

ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA LA UTILIZACIÓN DE  
UN SECUESTRANTE DE MANGANESO EN EL CIRCUITO DE ENFRIAMIENTO  
DE LA COMPAÑIA ELÉCTRICA DE SOCHAGOTA S.A E.S.P

LADY DAYANA GUTIÉRREZ CÁRDENAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA

2016

ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA LA UTILIZACIÓN DE  
UN SECUESTRANTE DE MANGANESO EN EL CIRCUITO DE ENFRIAMIENTO  
DE LA COMPAÑIA ELÉCTRICA DE SOCHAGOTA S.A E.S.P

LADY DAYANA GUTIÉRREZ CÁRDENAS

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Químico

DIRECTOR

Prof. Luz Marina Ballesteros Rueda

Ingeniera Química, M. Sc., PhD

CO-DIRECTOR

José Herney Rodríguez Jiménez

Jefe de Departamento Químico C.E.S

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BUCARAMANGA

2016

## **DEDICATORIA**

### **A nuestro padre creador.**

Quien me orientó hasta este punto del camino.  
Permitiéndome aprender del pasado y añorar por un futuro mejor.  
Indicándome el momento ideal para caer, reflexionar, aprender y seguir como valientes.

### **A mis queridos padres.**

Audoro y Lilia, quienes han dado toda su fuerza mental y física para formar  
Personas capaces de afrontar retos y dificultades con la mejor cara de optimismo.  
A ellos, la luz de mi camino, les dedico este preciado pedazo de esfuerzo  
como un pequeño presente de agradecimiento por años de perseverancia y lucha.

### **A mis apreciados hermanos**

Danilo, Gheraldin y Esteban, por soportar momentos difíciles y  
sacrificar sueños y metas a causa de su obstinada hermana.  
Quiero que sientan este logro parte de ustedes porque sin su apoyo no hubiera sido posible.

### **Tíos (as), abuelita y abuelito.**

Quienes con sus palabras de fortaleza ayudaron a ser más  
soportable el camino hacia esta meta. Y aunque no todos los que vieron  
El inicio de esta etapa se encuentran hoy, espero que se sientan orgullosos  
En cualquier lugar donde estén.

### **A mis estimados amigos**

Por la compañía y apoyo incondicional desde el inicio de la carrera.  
Por ayudarme a levantar cuando caía, por tener la fortuna de conocerlos.

Lady Dayana Gutiérrez Cárdenas

## **AGRADECIMIENTOS**

Ofrezco mis agradecimientos a la Compañía Eléctrica de Sochagota en especial al departamento químico, quienes con su experiencia, orientación y ayuda encaminaron la realización de este proyecto de grado. Además de acogerme como una compañera más e incentivar me para crecer profesionalmente.

Al jefe del departamento, Señor Herney Rodríguez, quien me dio la oportunidad de realizar esta práctica y ser mi orientador en el campo de trabajo, brindándome su conocimiento y experiencia.

A mi directora de proyecto, Luz Marina Ballesteros, por dedicarme su valioso tiempo, apoyo y orientación en la culminación de esta etapa profesional. Por su acompañamiento y dedicación constante.

A los trabajadores en general, quienes con su amable saludo cada mañana y su disposición continúan contribuyeron a ser de esta práctica una experiencia más grata.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	16
1. METODOLOGÍA .....	24
1.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	24
1.2. COMPOSICIÓN DEL RESIDUO DEPOSITADO EN LOS INTERCAMBIADORES.....	25
1.3. CAPACIDAD SECUESTRANTE DEL TRASAR 3DT-190.....	25
1.3.1. Nivel laboratorio .....	25
1.3.2. Nivel Campo.....	26
1.4. ESTUDIO ECONÓMICO DEL TRASAR 3DT-190 .....	27
2. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	28
2.1. ESTUDIO DE LAS CONDICIONES FISICOQUÍMICAS DE LAS CORRIENTES INVOLUCRADAS EN EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO .....	28
2.2. COMPOSICIÓN DEL RESIDUO DEPOSITADO EN LOS INTERCAMBIADORES DE PLACAS.....	30
2.3. CAPACIDAD SECUESTRANTE DEL TRASAR 3DT-190.....	31
2.3.1. A nivel laboratorio.....	31

2.3.2.	A nivel campo.....	34
2.4.	ANÁLISIS DE COSTOS.....	41
3.	CONCLUSIONES.....	44
4.	RECOMENDACIONES.....	45
	CITAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
	BIBLIOGRAFÍA.....	49
	ANEXOS.....	53

## LISTADO DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Esquema del sistema de circulación y agua de enfriamiento.....	18
<b>Figura 2.</b> Esquema del circuito cerrado de enfriamiento .....	18
<b>Figura 3.</b> Esquema del circuito auxiliar de enfriamiento .....	19
<b>Figura 4.</b> Métodos de Remoción de manganeso.....	21
<b>Figura 5.</b> Esquema de la metodología realizada.....	24
<b>Figura 6.</b> Fotografías de las placas del intercambiador (a) Sin ensuciamiento y (b) con ensuciamiento.....	31
<b>Figura 7:</b> Esquema del proceso de oxidación del estándar $MnCl_2$ .....	32
<b>Figura 8.</b> Esquema de interacción de la solución estándar $MnCl_2$ con el agente secuestrante (a) a nivel laboratorio y (b) a nivel molecular.....	33
<b>Figura 9.</b> Esquema del instrumento utilizado para la prueba en campo.....	35
<b>Figura 10.</b> Registro de la temperatura del instrumento para observar el ensuciamiento.....	36
<b>Figura 11.</b> Secuencia fotográfica del ensuciamiento de los tubos del instrumento .....	37
<b>Figura 12.</b> Esquema del montaje en campo con la dosificación de Trasar 3DT-190 .....	38

**Figura 13.** Secuencia fotográfica del ensuciamiento de los tubos del instrumento  
con dosificación de Trasar .....39

## LISTADO DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Concentraciones históricas del manganeso total desde el 2009-2014.....	28
<b>Tabla 2.</b> Caracterización de las corrientes involucradas en el circuito de enfriamiento .....	29
<b>Tabla 3.</b> Porcentajes promedios de la composición del ensuciamiento.....	30
<b>Tabla 4.</b> Registro de cantidades de manganeso para diferentes concentraciones de agente oxidante. ....	32
<b>Tabla 5.</b> Registro de la cantidad promedio de $Mn^{2+}$ para diferentes concentraciones de Trasar 3DT-190.....	34
<b>Tabla 6.</b> Condiciones promedio del instrumento con dosificación de Trasar 3DT-190.....	39
<b>Tabla 7.</b> Composición porcentual promedio del residuo extraído de la prueba en campo con y sin secuestrante.....	40
<b>Tabla 8.</b> Costos de equipos e instrumentos para la implementación del Trasar 3DT-190.....	41
<b>Tabla 9.</b> Costos de operación para la implementación del Trasar 3DT-190.....	42
<b>Tabla 10.</b> Costos totales mensuales para la implementación del Trasar 3DT-190.....	42
<b>Tabla 11.</b> Costos totales anuales para la implementación del Trasar 3DT-190 ....	42
<b>Tabla 12.</b> Comparación de costos con la tecnología Trasar vs. Gastos por ensuciamiento.....	43

## LISTADO DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo A.</b> Condiciones operacionales de los equipos del circuito auxiliar de enfriamiento. ....	53
<b>Anexo B.</b> Cotización y descripción técnica del Trasar 3DT-190 por Nalco S.A.....	56
<b>Anexo C.</b> Normas e instrumentos de los métodos de análisis utilizados. ....	62
<b>Anexo D.</b> Análisis de Óxido de Manganeso: Norma ASTM D858-95 [14].....	63
<b>Anexo E.</b> Antecedentes fisicoquímicos de las corrientes de agua involucradas en el circuito de enfriamiento. ....	64
<b>Anexo F.</b> Método para Análisis de Cenizas ASTM D2795-86 DE 1995 [13].....	66
<b>Anexo G.</b> Registro de las condiciones operativas promedio de pruebas en campo .....	74
<b>Anexo H.</b> Dimensión de los equipos e Instrumentación .....	76
<b>Anexo I.</b> Costos de Inversión Total de la Implementación del Trasar 3DT-190 ....	78
<b>Anexo J.</b> Algunas fotografías de las actividades realizadas en C.E.S. ....	81

## GLOSARIO

**Bombas de Circulación:** Son de tipo vertical con descarga inferior, de flujo mixto, diseñadas para una operación prolongada en servicio de agua de refrigeración de condensadores y puntos donde se requieren caudales elevados

**Bombas make up:** Son tipo centrífuga, horizontales y eléctricas. Transporta el agua de clarificación a la reposición de torre.

**Bombas booster:** Son bombas para trabajar con alta presión, de disposición horizontal, tipo centrífuga.

**Agua bruta:** Es el agua captada del río Chicamocha sin ningún tratamiento.

**Agua Clarificada:** Es el agua tratada en el proceso de clarificación.

**Agua de torre:** Agua que realiza el recorrido por el sistema de enfriamiento y se encuentra en la balsa

## RESUMEN

**TÍTULO:** ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA LA UTILIZACIÓN DE UN SECUESTRANTE DE MANGANESO EN EL CIRCUITO DE ENFRIAMIENTO DE LA COMPAÑÍA ELÉCTRICA DE SOCHAGOTA.\*

**AUTOR:** LADY DAYANA GUTIÉRREZ CÁRDENAS\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Circuito de enfriamiento, Manganeseo, ensuciamiento, intercambiadores de placas, secuestrante, Trasar 3DT-190.

### **DESCRIPCIÓN:**

El ensuciamiento en los intercambiadores de placas de la Compañía Eléctrica de Sochagota (C.E.S) es causado por la circulación del agua auxiliar de enfriamiento perteneciente al circuito de enfriamiento. Los problemas generados por estos depósitos son la reducción de la transferencia de calor, la abertura continua del equipo para limpiezas e incluso el reemplazo de algunos sus componentes, ocasionando el incremento significativo de costos para la compañía. Con base en lo anteriormente planteado surge la necesidad de estudiar una alternativa que ayude a la eliminación de este ensuciamiento.

En el presente trabajo de grado se estudia la composición del ensuciamiento depositado en los intercambiadores de calor de C.E.S, por medio de la norma ASTM D2795, y se realiza un estudio de viabilidad técnico-económica sobre un producto químico llamado Trasar 3DT-190, para su utilización como secuestrante de manganeso. Con esta alternativa se pretende minimizar el depósito de residuos indeseables en las placas del intercambiador y por lo tanto, mejorar la eficiencia en el funcionamiento de estos equipos. Las pruebas realizadas para determinar el comportamiento del secuestrante Trasar 3DT-190 en campo se enfocaron en someter el producto químico a condiciones cercanas a las reales, por medio de un instrumento donde circulan las corrientes del proceso real. Además se realiza un análisis de costos de la alternativa propuesta para determinar la viabilidad en su implementación.

Finalmente, en este documento se recopila los resultados de la composición del residuo, la viabilidad técnica del Trasar 3DT-190 para su utilización en el circuito auxiliar de enfriamiento y la comparación económica entre la implementación de propuesta y el gasto generado por el ensuciamiento actualmente.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química. Directora: Luz Marina Ballesteros Rueda, Ingeniera Química, M. Sc., PhD. Codirector: José Herney Rodríguez. Jefe departamento químico C.E.S.

## ABSTRACT

**TITLE:** TECHNICAL AND ECONOMIC VIABILITY ANALYSIS IN THE USE OF A MANGANESE SEQUESTRATION IN THE COOLING CIRCUIT AT SOCHAGOTA ELECTRIC COMPANY.\*

**AUTHOR:** LADY DAYANA GUTIÉRREZ CÁRDENAS\*\*

**KEYWORDS:** Cooling circuit, Manganese, Soiling, Plate heat exchanger, Sequestrant, Trasar 3DT-190.

**DESCRIPTION:**

Soiling in Sochagota Electric Company's (C.E.S) plate heat exchangers is caused at the auxiliary water cooling system belonging to the cooling circuit. These deposits produce some problems such as heat transfer reduction, continuous equipment shutdown for cleaning, and even substitution of some constituents causing significant price increases for the company. With that in mind, there is a need to consider an alternative way to help eliminating such soiling appearance.

