada proceso de filtración. Las eficiencias obtenidas en el periodo establecido, evidenciaron un cumplimiento del objetivo de las plantas, así como la situación actual del rendimiento a nivel operativo

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**CONTRIBUIDORES:**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL</b>				
COVA ALEXIS	ROL	CA	AS(X)	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
GODOY MARÍA	ROL	CA	AS	TU(X)	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
MARTINEZ PETRA	ROL	CA	AS	TU	JU(X)
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
AMUNDARAIN MILENA	ROL	CA	AS	TU	JU(X)
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b>2011</b>	<b>11</b>	<b>07</b>
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE. SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Estimación_Incertidumbre_Calidad_Resor.doc	Application/ msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K  
L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1  
2 3 4 5 6 7 8 9.

**ALCANCE**

ESPACIAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

TEMPORAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Ingeniero Químico

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pregrado

**ÁREA DE ESTUDIO:**

Departamento de ingeniería química

**INSTITUCIÓN:**

Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui

## **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

### **DERECHOS**

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

Mejia C. Luisana M.

**AUTOR**

Ing. Alexis Cova

**TUTOR**

Ing. Milena Mundaraín

**JURADO**

Ing. Petra Martínez

**JURADO**

Lic. Quím. María Godoy

**ASESOR INDUSTRIAL**

Ing. Yraima Salas

**POR LA SUBCOMISION DE TESIS**