In this final project, the composition of the soiling settled in the plate heat exchangers of the C.E.S is being studied using the ASTM D2795 standard. A technical and economic viability analysis of a chemical product called Trasar 3DT-190 is also studied in order to be used for manganese sequestration. When in use, a decrease in the deposit of unwanted residues on the plate heat exchangers is expected and, as a consequence, the improvement of the efficiency in the operation of this equipment. The purpose of the undergraduate final project carried out in the company was to determine the performance of the sequestrant Trasar 3DT-190. It consisted in exposing the chemical product to nearly real conditions using a device where the stream of real process goes through. In addition, an economic analysis on the proposed alternative has been made in order to define the viability of implementation.

Therefore, this final project compiles the results for composition of residues, the technical viability of Trasar 3DT-190 for its usage in the auxiliary cooling circuit, and the economic comparison between the proposed implementation, and the expenses generated by soiling presence nowadays.

---

\* Final project

\*\* Physical-Chemical Engineering Department. Chemical Engineering School. Director: Luz Marina Ballesteros Rueda, Chemical Engineer, M. Sc., PhD. Codirector: José Herney Rodríguez. Chemical department head C.E.S.

## INTRODUCCIÓN

En el siguiente documento se presenta el desarrollo del trabajo de grado en modalidad práctica empresarial titulado “Análisis de viabilidad técnico-económica para la utilización de un secuestrante de manganeso en el circuito de enfriamiento de la Compañía Eléctrica de Sochagota (C.E.S)”. La realización de la práctica empresarial se lleva a cabo en las instalaciones de dicha empresa, la cual es de carácter privado, con más de 15 años de experiencia en el campo energético. Esta compañía se encuentra ubicada en el municipio de Paipa en el departamento de Boyacá y posee una capacidad máxima de generación de 165MW [1].

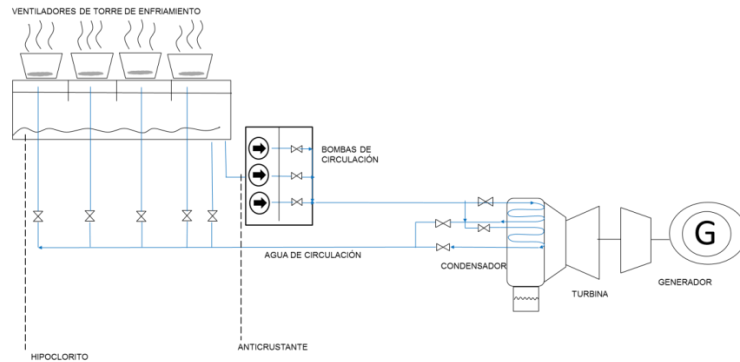
La eficiencia en todo proceso a nivel industrial es el eje fundamental para la productividad y la competitividad a nivel nacional e internacional, además es un aspecto que garantiza la certificación de estándares de calidad, los cuales se basan en la implementación de la mejora continua, condiciones seguras de sus procesos, uso eficiente del medio ambiente, entre otras, cuyas características garantizan la integridad de las instalaciones [2]. Por tal motivo, lograr la optimización de las operaciones por medio de una excelencia técnica genera la obtención de rendimientos de producción adecuados para las empresas. Es por ello que C.E.S en su afán de mantener una alta disponibilidad de potencia se enfoca en generar energía eléctrica con altos estándares de calidad, garantizando la optimización y excelentes condiciones de sus procesos para prevenir y minimizar problemas operativos derivados de la constante producción de energía eléctrica [1].

La combustión del carbón y la producción de vapor son los dos procesos fundamentales para la generación de energía eléctrica en esta compañía. El

proceso de generación de vapor inicia con la captación de agua en el río Chicamocha, la cual es enviada a un tratamiento de desmineralización por medio de operaciones como: coagulación, floculación, sedimentación, filtración, ósmosis inversa e intercambio iónico. Posteriormente, ésta agua es transportada a la caldera para su evaporación mediante la combustión de carbón, realizándose una conversión de energía química del combustible en energía térmica y esta a su vez, convirtiéndose en energía mecánica en la turbina que luego se transforma en energía electromagnética en el generador [1]. Por otra parte, el agua captada es acondicionada para el sistema de enfriamiento de la Compañía, el cual realiza una transferencia de energía entre fluidos fríos y calientes generados en las operaciones habituales, controlando las temperaturas para así aumentar la eficiencia del proceso de generación de energía. El sistema de enfriamiento de C.E.S consta de tres circuitos, definidos de la siguiente manera [1]:

- *Sistema de circulación y torre de enfriamiento*: la función en este circuito es retirar el calor generado por la condensación del vapor a la salida de la turbina de baja, el envío del agua se realiza por medio de las bombas de circulación desde la balsa de la torre de enfriamiento hacia los haces de los tubos del condensador. Allí el agua se calienta al extraer el calor del vapor y se reenvía de nuevo a la parte superior de la torre, donde se realiza un intercambio de calor entre el aire ascendente y el agua descendente, generando la evaporación de una parte de ésta que luego vuelve a ser adicionada para mantener el nivel de la misma. En la balsa de la torre de enfriamiento se adicionan productos químicos como hipoclorito de sodio y antiincrustante para control microbiano y de corrosión respectivamente. (ver **Figura 1**).

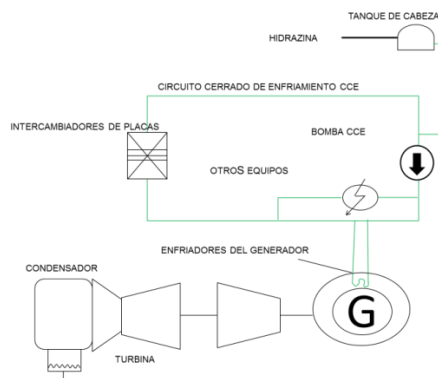
**Figura 1.** Esquema del sistema de circulación y agua de enfriamiento



**Fuente:** Tomado de curso de operaciones. Compañía Eléctrica de Sochagota [1]. Adaptado por el autor.

- Circuito Cerrado de Enfriamiento (C.C.E): es el encargado de retirar el calor generado en los equipos, siendo la fricción en cojinetes y rodamientos, la compresión de aire, el producto en los devanados, el rotor del generador y motores principales las fuentes de calor más importantes. El calor cedido por los equipos al agua del C.C.E es transferido al agua del circuito auxiliar de enfriamiento por medio de los intercambiadores de placas como se observa en la **Figura 2**.

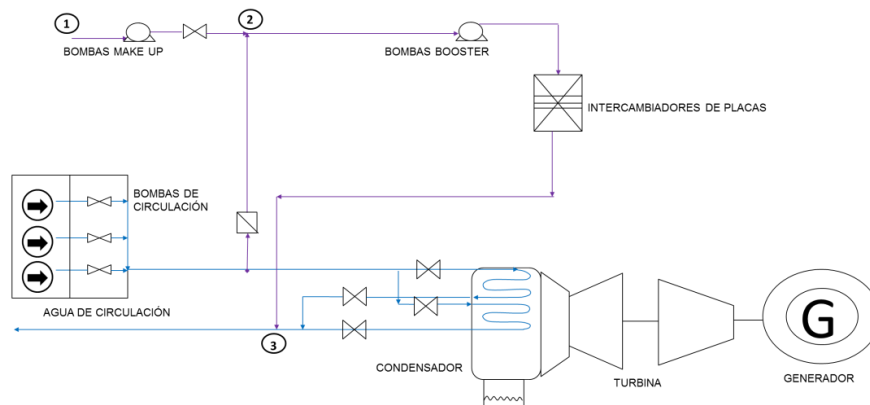
**Figura 2.** Esquema del circuito cerrado de enfriamiento



**Fuente:** Tomado de curso de operaciones. Compañía Eléctrica de Sochagota [1]. Adaptado por el autor.

- Circuito Auxiliar de Enfriamiento (C.A.E): su función es recibir el calor acumulado en el C.C.E, además de reponer el agua que se ha evaporado de la torre de enfriamiento. En la **Figura 3** se puede observar que el trayecto del agua del C.A.E se inicia en las bombas make up, las cuales toman una parte del agua de clarificación para realizar la reposición. Posteriormente esta corriente se mezcla con cierta cantidad de agua tomada de la descarga de las bombas de circulación que luego es enviada a los intercambiadores de calor por medio de las bombas booster para entonces descargarse al agua que es enviada a la torre de enfriamiento. El aprovechamiento de la temperatura del C.C.E ayuda a aumentar la eficiencia térmica del sistema de circulación y torre de enfriamiento. En el **Anexo A** se observa las condiciones operacionales de los equipos utilizados en el C.A.E.

**Figura 3.** Esquema del circuito auxiliar de enfriamiento



**Fuente:** Tomado de curso de operaciones. Compañía Eléctrica de Sochagota [1]. Adaptado por el autor.

Partiendo del conocimiento del proceso de C.E.S, su sistema de enfriamiento y su objetivo de proporcionar energía con instalaciones seguras, integrales y de calidad, se inicia la evaluación y análisis de problemas causados por la circulación del agua en el circuito de enfriamiento concretamente en el C.A.E, cuyas

condiciones han afectado el funcionamiento y estructura de los intercambiadores de calor generando la aparición de depósitos en las placas de los equipos. Tradicionalmente el depósito de cualquier material indeseable sobre la superficie del intercambiador se denomina ensuciamiento [3]. Dicho problema condujo el inicio de la investigación por parte del departamento químico de C.E.S, quienes según su experiencia en el proceso de tratamiento de agua expresan la hipótesis acerca de las posibles causas como son la precipitación de óxidos, especialmente de manganeso, generados por las condiciones oxidativas del hipoclorito de sodio (NaClO) adicionado en la torre de enfriamiento.

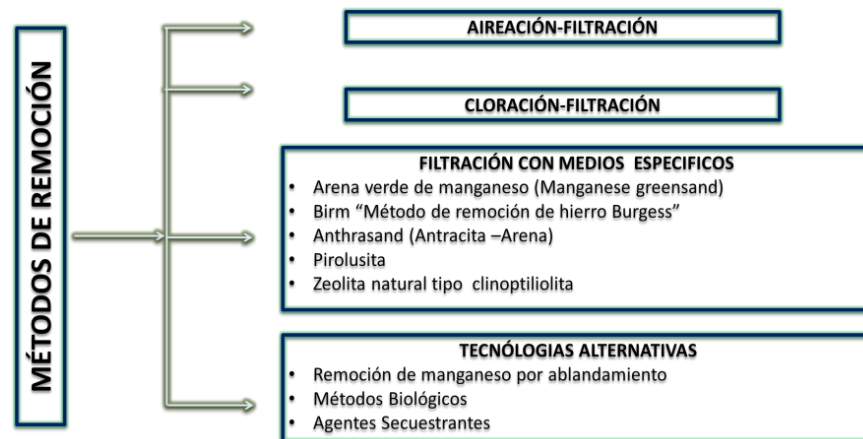
El manganeso puede existir en una amplia gama de estados de oxidación +2, +3, +4, +6, y +7. Sin embargo, el manganeso divalente ( $Mn^{2+}$ ) soluble en agua predomina en la mayoría de las aguas a pH entre 4 y 7. Mientras que los demás estados de oxidación pueden encontrarse a valores de pH más altos, o por la acción de una fuente de oxidación. Si el manganeso  $Mn^{2+}$  soluble interactúa con agentes oxidantes puede pasar a manganeso (IV) ( $Mn^{4+}$ ) y precipitar formando un recubrimiento superficial de color negro en algunos materiales [4]. En relación con lo anterior, el tratamiento de clarificación del agua en C.E.S, ha venido presentando problemas que repercuten en el agua de la torre de enfriamiento, debido a que la remoción del manganeso (II) ( $Mn^{2+}$ ) no ha sido efectivo, arrastrando dicho componente a la torre, tuberías y equipos donde se oxida y precipita.

La capa que crea dicho ensuciamiento sobre la superficie del intercambiador de calor reduce la transferencia de energía entre los fluidos y aumenta la caída de presión ocasionada por la disminución del área de flujo. Basado en lo anterior, el rendimiento térmico del intercambiador disminuye con el tiempo, resultando en un equipo insuficiente e ineficiente [5]. Además, estos efectos incurren en costos

significativos para la industria de la energía eléctrica tales como: (i) el aumento del consumo de combustible, (ii) limpiezas más frecuentes y extensas, (iii) mano de obra adicional, (iv) incluso mayor costo por tratamiento químico y (v) costos excesivos de capital para el reemplazo de componentes en algunos casos [6]. Dichos problemas están presentes en los intercambiadores de C.E.S, incluyendo el cambio de las placas, cuyo factor incrementó la inversión económica para la compañía y desencadenó la necesidad de eliminar el ensuciamiento de forma radical.

Con base en la exposición de los problemas generados por el ensuciamiento en las placas de los intercambiadores y enfocados en la solución la Figura 4 muestra de manera simplificada los métodos de remoción de manganeso convencionales a nivel industrial.

**Figura 4.** Métodos de Remoción de manganeso [7] [8]



La acción principal de la aireación-filtración, cloración-filtración, y filtración por medios, consiste básicamente en un sistema de oxidación, seguido de etapas de filtración para la remoción de manganeso insoluble. Los principales agentes

oxidantes utilizados son: oxígeno, cloro (hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio o cloro gaseoso), permanganato de potasio y ozono. La selección de la tecnología depende de la concentración de manganeso o hierro que contenga el agua a tratar. Además, dichos tratamientos se caracterizan por actuar junto a sistemas de clarificación [9]. En contraste, el secuestro es una alternativa de tratamiento menos costosa, generándose la formación de complejos que evitan la precipitación, manteniéndolos en solución sin removerlos [10]. La compañía encaminada en obtener una solución para los depósitos del agua de C.A.E, en especial el departamento químico, quienes toma la decisión de estudiar la alternativa de secuestro, con base en la asesoría de sus proveedores NALCO S.A, los cuales facilitaron un producto químico utilizado recientemente para el secuestro de óxidos de manganeso llamado TRASAR 3DT-190 [12].

Según *Knocke, Hoehn y Sinsabaugh (1987); knocke et al (1990); Carlson, Knocke and Gerting (1997)*, el secuestro no es una técnica de remoción. Este método es utilizado en situaciones específicas para retardar el proceso de formación de precipitaciones, realizando un complejo entre el manganeso soluble y el agente secuestrante para evitar la oxidación [4]. El acomplejamiento se produce cuando un ligando o un donante de electrones, en este caso el agente secuestrante, se une a un metal, formando un complejo fuerte y estable por medio de una asociación iónica o un enlace covalente [11]. Sin embargo, los agentes secuestrantes no tienen efectos duraderos y con el tiempo pueden disociar o liberar el ion metálico de nuevo, permitiendo que el metal se vincule con otros aniones del agua y precipite [10]. Con base en dicha teoría, los productos Trasar 3D son parte de un programa innovador de tratamiento de agua que utiliza esta tecnología para prevenir problemas de funcionamiento. Concretamente, el Trasar 3DT-190 es un producto especialmente formulado, donde se utiliza el *Nalco Tagged High Stress Polymer (THSP)* para control de hierro, manganeso, fosfato de calcio, zinc y deposición de sólidos suspendidos en sistemas de refrigeración

de alta tensión, y cuyo producto será sujeto de estudio. En el **Anexo B** se puede observar la descripción técnica del Trasar 3DT-190.

Para el desarrollo de este proyecto de grado se establece como objetivo general estudiar la viabilidad técnico-económica para la utilización del Trasar 3DT-190 como secuestrante de manganeso en el circuito de enfriamiento de la C.E.S. con los siguientes propósitos específicos:

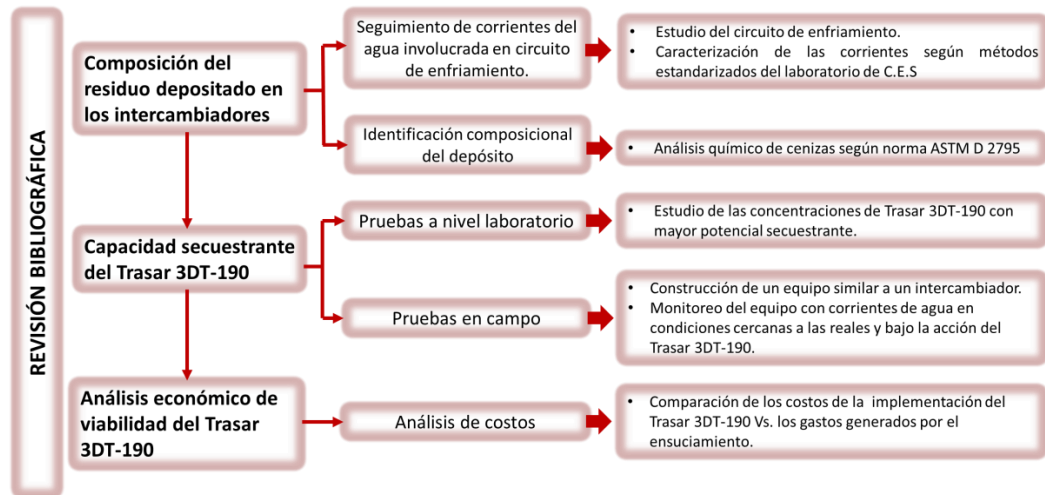
- Determinar la composición del residuo depositado en los intercambiadores del sistema de enfriamiento.
- Establecer la capacidad secuestrante del Trasar 3DT-190 para la retención del manganeso a nivel laboratorio.
- Evaluar la capacidad secuestrante del Trasar 3DT-190 para la retención del manganeso en el sistema de enfriamiento de C.E.S.
- Realizar un análisis económico de viabilidad del Trasar 3DT-190 en el sistema de enfriamiento de C.E.S.

Finalmente, los resultados y conclusiones de este trabajo de grado serán el inicio para evaluar la implementación de esta tecnología teniendo en cuenta su viabilidad técnico-económica para el circuito de enfriamiento.

# 1. METODOLOGÍA

En la **Figura 5** se plantea la metodología desarrollada en este trabajo de grado.

**Figura 5.** Esquema de la metodología realizada.



## 1.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se realizó la comprensión del proceso de generación de energía de C.E.S, partiendo del acondicionamiento del agua, producción del vapor en caldera y posterior funcionamiento de la turbina. Además se reconoció el circuito de enfriamiento de la compañía por medio de un recorrido donde se observan los equipos, las tuberías y las variables del proceso tales como: pH, conductividades, temperaturas, etc. Asimismo, se percibió el problema de los intercambiadores, por medio de registros documentados y se procedió a la recopilación de información junto con los reportes de calidad histórica del agua.

## 1.2. COMPOSICIÓN DEL RESIDUO DEPOSITADO EN LOS INTERCAMBIADORES

El ensuciamiento de las placas en los intercambiadores de calor está influenciado por las condiciones del agua del C.A.E, por tal motivo, se realizó el reconocimiento y comparación con los reportes históricos. El análisis fisicoquímico realizado a dichas corrientes de agua se rige bajo normas estándares e instrumentos calibrados y certificados presentados en el **Anexo C**. Posteriormente se realizó el muestreo y análisis de los depósitos del intercambiador por medio de un análisis químico de cenizas según la norma ASTM D2795. <sup>[13]</sup> Las muestras analizadas fueron recolectadas por el laboratorio químico de C.E.S en el mes de febrero de los años 2014 y 2015.

## 1.3. CAPACIDAD SECUESTRANTE DEL TRASAR 3DT-190

Las pruebas comenzaron con la caracterización del poder secuestrante del Trasar 3DT-190 a través de la medición de la proporción en masa del secuestrante respecto del secuestrado. Estas pruebas se llevaron a cabo a nivel laboratorio y a nivel semi-piloto.

**1.3.1. Nivel laboratorio:** En el laboratorio químico de la C.E.S se realizaron las siguientes actividades para el cumplimiento del segundo objetivo:

- Concentración agente oxidante y agente secuestrante: esta actividad permitió observar la acción oxidativa del hipoclorito de sodio y el poder secuestrante del Trasar 3DT-190; inicialmente para observar la acción oxidativa del hipoclorito

de sodio (NaClO) se diseñó un experimento basado en la determinación de la concentración apropiada de agente oxidante para oxidar aproximadamente 1 ppm de  $Mn^{2+}$  proveniente de una solución estándar de  $MnCl_2$  de 1000 ppm. Se definió un volumen de solución del estándar de 400ml, a la cual se dosifica las siguientes concentraciones de hipoclorito de sodio: 0,3; 0,5; 1; 1,3; 2,5; 5 y 10 ppm. Posteriormente se realizó una agitación y se estableció el tiempo de reacción a 5 días, luego se analizó el manganeso  $Mn^{2+}$  que no reaccionó por medio del análisis químico según norma ASTM D858-95 [14] (ver **Anexo D**), realizando previamente una filtración con microfiltro de vidrio de 0,45 micras para remover el  $Mn^{4+}$  oxidado.

Consecutivamente para observar el poder secuestrante del Trasar 3DT-190, se realizó un segundo experimento basado en la interacción de diferentes concentraciones del agente secuestrante en el rango de 0-10 ppm, con una concentración inicial fija de  $Mn^{2+}$ . Una vez que el agente secuestrante es adicionado, ésta solución se somete a la acción del agente oxidante para convertir el  $Mn^{2+}$  no secuestrado a  $Mn^{4+}$ . Dicha reacción se estableció en un periodo de tiempo definido (5 días) para luego ser valorada mediante el análisis ASTM D 858-95, realizando una previa filtración con microfiltro de vidrio de 0,45 micras para remover el  $Mn^{4+}$  oxidado y así obtener la concentración de manganeso  $Mn^{2+}$  que se deduce quedo secuestrada

**1.3.2. Nivel Campo:** continuando con el estudio de la capacidad secuestrante del Trasar 3DT-190, se diseñó un instrumento compuesto de tubos de acero inoxidable 304, cuyo material es el mismo de las placas del intercambiador.

Además, para el funcionamiento se utilizó el agua de las corrientes del C.A.E y C.C.E. El agua como en los intercambiadores circuló a contracorriente por fuera y por dentro de los tubos respectivamente.

Este equipo fue puesto en operación para realizar el seguimiento del ensuciamiento y del comportamiento del secuestrante en el agua del C.A.E. Los resultados obtenidos de los ensayos experimentales a nivel laboratorio fueron puestos a prueba en este instrumento para verificar que las concentraciones con mayor poder secuestrante en el laboratorio se comporten de forma similar en condiciones cercanas a las reales.

#### **1.4. ESTUDIO ECONÓMICO DEL TRASAR 3DT-190**

Por último, se efectuó el estudio de los costos de implementar el Trasar 3DT-190 en el circuito de enfriamiento específicamente del C.A.E de C.E.S. Este estudio se realizó con el fin de evaluar su posible ejecución y proporcionar de este modo una herramienta decisoria a la compañía. Para realizar dicho análisis se recogió la cotización realizada por la compañía de cada uno de los equipos e instrumentos requeridos para dosificar la concentración determinada de Trasar 3DT-190. A partir de dichos resultados se pretendió realiza una comparación con los gastos generados actualmente por el ensuciamiento.

## 2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 2.1. ESTUDIO DE LAS CONDICIONES FÍSICOQUÍMICAS DE LAS CORRIENTES INVOLUCRADAS EN EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Basados en la hipótesis que el manganeso es el responsable del ensuciamiento de las placas en los intercambiadores del C.A.E. se realizó una búsqueda de los antecedentes fisicoquímicos de las corrientes involucradas en el circuito de enfriamiento. Esta recopilación desde el 2009 hasta el 2014 se muestra en detalle en el **Anexo E**. Sin embargo, en la **Tabla 1** se extrae la información exclusiva concerniente al manganeso total.

**Tabla 1.** Concentraciones históricas del manganeso total desde el 2009-2014

TIPO DE AGUA	MANGANESO TOTAL (mg/l)							
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	PROMEDIO	DESVIACIÓN
Agua bruta	0,125	0,185	0,290	0,285	0,130	0,250	0,211	0,07
Agua clarificada	0,060	0,095	0,085	0,075	0,035	0,050	0,067	0,02
Agua de torre	0,210	0,335	0,180	0,205	0,245	0,260	0,239	0,05

En la **Tabla 1** se observó, por una parte, que la clarificación del agua bruta reduce la concentración de manganeso total, y por otra, que en la torre de enfriamiento dicha concentración no se mantiene en valores cercanos a esta reducción, por el contrario su concentración vuelve a aumentar e incluso sobrepasa las cifras del agua bruta. Se dedujo que dicha situación es formada por la constante recirculación, concentración y oxidación del manganeso en el sistema. Igualmente se pudo observar que en el transcurso de los años la concentración de manganeso fluctúa demasiado, a causa de la contaminación de la fuente hídrica por parte de los municipios aledaños, lo que conduce a variaciones en el proceso de clarificación.

Para el año 2015 se realizó la misma caracterización que en los históricos con la diferencia que se adiciona el análisis del agua a la entrada y salida del intercambiador de calor del C.A.E., con la finalidad de conocer de forma explícita las condiciones del agua que interactúan en el intercambiador de calor. Los parámetros analizados se encuentran expuestos en la **Tabla 2** y de ésta se dedujo que las condiciones de las corrientes de agua bruta, clarificada y de torre concuerdan en valores próximos con los antecedentes fisicoquímicos expuestos en el **Anexo E**. De igual forma, de resaltó el análisis a las corrientes de agua en la entrada y salida del intercambiador del C.A.E, permitiendo así conocer las condiciones del agua que interactúan en el intercambiador. Respecto al manganeso total se pudo observar que los valores incrementan con respecto a la concentración de manganeso en la torre, concluyendo la necesidad del tratamiento de esta agua para evitar el ensuciamiento de las placas del intercambiador de calor.

**Tabla 2.** Caracterización de las corrientes involucradas en el circuito de enfriamiento

PARÁMETRO	BRUTA	CLARIFICADA	TORRE	ENTRADA INTER	SALIDA INTER
pH	6,86	6,92	8,70	7,84	7,84
Conductividad total [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	159,73	216,25	1566,25	778,50	792,00
Sólidos totales disueltos [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	69,40	93,98	632,25	338,00	343,00
Cloro libre [ $\text{mg}/\text{l Cl}_2$ ]	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07
Turbidez[NTU]	19,52	0,92	14,91	7,07	7,43
Color[Ud.Pt-Co]	161,93	7,20	123,26	57,97	61,10
Alcalinidad p [ $\text{mg}/\text{l CaCO}_3$ ]	0,00	0,00	4,46	0,00	0,00
Alcalinidad M [ $\text{mg}/\text{l CaCO}_3$ ]	38,99	35,87	165,12	86,86	88,69
Acidez total [ $\text{mg}/\text{l CaCO}_3$ ]	7,30	4,41	0,00	2,30	2,52
Dureza total [ $\text{mg}/\text{l CaCO}_3$ ]	32,63	32,24	259,16	126,93	138,19
Dureza cálcica [ $\text{mg}/\text{l CaCO}_3$ ]	26,08	24,13	207,26	101,60	110,72
Dureza magnésica [ $\text{mg}/\text{l CaCO}_3$ ]	6,56	6,86	51,90	25,34	27,45
Sulfatos [ $\text{mg}/\text{l SO}_4^{2-}$ ]	15,20	10,66	60,95	36,24	35,84
Cloruros [ $\text{mg}/\text{l Cl}$ ]	11,32	33,95	328,05	149,05	149,15
Hierro tota [ $\text{mg}/\text{l Fe}$ ]	3,43	0,02	0,16	0,87	0,41
Sílice total [ $\text{mg}/\text{l SiO}_2$ ]	7,28	5,04	36,36	17,75	18,15
Manganeso total [ $\text{mg}/\text{l Mn}$ ]	0,14	0,03	0,12	0,15	0,14
Fosfatos[ $\text{mg}/\text{l PO}_4$ ]	1,74	0,12	3,44	1,46	1,47

## 2.2. COMPOSICIÓN DEL RESIDUO DEPOSITADO EN LOS INTERCAMBIADORES DE PLACAS

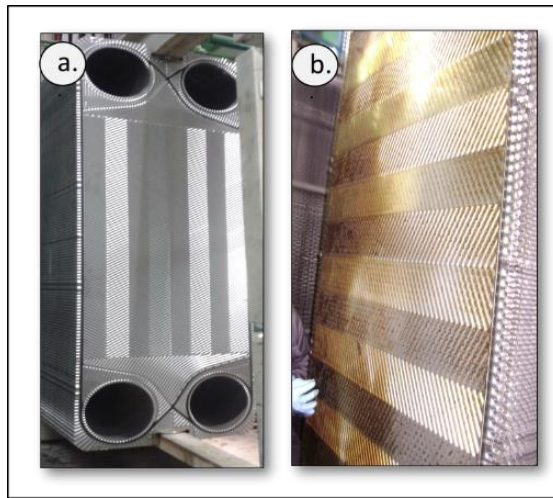
En la **Tabla 3** se muestran los resultados del porcentaje de óxido de hierro, sílice, manganeso, calcio y magnesio obtenidos del análisis químico del residuo depositado en las placas del intercambiador del C.A.E., llevándose a cabo bajo la norma ASTM D2795 (**ver Anexo F**). Este análisis químico de cenizas fue realizado a dos muestras recolectadas en el mes de febrero de los años 2014 y 2015. Los periodos de funcionamiento donde se acumuló el ensuciamiento se registraron por 6 y 3 meses respectivamente. En la **Figura 6** se puede observar el ensuciamiento de las placas del intercambiador en la limpieza realizada en el 2015.

**Tabla 3.** Porcentajes promedios de la composición del ensuciamiento

	PROMEDIO MUESTRA 1 (02-2014)	PROMEDIO MUESTRA 2 (02-2015)
	(%±DESVIACIÓN ESTÁNDAR)	(% ±DESVIACIÓN ESTÁNDAR)
Óxido de sílice	5,4±0,035	3,4±0,001
Óxido de hierro	3,2±0,001	2,6±0,002
Óxido de manganeso	42,5±1,88	22,7±0,22
Óxido de calcio	11,1±0,099	8,5±0,05
Óxido de magnesio	0±0,0	0±0,0

Con base en los resultados promedio presentados en **Tabla 3**, se evidenció que las dos muestras contiene un alto porcentaje de óxido de manganeso en su composición, deduciendo que el ensuciamiento de los intercambiadores tendría su causa principal en dicho componente, como lo planteaba el laboratorio químico de C.E.S.

**Figura 6.** Fotografías de las placas del intercambiador (a) Sin ensuciamiento y (b) con ensuciamiento.



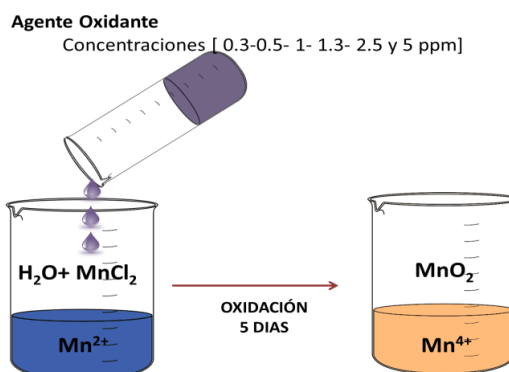
### 2.3. CAPACIDAD SECUESTRANTE DEL TRASAR 3DT-190

**2.3.1. A nivel laboratorio:** esta actividad se realizó con el fin de corroborar la funcionalidad del Trasar 3DT-190, es decir, observar la capacidad secuestrante de manganeso. Para esto se requirió la utilización de una solución estándar de  $MnCl_2$ , para así realizar una oxidación con  $NaClO$ , garantizando la base teórica de la oxidación de  $Mn^{2+}$  al  $Mn^{4+}$  y del secuestro por parte del Trasar 3DT-190. Además de confirmar lo argumentado por la empresa NALCO S.A sobre la acción secuestrante del producto químico.

- Determinación de la concentración de agente oxidante: en la **Figura 7** se observa un esquema ilustrativo del procedimiento realizado para la determinación de la acción oxidativa del  $NaClO$ . La finalidad de este experimento fue encontrar la concentración adecuada del agente oxidante para lograr una conversión aproximadamente completa de  $Mn^{2+}$  a  $Mn^{4+}$ . Los

resultados obtenidos de la aplicación de la anterior metodología son reflejados en la **Tabla 4**

**Figura 7:** Esquema del proceso de oxidación del estándar  $\text{MnCl}_2$ .



En la **Tabla 4** se muestra que la concentración experimental que se ajusta de forma más asertiva a la finalidad de la actividad es la concentración de 10 ppm de  $\text{NaClO}$ , debido a que se obtiene un porcentaje de oxidación en promedio de 97,7%, cuyo valor es el más aproximado al 100%

La expresión utilizada para determinar el porcentaje de oxidación es:

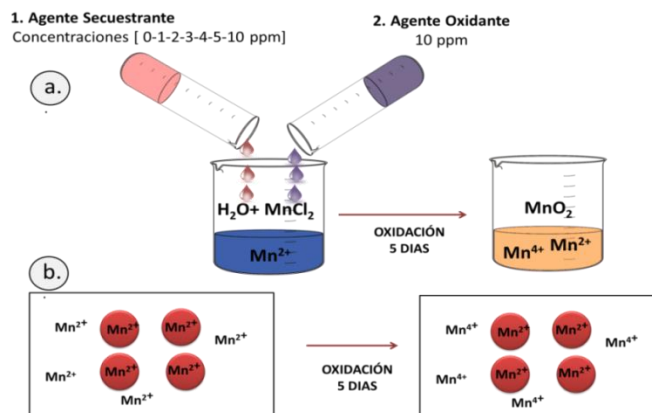
$$\% \text{Oxidación} = \frac{\text{Mn}^{2+}_{5\text{días}}}{\text{Mn}^{2+}_{\text{inicial}}} \times 100$$

**Tabla 4.** Registro de cantidades de manganeso para diferentes concentraciones de agente oxidante.

	CONCENTRACIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO [ppm]						
	0,3	0,5	1	1,25	2,5	5	10
<b><math>\text{Mn}^{2+}</math> inicial [mg]</b>	0,399	0,399	0,399	0,399	0,399	0,399	0,399
<b><math>\text{Mn}^{2+}</math> (5 días) [mg]</b>	0,374	0,366	0,360	0,326	0,313	0,198	0,009
<b>Oxidación [%]</b>	6,2	8,2	9,8	18,3	21,6	50,3	97,7

- Determinación de la capacidad secuestrante del Trasar 3DT-190: el propósito de este experimento fue la determinación de la concentración(es) con mayor poder secuestrante. Por ello para enfocar de manera más efectiva el alcance del Trasar 3DT-190 en la **Figura 8.a** se esquematiza la metodología establecida. En ella se observa la acción de diferentes concentraciones de agente secuestrante en la solución estándar, al atrapar el  $Mn^{2+}$  y mantenerlo encapsulado impidiendo la oxidación por parte del  $NaClO$ . En la **Figura 8.b** se ilustra de manera microscópica dicho fenómeno.

**Figura 8.** Esquema de interacción de la solución estándar  $MnCl_2$  con el agente secuestrante (a) a nivel laboratorio y (b) a nivel molecular.



En la **Tabla 5** se muestra que el comportamiento del secuestrante es oscilante lo que no permito observar una tendencia consistente, reportando puntos representativos dentro de las cuales se encuentra valores del 57,7%, 22,5% y 20,4% correspondiente a 10, 4 y 2 ppm de agente secuestrante. Consecuentemente, las concentraciones con mayor poder secuestrante son: 2, 4, y 10 ppm, corroborándose el argumento de NALCO S.A para recomendar el Trasar 3DT-190.

**Tabla 5.** Registro de la cantidad promedio de  $Mn^{2+}$  para diferentes concentraciones de Trasar 3DT-190.

	CONCENTRACIÓN DE TRASAR 3DT-190 [ppm]						
	0	1	2	3	4	5	10
<b>Mn<sup>2+</sup> inicial [mg]</b>	0,377	0,377	0,377	0,377	0,379	0,379	0,379
<b>Mn<sup>2+</sup> (5 días) [mg]</b>	0,001	0,054	0,077	0,055	0,085	0,049	0,218
<b>Secuestro [%]</b>	0,3	14,3	20,4	14,7	22,5	12,8	57,7

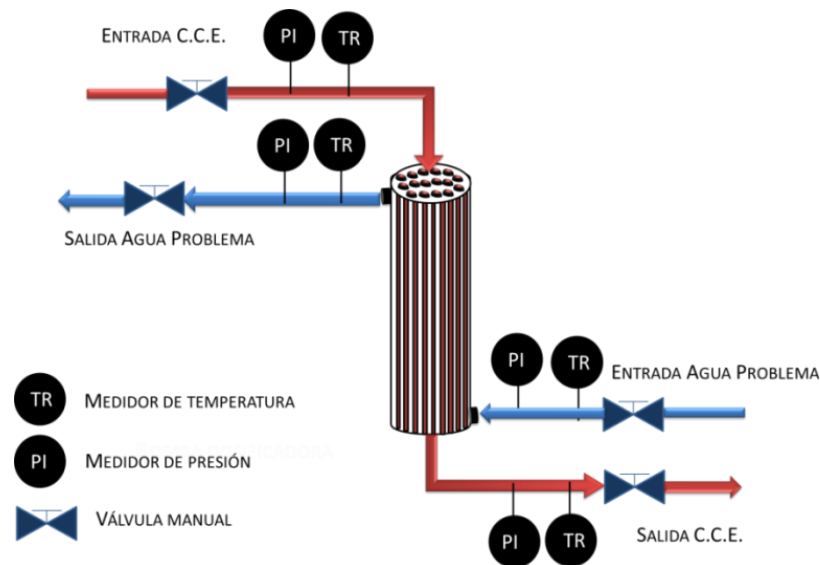
**2.3.2. A nivel campo:** la prueba realizada en campo se enfocó en someter al Trasar 3DT-190 a condiciones cercanas a las reales, es decir a que el secuestrante interactúe con la corriente a la entrada del intercambiador del C.A.E (agua problema). Además se pretendió observar dicho comportamiento por medio del ensuciamiento del material del cual se componen las placas. Con base en este propósito fue necesaria la construcción de un instrumento que conserve las siguientes características:

- *El material a ensuciar debe ser acero inoxidable 304, mismo material de las placas del intercambiador.*
- *La corriente del agua problema debe ser visible en el instrumento para observar el ensuciamiento.*
- *Debe permitir la transferencia de energía entre las corrientes que circulan por el intercambiador de calor.*

Partiendo de lo anterior el instrumento que se diseñó y fabricó se dispuso al lado de los intercambiadores de calor de C.E.S, para que las derivaciones de las corrientes llegaran al dispositivo con las condiciones fisicoquímicas en tiempo real. Como se observa en la Figura 9 el ejemplar estuvo provisto de válvulas, registrador de temperatura e indicadores presión (manómetros). Estos elementos

se dispusieron para mantener control de caudales, al igual que de la transferencia de energía, y por seguridad. Asimismo, el instrumento se construyó con una carcasa de acrílico para dejar ver el ensuciamiento de los tubos, debido a que la corriente del agua problema pasa por el exterior en forma ascendente y el agua del C.C.E ingresa por el interior de los tubos de forma descendente, definiendo un intercambio de energía en contracorriente.

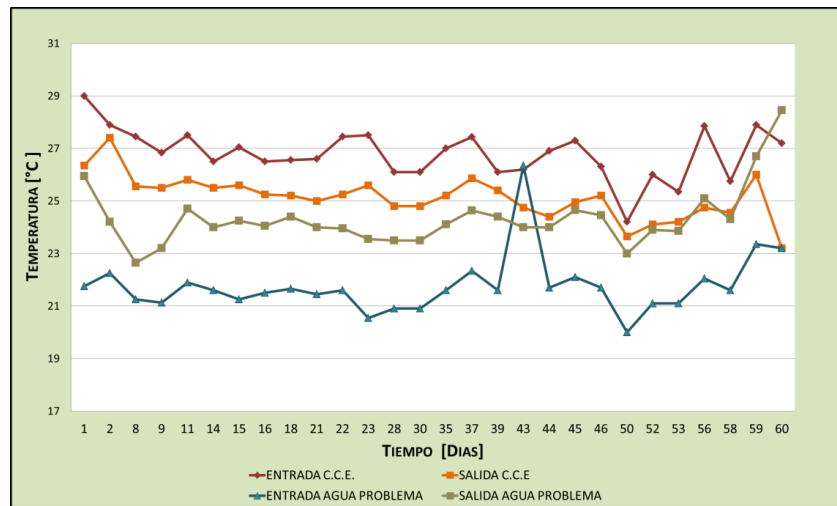
**Figura 9.** Esquema del instrumento utilizado para la prueba en campo.



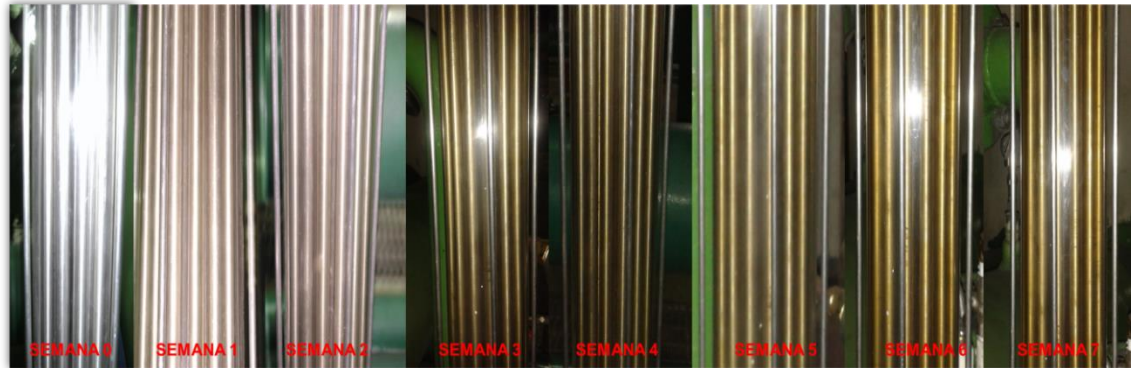
La prueba para hallar el poder del agente secuestrante a nivel campo se dividió en dos partes, en la primera se registró el ensuciamiento de los tubos sin el secuestrante y en la segunda con el secuestrante. En la etapa preliminar se conocieron las condiciones de trabajo en las que existe el intercambio de energía con la diferencia de temperatura de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

- Observación del ensuciamiento: para observar la progresión del ensuciamiento el instrumento se mantuvo en funcionamiento durante dos meses consecutivos. Después de dicho periodo se extrajeron los depósitos producidos y se realizó el respectivo análisis según la norma ASTM D2795. En el periodo de funcionamiento se registró la temperatura para asegurar el intercambio de energía entre la corriente caliente del C.C.E con un caudal de 14,7 l/h y la corriente fría del agua problema con un flujo de 30,5 l/h, reportando diferencias de temperatura de 2 y 3°C respectivamente como se observa en la **Figura 10**. Además se monitoreo la conductividad, presiones y flujos para mantener las condiciones de forma similar durante el funcionamiento del equipo. (Ver **Anexo G**).

**Figura 10.** Registro de la temperatura del instrumento para observar el ensuciamiento



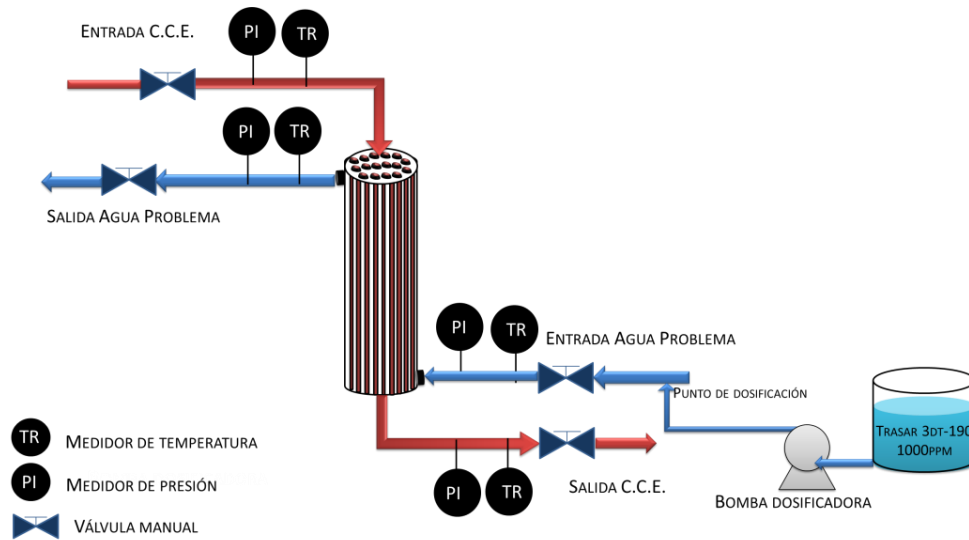
**Figura 11.** Secuencia fotográfica del ensuciamiento de los tubos del instrumento



Además tras los dos meses del desarrollo de la prueba se monitoreo fotográficamente el depósito generado como se observa en la **Figura 11**. En estas imágenes se puede observar el incremento de la intensidad del color del depósito con el paso del tiempo, corroborando el ensuciamiento producto de la circulación del agua del C.A.E.

- Observación del comportamiento de Trasar 3DT-190 en el instrumento: basados en los resultados anteriores acerca de la concentración de Trasar se decidió trabajar simplemente con la concentración más baja (2 ppm) para la prueba en el instrumento semi-piloto, ya que la compañía requiere la menor cantidad de producto químico por restricción económica. Por consiguiente, en la segunda parte de la prueba en campo, se adjuntó al instrumento una bomba dosificadora de diafragma LMI de Milton Roy para adicionar los 2 ppm de agente secuestrante al agua problema (ver **Figura 12**). La dosificación se realizó teniendo en cuenta el caudal establecido en la corriente, el stock y la velocidad de la bomba.

**Figura 12.** Esquema del montaje en campo con la dosificación de Trasar 3DT-190



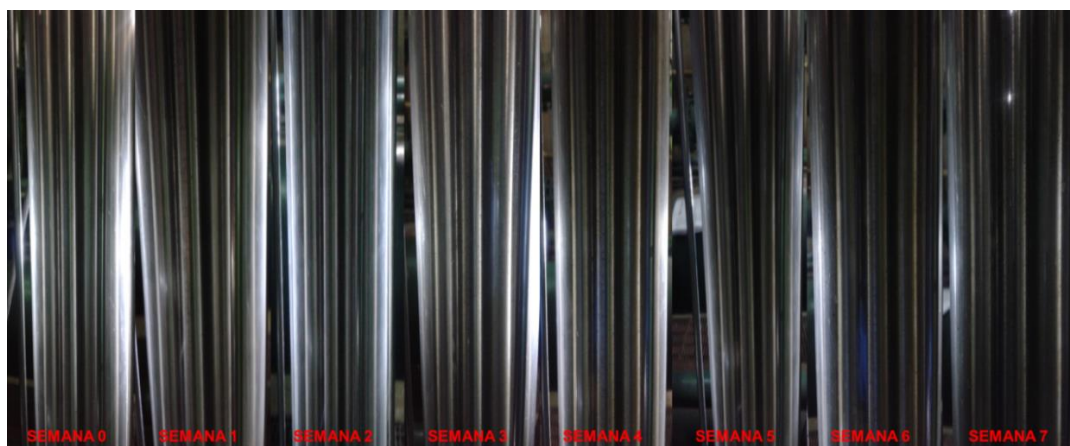
En la **Tabla 6** se presentan las condiciones de operación del instrumento en forma resumida una vez instalada la bomba dosificadora. En el **Anexo G** se encuentran el registro completo de dichas condiciones a lo largo de toda la prueba.

Durante los dos meses de operación del instrumento con dosificación de secuestrante, nuevamente se realizó un seguimiento fotográfico como se presenta en la **Figura 13**. El ensuciamiento registrado en esta parte de la prueba no evidencia claramente la progresión de color como en la primera sección de la prueba en campo, cuyo color era sobresaliente, indicando de esta forma la poca cantidad de depósitos para proporcionar la coloración observada en la **Figura 11**. Este análisis cualitativo sugiere que el Trasar 3DT-190 actuó adecuadamente como agente secuestrante, evitando así el ensuciamiento de las placas en los intercambiadores de calor.

**Tabla 6.** Condiciones promedio del instrumento con dosificación de Trasar 3DT-190

CONDICIONES	ENTRADA C.C.E	SALIDA C.C.E	ENTRADA AGUA PROBLEMA	SALIDA AGUA PROBLEMA
Temperatura [°C]	27,05	22,44	20,39	24,0
Caudal [l/h]	12,9		45,0	
Conductividad [ $\mu$ S/cm]	10,8		608	
Presión [bar]	0	0	1,2	2
	<b>BOMBA DOSIFICADORA</b>			
Stock/ min	30			
Caudal [l/h]	0,107			
Trasar 3DT-190 [ppm]	2,38			

**Figura 13.** Secuencia fotográfica del ensuciamiento de los tubos del instrumento con dosificación de Trasar



Por último, los residuos generados en el instrumento tras realizar las dos pruebas, son analizados por la norma ASTM D2795. Los resultados obtenidos fueron utilizados para realizar un análisis cuantitativo que proporcionó de forma apropiada una conclusión sobre el desempeño del Trasar 3DT-190 en el agua del C.A.E. En la **Tabla 7** se presentan la composición porcentual promedio de cada residuo, donde se pudo observar que el óxido de manganeso predomina con un porcentaje de 44,5%, en la primera prueba, deduciendo que la operación del instrumento en

campo se realiza satisfactoriamente bajo las condiciones de caudales y presión limitantes generadas durante la prueba. El porcentaje de óxido de manganeso en la segunda prueba en campo, en la cual se adicionó el Trasar 3DT-190, presentó un valor en promedio del 22,6%, deduciendo que existe una reducción en su composición debido a la acción secuestrante del producto químico, dicha reducción presenta un valor del 49,1%.

Basados en estos resultados se dedujo que la utilización del Trasar 3DT-190 en el C.A.E, técnicamente podría ser viable, cumpliendo con el propósito de evaluar de manera exitosa el producto químico como un secuestrante de manganeso, para ayudar a minimizar el ensuciamiento de las placas del intercambiador de calor. Aunque se debe tomar en cuenta que dichos experimentos son el inicio del estudio para la implementación del Trasar 3DT-190 y se debe realizar un estudio más profundo.

**Tabla 7.** Composición porcentual promedio del residuo extraído de la prueba en campo con y sin secuestrante

	MUESTRA 1 (SIN TRASAR 3DT-190)	MUESTRA 2 (CON TRASAR 3DT-190)	REDUCCIÓN [%]
	[%±DESVIACIÓN ESTÁNDAR ]	[%/DESVIACIÓN ESTÁNDAR]	
Óxido de sílice	3,5±0,011	2,4±0,009	31,8
Óxido de hierro	9,3±0,028	5,9±0,008	37,0
Óxido de manganeso	44,5±0,004	22,6±0,013	49,1
Óxido de calcio	7,5±0,04	6,4±0,08	14,9
Óxido de magnesio	0±0,0	0±0,0	0

## 2.4. ANÁLISIS DE COSTOS

Continuando con el análisis de viabilidad del Trasar 3DT-190 para la implementación en el circuito de enfriamiento de C.E.S. se realizó un estudio de costos con el fin de obtener el costo total de la inversión mensual y anual. Para C.E.S los resultados de este análisis son tomados como un estudio preliminar para orientar la decisión sobre la utilización o no del Trasar 3DT-190 como secuestrante de manganeso en el C.A.E.

Costos fijos: el cálculo es realizado partir de las cotizaciones de cada equipo e instrumento requerido para la dosificación de 2 ppm de Trasar 3DT-190. Las especificaciones de dimensionamiento y sus costos se encuentran explicados en el **Anexo H** y **Anexo I**. Sin embargo, en la **Tabla 8** se presentan los costos fijos de forma resumida para la implementación del Trasar 3DT-190.

**Tabla 8.** Costos de equipos e instrumentos para la implementación del Trasar 3DT-190

COSTO FIJOS	PRECIO TOTAL (COP)
Equipos e instrumentación	\$ 13.413.600
<b>Total:</b>	\$ 13.413.600

- Costos operacionales: este concepto constituye los costos del producto químico, mano de obra, servicios industriales y mantenimiento [15]. Los costos operaciones se presentan en la **Tabla 9**.

**Tabla 9.** Costos de operación para la implementación del Trasar 3DT-190

<b>COSTO OPERACIÓN</b>	<b>PRECIO TOTAL (COP/mes)</b>
Producto químico	\$ 14.367.039
Servicios Industriales	\$ 8.878
mantenimiento	\$ 59.204
<b>Total:</b>	<b>\$ 14.435.121</b>

El costo por operación del Trasar 3DT-190 de \$ 14.435.121 pesos colombianos se encuentra en el rango de costo de los productos químicos utilizados en la compañía, indicando por lo tanto, un indicio positivo a nivel económico sobre su posible aplicación en el C.A.E.

Finalmente, en la **Tabla 10** y **Tabla 11** se presentan el costo inicial de la implementación de la tecnología del Trasar 3DT-190 en el primer mes y año de operación. Estos resultados son estudiados por C.E.S, quienes finalmente son los que toman la decisión de implementar la tecnología.

**Tabla 10.** Costos totales mensuales para la implementación del Trasar 3DT-190

<b>COSTO</b>	<b>PRECIO TOTAL (COP/mes )</b>
Equipos e instrumentación	\$ 13.413.600
Operación	\$ 14.435.121
<b>Total:</b>	<b>\$ 27.848.721</b>

**Tabla 11.** Costos totales anuales para la implementación del Trasar 3DT-190

<b>COSTO</b>	<b>PRECIO TOTAL (COP /AÑO)</b>
Equipos e instrumentación	\$ 13.413.600
Operación	\$ 173.221.452
<b>Total:</b>	<b>\$ 186.635.052</b>

Por último, orientado a satisfacer la finalidad del análisis de costos se estableció la comparación de los resultados obtenidos anteriormente con los gastos generados por el ensuciamiento en las placas del intercambiador. Estos gastos son derivados de la constante limpieza ineficiente de los depósitos realizados manualmente por medio de cepillos y jabón biodegradable, lo que crea raspaduras en la superficie de las placas, originando perforaciones graves que constituyen el cambio de las placas.

**Tabla 12.** Comparación de costos con la tecnología Trasar vs. Gastos por ensuciamiento

CONCEPTO	COSTOS (COP)
Costo Tecnología	\$ 186.635052
Costo por cambio de las placas	\$ 335.082.926

Como se puede observar en **Tabla 12**, los gastos realizados por C.E.S a causa del ensuciamiento fueron altos comparados con los generados por la utilización del Trasar 3DT-190. Esta tecnología posee un menor costo de inversión y operación con el beneficio importante que ayuda a solucionar el problema planteado en esta práctica empresarial. Basados en estos resultados se podría concluir que el Trasar 3DT-190 tiene viabilidad económica para su utilización en el C.A.E que hace parte del circuito de enfriamiento de la C.E.S

### 3. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos del análisis de cenizas realizado según la norma ASTM D2795 sugiere que el ensuciamiento de las placas del intercambiador es generado por la precipitación de óxidos de manganeso que se encuentra en el agua del C.A.E.
- La evaluación del comportamiento del Trasar 3DT-190 a nivel laboratorio confirma la acción del agente secuestrante, impidiendo por tanto realizar el trabajo del agente oxidante, proporcionando así tres concentraciones de agente secuestrante (2; 4 y 10 ppm) con los mayores porcentajes de secuestro.
- Se evidenció cualitativa y cuantitativamente la capacidad secuestrante del Trasar 3DT-190 en pruebas a nivel campo, donde se sometió el instrumento a condiciones cercanas a las reales
- Con los resultados del análisis técnico- económico se puede establecer la viabilidad del Trasar 3DT-190 para su utilización como secuestrante de manganeso en el C.A.E de la Compañía Eléctrica de Sochagota

#### 4. RECOMENDACIONES

- Se deben realizar estudios complementarios a nivel laboratorio y en campo, con la finalidad de observar la estabilidad del secuestro del manganeso por parte del Trasar 3DT-190 y su poder secuestrante para otros óxidos.
- Realizar las pruebas en campo de las concentraciones de 4 y 10 ppm de Trasar 3DT-190, analizando y comparando técnica y económicamente las diferentes concentraciones, permitiendo observar los resultados que se ajuste de manera asertiva a la finalidad de disminuir y/o eliminar por completo el ensuciamiento en las placas del intercambiador.
- Analizar a nivel laboratorio a otras corrientes del circuito de enfriamiento, por ejemplo, el agua de la salida de las bombas de circulación de la torre de enfriamiento, para observar la efectividad, el comportamiento y la estabilidad de la acción secuestrante del Trasar 3DT-190.
- Proponer de métodos de remoción de manganeso que actúen en el sistema de clarificación para eliminarlo totalmente y asegurar que el agua de la torre de enfriamiento se encuentre libre de este componente, evitando su precipitación a causa de la oxidación por parte del hipoclorito de sodio adicionado en la torre de enfriamiento.

## CITAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] MEJIA. Carlos. Curso de Operación. Compañía Eléctrica de Sochagota. Paipa, Boyacá. 2004. P. 95

\_\_\_\_\_. 3. Antecedentes. 2004. p. 7

\_\_\_\_\_. 4. Objetivo Productivo. 2004. p. 8

\_\_\_\_\_. 6 Operación de una planta termoeléctrica. 2004. p. 10

\_\_\_\_\_. 8. Sistema de enfriamiento. 2004. P.36.

[2] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Sistemas de gestión de la calidad-Requisitos. NTC-ISO 9001. 2008. p. 42

[3] Sung Sun-Kyung Sung, Suh Sang-Ho Suh, Kim Dong-Woo Kim. Characteristics of cooling water fouling in a heat exchange system. En: Journal of Mechanical Science and Technology. Vol. 22, No. 8. (Aug, 2008). p. 1568-1575

[4] KOHL, Paul M. y MEDLAR, Steven J. Occurrence of Manganese in Drinking Water and Manganese Control. Denver. AwwaRF and AWWA. 2006. p. 184

\_\_\_\_\_. Chapter 1. Introduction. 2006. P. 1-9.

\_\_\_\_\_. Chapter 2. Literature Review. 2006. P. 11- 48

[5] KANANEH, Ali Bani. PESCHEL, Julian. Fouling in Plate Heat Exchangers: Some Practical Experience. [En línea]. InTech 2012, Capítulo 20. [Citado el 13

Julio 2015]. p. 533-550. Disponible en:  
<http://www.intechopen.com/articles/show/title/fouling-in-plate-heat-exchangers-some-practical-experience> [http://www.intechopen.com/download/pdf/pdfs\\_id/30779](http://www.intechopen.com/download/pdf/pdfs_id/30779)

[6] DICKINSON, W.H. PICK, R.W. Manganese-dependent corrosion in the electric utility industry. Annual Conference and Exhibition, Denver. NACE Conference Papers. (NACE International). December 31. 2002. p. 1-3.

[7] BURBANO, L. SANCHEZ, L.D. Remoción de hierro y manganeso por oxidación –filtración para agua potable. En: Documento presentado en el Seminario Internacional: Visión Integral en el Mejoramiento de la calidad del agua. Cinara, Instituto de investigación y desarrollo en abastecimiento de agua, saneamiento ambiental y conservación del recurso hídrico de la universidad del valle.2005. p. 1-5

[8] PIÑA, Martín. Y RIVERA, María de Lourdes. Lineamientos Para La Optimización Del Diseño, Construcción Y Operación De La Tecnología De Hierro Y Manganeso En Agua Potable. Informe Final. Comisión Nacional del agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 2013. p. 21-29.

[9] MARIN, Lina María. Remoción de hierro y manganeso por oxidación con cloro y filtración en grava. Trabajo de grado de Maestría en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Santiago de Cali. Universidad del valle, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de recursos naturales y del ambiente, 2011. p. 22-26

[10] COELHO, Jessica. KUCHER, Katrina. TING, Aaron. Optimizing sequestration of Manganese (II) with Sodium Triphosphate. Report Project of Bachelor of Science. Faculty of Worcester polytechnic Institute. 2008. p. 1-12.

[11] VOLPE, Danielle. Assessment of iron and manganese sequestration. Master's report of science in environmental engineering. University of Massachusetts-Amherst. Department of Civil and Environmental Engineering. 2012. p. 8

[12] NALCO. S.A MATERIAL SAFETY DATA SHEET. Trasar 3DT-190. [Citado 13 sept-2015]. Disponible en:  
<http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0722/ML072280061.pdf>

[13] ASTM INTERNATIONAL STÁNDARDS WOLDWIDE. Standard Test Methods for Analysis of Coal and Coke. Designation D2795. [Citado 4 feb 2015]. Disponible en: <http://ezproxy.uis.edu.co:2865/download/D2795-WITHDRAWN.31277.pdf>

[14] ASTM INTERNATIONAL STÁNDARDS WOLDWIDE. Standard Standard Test Methods for Manganese. [Citado 3 May 2015]. Disponible en: <http://ezproxy.uis.edu.co:2865/download/D858-95.9834.pdf>

[15] JIMENEZ, A. Diseño de procesos en ingeniería química. Editorial Reverté S.A. México. 2003 p. 9

## BIBLIOGRAFÍA

ASTM INTERNATIONAL STÁNDARDS WOLDWIDE. Standard Test Methods for Analysis of Coal and Coke. Designation D2795. [Citado 4 feb 2015]. Disponible en: <http://ezproxy.uis.edu.co:2865/download/D2795-WITHDRAWN.31277.pdf>

ASTM INTERNATIONAL STÁNDARDS WOLDWIDE. Standard Standard Test Methods for Manganese. [Citado 3 May 2015]. Disponible en: <http://ezproxy.uis.edu.co:2865/download/D858-95.9834.pdf>

BURBANO, L. SANCHEZ, L.D. Remoción de hierro y manganeso por oxidación – filtración para agua potable. En: Documento presentado en el Seminario Internacional: Visión Integral en el Mejoramiento de la calidad del agua. Cinara, Instituto de investigación y desarrollo en abastecimiento de agua, saneamiento ambiental y conservación del recurso hídrico de la universidad del valle. 2005. p. 1-5

COELHO, Jessica. KUCHER, Katrina. TING, Aaron. Optimizing sequestration of Manganese (II) with Sodium Triphosphate. Report Project of Bachelor of Science. Faculty of Worcester polytechnic Institute. 2008. p. 1-12.

DICKINSON, W.H. PICK, R.W. Manganese-dependent corrosion in the electric utility industry. Annual Conference and Exhibition, Denver. NACE Conference Papers. (NACE International ). December 31. 2002. p. 20.

IXTEPAN, Gabriel. Reducción del factor de ensuciamiento en intercambiadores de calor de un solo paso mediante la aplicación de un óptimo tratamiento químico al agua de enfriamiento. Trabajo de grado en ingeniería química. Facultad de Ingeniería química. Universidad Veracruzana. Coatzacoalcos. 2009. p. 60

JIMENEZ, A. Diseño de procesos en ingeniería química. Editorial Reverté S.A. México. 2003 p. 9

KANANEH, Ali Bani. PESCHEL, Julian. Fouling in Plate Heat Exchangers: Some Practical Experience. [En línea]. InTech 2012, Capítulo 20. [Citado el 13 Julio 2015]. p. 533-550. Disponible en:

<http://www.intechopen.com/articles/show/title/fouling-in-plate-heat-exchangers-some-practical-experience> [http://www.intechopen.com/download/pdf/pdfs\\_id/30779](http://www.intechopen.com/download/pdf/pdfs_id/30779)

KOHL, Paul M. y MEDLAR, Steven J. Occurrence of Manganese in Drinking Water and Manganese Control. Denver. AwwaRF and AWWA. 2006. p. 184

KUOSMANEN, T. PELTORA, M. RAULIO, M. PULLIAINEN, M. LAURILA, T. SELIN, J-F. HUOPALAINEN and SALKINOJA-SALONEN, M. Effect of polarization on manganese biofouling of Heat exchanger surfaces. En: Proceeding of the 6<sup>th</sup> International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning: Challenges and Opportunities. ECI Symposium Series. Kloster Irsee, Germany. 2005. p. 283-288

MARIN, Lina María. Remoción de hierro y manganeso por oxidación con cloro y filtración en grava. Trabajo de grado de Maestría en Ingeniería Sanitaria y

Ambiental. Santiago de Cali. Universidad del valle, Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de recursos naturales y del ambiente, 2011. p. 22-26

MEJIA. Carlos. Curso de Operación. Compañía Eléctrica de Sochagota. Paipa, Boyacá. 2004. P.95

NALCO S.A. MATERIAL SAFETY DATA SHEET. Trasar 3DT-190. [Citado 13 sept-2015]. Disponible en:  
<http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0722/ML072280061.pdf>

PIÑA, Martín. Y RIVERA, María de Lourdes. Lineamientos Para La Optimización Del Diseño, Construcción Y Operación De La Tecnología De Hierro Y Manganeso En Agua Potable. Informe Final. Comisión Nacional del agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 2013. p. 21-29

RODRIGUEZ, Marco Antonio. Análisis de Impacto que causan al ambiente los tratamientos químicos en sistemas de enfriamiento Industriales. Trabajo de grado en maestría en ciencias en ingeniería ambiental. Escuela superior de ingeniería y arquitectura. Unidad Zacateco. Sección de estudios de postgrado e investigación. 2012. México D.F. p. 88

SLY, L.I. HODGKINSON, M.C. and ARUNPAIROJNA Vullapa. Deposition of manganese in drinking water distribution system. En: Applied and Environmental Microbiology. Vol. 56. No. 3. (Mar, 1990). p. 628-639

Sung Sun-Kyung Sung, Suh Sang-Ho Suh, Kim Dong-Woo Kim. Characteristics of cooling water fouling in a heat exchange system. En: Journal of Mechanical Science and Technology. Vol. 22, No. 8. (Aug, 2008). p. 1568-1575

VOLPE, Danielle. Assessment of iron and manganese sequestration. Master's report of science in environmental engineering. University of Massachusetts-Amherst. Department of Civil and Environmental Engineering.2012. p. 8

## ANEXOS

**Anexo A.** Condiciones operacionales de los equipos del circuito auxiliar de enfriamiento.

- Bombas Make Up.

**Tabla A. 1.** Condiciones de operación de Bomba Make up

Caudal	404 m <sup>3</sup> /h
Líquido Bombeado	Agua Clarificada
Temperatura	16°C
Tipo	Centrifuga
Disposición	Horizontal
Velocidad	1780 RPM
Motor	Tipo Eléctrico
Presión Máxima de Trabajo	5 bar

**Fuente:** Manual de operaciones. Compañía Eléctrica de Sochagota.[1]

- Bombas Booster.

**Tabla A. 2.** Condiciones de operación de Bomba Booster

Caudal	450 m <sup>3</sup> /h
Líquido Bombeado	Agua Clarificada
Temperatura	33 °C
Tipo	Centrifuga
Disposición	Eje Horizontal
Velocidad	1160 R.P.M.
Presión Máxima de Trabajo	10 bar

**Fuente:** Manual de operaciones. Compañía Eléctrica de Sochagota. [1]

- Bombas del C.C.E.

**Tabla A. 3.** Condiciones de operación de Bomba Booster

Caudal	750 m <sup>3</sup> /h
Líquido Bombeado	Agua Desmineralizada.
Temperatura	39° C
Tipo	Centrifuga.
Disposición	Eje Horizontal.
Velocidad	1780 RPM
Presión Máxima de Trabajo	10 bar

**Fuente:** Manual de operaciones. Compañía Eléctrica de Sochagota. [1]

- Intercambiadores de placas: Los intercambiadores de placas GEA están contruidos con materiales de alta calidad. Los componentes normalizados, es decir los armazones, placas, piezas de conexión, placas intermedias son combinados para producir unidades compactas con altas capacidades de transferencia térmica. Por la adición o retirada de placas y el cambio de pasos se puede modificar para nuevas condiciones de operación. Los intercambiadores de placas se encuentran configurados en contracorriente como se observa la siguiente figura. Por la entrada superior circula el agua del C.C.E y por la entrada inferior circula el agua del C.A.E.

**Figura A. 1.** Intercambiadores de calor de C.E.S



**Figura A. 2.** Configuración operacional de los intercambiadores de placas de C.E.S



Las condiciones de operación de los intercambiadores de placas de C.E.S se especifican en la siguiente tabla:

**Tabla A. 4.** Condiciones operacionales de los intercambiadores de placas

DATOS DE OPERACIÓN	AGUA DE C.C.E.	AGUA DE C.A.E
Presión de Diseño	8 bar	6 bar
Presión de prueba	12 bar	8 bar
Temperatura de Diseño	50 ° c	50 ° c
Volumen	587 lt	587 lt
Superficie de intercambio	316.16 m <sup>2</sup>	316.16 m <sup>2</sup>
Temperatura de Entrada	39,6 °C	24,6 °C
Temperatura de Salida	32 °C	37,3°C

**Fuente:** Manual de operaciones. Compañía Eléctrica de Sochagota. [1]

## Anexo B. Cotización y descripción técnica del Trasar 3DT-190 por Nalco S.A.

A continuación se presenta la cotización realizada por C.E.S a Nalco S.A para observar la viabilidad económica del Trasar 3DT-190.



Avenida Calle 100 No. 19-54 Piso 4  
Bogotá, Colombia

Bogotá, Febrero 19 de 2015

### HERNEY RODRIGUEZ

Jefe Departamento Químico Termopaipa IV.

**Asunto:** Propuesta comercial cambio 3DT-190 para dispersión en línea de manganeso para protección de intercambiador de placas del transformador.

Estimado Ingeniero Herney, a continuación puede encontrar la propuesta comercial para la tecnología 3DT-190 que es un polímero utilizado para la dispersión de manganeso en el agua de alimentación al circuito de enfriamiento.

### Cotización material 3DT-190.

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO [\$ USD/KG]	PRESENTACIÓN DE PRODUCTO, [KG]	COSTO TOTAL [\$USD]
NALCO 3DT-190	Dispersión de sales y metales pesados en el agua para evitar precipitación	6,9 USD/KG	160 KG	1,104 \$USD

### Proyecciones de consumo y comparación con el 3DT-190

DOSIS DE ACUERDO A PRUEBAS PRECISAS.	CAUDAL PARA BASE DE CÁLCULO DE COSTOS MENSUALES	CONSUMO 3DT-190 PROYECTADO	COSTO 3DT-190 PROYECTADO
3 ppm	350 m <sup>3</sup> /h	756Kg/mes	5,216.4 USD/Mes

## **BENEFICIOS DE LA TECNOLOGÍA**

Evita la precipitación de sales minerales y metales pesados como hierro y manganeso, previniendo el daño de intercambiadores por formación de depósitos y corrosión bajo depósito.

Mantiene eficiencia térmica, equipos limpios, evita riesgos en la operación por paradas no programadas y daños a los equipos por efecto de formación de depósitos.

Como antecedentes a la presentación de esta propuesta se presenta el caso del intercambiador de placas utilizado en el circuito de refrigeración, el cual es refrigerado con agua potable no tratada para prevenir corrosión e incrustaciones, lo que ha generado el daño de un juego de placas debido a la formación de depósitos de manganeso y corrosión bajo depósitos que ha generado micro-perforaciones en las placas.

## **CONDICIONES COMERCIALES**

- Validez de la oferta entra dentro de los términos de negociación del acuerdo global para los demás productos de NALCO S.A.
- Los demás términos serán los del acuerdo global para los demás productos.

Cordialmente.

**FERNANDO JOSE HERRERA A  
CUELLAR**

Gerente de área WPS centro

**RAFAEL SARMIENTO**

Representante de distrito III

## 3D TRASAR

### 3DT190



*Cooling Water Dispersant*

#### PRODUCT DESCRIPTION AND APPLICATION

**3D TRASAR** products are part of an innovative water treatment program that uses proven technology to prevent operational problems. **3D TRASAR** technology compensates for both routine and special causes of system variation. **3D TRASAR** programs provide a return on your investment through their unique control and diagnostic capabilities.

**3D TRASAR 3DT190** technology is a specially formulated product using the Nalco Tagged High Stress Polymer (THSP) to control iron, manganese, calcium phosphate, zinc and suspended solids deposition in **High Stress** cooling water systems

Stresses that may require the use of THSP are:

- Water temperature > 135°F (57°C)
- Skin temperature > 160°F (71°C)
- Flow rates < 2 feet per second
- Calcium > 750 ppm
- Phosphate > 30 ppm
- Iron > 2 ppm
- Aluminum > 0.5 ppm
- Holding Time Index (HTI)

**3D TRASAR 3DT190** technology can also be used in food processing equipment such as hydrostatic cookers, retorts, and pasteurizers

#### PHYSICAL & CHEMICAL PROPERTIES

These properties are typical. Refer to the Safety Data Sheet (SDS) for the most current data

<b>Color</b>	Clear to hazy-colorless to brown
<b>Form</b>	Liquid
<b>Odor</b>	None
<b>Density</b>	10.6 lb/gal (1.27 kg/L)
<b>Solubility in wáter</b>	Complete
<b>Specific Gravity @ 71°F [22°C]</b>	1.27
<b>pH (neat)</b>	4.5-6.0
<b>Viscosity @ 71°F [22°]</b>	600 cp
<b>Freeze Point</b>	13°F (-11°C)
<b>Pour Point</b>	15°F (-9°C)
<b>Boiling Point @ 760 mm Hg</b>	212°F (100°C)
<b>Flash Point [PMCC]</b>	None

### ACTIVE CONSTITUENTS

ACTIVE	FUNCTION
Tagged High Stress Polymer (THSP)	Calcium phosphate, zinc, iron, manganese, and suspended solids

### REGULATORY APPROVALS

**3D TRASAR 3DT190** technology is intended for industrial use only. It should not be fed to potable water systems. Refer to the Regulatory Certifications (RCR) document for the most recent information on approvals.

### DOSAGE AND FEEDING

The dosage of **3D TRASAR 3DT190** product will vary with water chemistry and other site specific parameters. Consult your Nalco sales engineer for specific dosage and feeding recommendations.

The **3D TRASAR 3DT190** system must be fed continuously to assure adequate levels of chemical residual are maintained at all times. Slug feeding must be avoided because it will result in periods of high and low levels of chemical residual.

The **3D TRASAR 3DT190** system must be fed where rapid mixing will occur, and be distributed throughout the system. In most situations, feeding to a location just prior to the suction side of the circulating water pump is recommended. Do not feed two products at the same application point where localized product mixing can occur. Do not mix with other chemicals. Unwanted interactions may occur that will decrease or destroy the product's

effectiveness. Check chemical inventory and feed rate regularly. Loss of feed will result in increased corrosion.

#### **ENVIROMENTAL AND TOXICITY DATA**

Biological Oxygen Demand (5-day BOD <sub>5</sub> )	19,800 ppm
Chemical Oxygen Demand (COD)	410,000 ppm
Total Organic Carbon (TOC)	140,000 ppm

Refer to the Safety Data Sheet (SDS) for all available mammalian and aquatic toxicity information.

#### **SAFETY AND HANDLING**

Refer to the Safety Data Sheet (SDS) for the most current data. **3D TRASAR 3DT190** product is mildly acidic and may cause eye or skin irritation, with prolonged contact. Chemical-resistant gloves and safety goggles/face shield should be worn when handling **3D TRASAR 3DT190** equipment.

#### **STORAGE**

**3D TRASAR 3DT190** equipment should be stored in a location where the product temperature can be kept in a range between 32°F (0°C) and 120°F (49°C). Recommended in-plant storage limit is one year. Refer to the Safety Data Sheet (SDS) for the most current data.

#### **REMARKS**

If you need assistance or more information on this product, please call your nearest Nalco Representative.

For more news about Nalco Company, visit our website: [www.nalco.com](http://www.nalco.com)

For **Medical and Transportation Emergencies** involving Nalco products, please see the Material Safety

Data Sheet for the phone number.

#### **ADDITIONAL INFORMATION**

3D TRASAR, TRASAR, Ecolab, Nalco and the Logos are trademarks of Ecolab USA Inc. All other trademarks are the property of their respective owners.

©2014 Ecolab USA Inc. All Rights Reserved.

**Nalco an Ecolab Company.**

Subsidiaries and Affiliates in Principal Locations around the World.

2014 Ecolab USA, Inc. All Rights Reserved

## Anexo C. Normas e instrumentos de los métodos de análisis utilizados.

**Tabla C. 1.** Normas e instrumentos utilizados para análisis químicos.

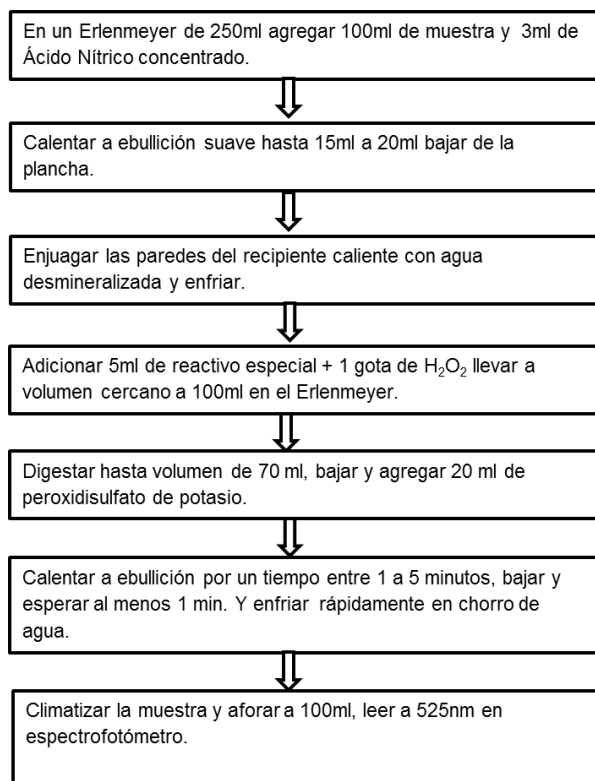
PARÁMETRO	MÉTODO DE ANÁLISIS	INSTRUMENTOS	
pH	ASTM D1293-99	pH METRO HACH	
Conductividad total ( $\mu\text{S/cm}$ )	ASTM D1125-95	Conductivímetro CDM 230 Conductivímetro WTW 315i	
Sólidos totales disueltos (mg/l)	ASTM 5907-10	Conductivímetro CDM 230	
Cloro libre (mg/l $\text{Cl}_2$ )	ASTM D1253-86	Espectrofotómetro DR/2000 Hach	
Turbidez(NTU)	ASTM D1889-00	Espectrofotómetro	
Color(Ud.Pt-Co)	ASTM 1209-05	Beckman DU 650	
Alcalinidad p (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	ASTM 1067-92	Titrimo plus 848 Metrohm	
Alcalinidad M (mg/l $\text{CaCO}_3$ )			
Acidez total (mg/l $\text{CaCO}_3$ )			
Dureza total (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	ASTM 1126-92		
Dureza cálcica (mg/l $\text{CaCO}_3$ )			
Dureza magnésica (mg/l $\text{CaCO}_3$ )			
Cloruros(mg/l Cl)	ASTM D512-12	Espectrofotómetro Beckman DU 650	
Sulfatos (mg/l $\text{SO}_4^{2-}$ )	STANDAR METHOD 4500-SO <sub>4</sub>		
Hierro tota (mg/l Fe)I	ASTM D1068-96		
Sílice total(mg/l $\text{SiO}_2$ )	ASTM 859-00		
Manganeso tota (mg/l Mn)I	ASTM 858-95		
Fosfatos(mg/l $\text{PO}_4$ )	ASTM 4327 O ASTM 515		

## Anexo D. Análisis de Óxido de Manganeso: Norma ASTM D858-95 [14]

### REACTIVOS:

- *Ácido nítrico concentrado*
- *Reactivo especial para manganeso: Disolver 75g de Sulfato de Mercurio en una solución conformada por 200ml de agua desmineralizada a la que se le adicionan lentamente 400ml de Ácido Nítrico, cuando haya disuelto el Sulfato de Mercurio, adicionar 200ml de Ácido orto fosfórico del 85% y 0,1g de Nitrato de Plata, Agitar hasta disolución total del Nitrato, luego completar a un volumen de 1000ml.*
- *Peróxido de hidrógeno*
- *Peroxidisulfato de potasio 5%: Se pesa 50g del reactivo y se lleva a 1000ml.*

### METODOLOGÍA



**Anexo E.** Antecedentes fisicoquímicos de las corrientes de agua involucradas en el circuito de enfriamiento.

En las **Tabla E. 1** a la **Tabla E.2** se muestran el promedio de las condiciones del agua (bruta, clarificada y torre de enfriamiento) utilizada en el sistema de enfriamiento desde el 2009 hasta el 2014.

**Tabla E. 1.** Promedios de las condiciones del agua bruta del 2009-2014

PARÁMETROS	2009	2010	2011	2012	2013	2014
pH	7,1	7,1	7,1	7,1	6,9	7,0
Conductividad Total ( $\mu\text{S/cm}$ )	130,0	143,5	132,5	136,0	161,5	162,5
Totales Disueltos (mg/l)	64,0	85,0	69,5	95,0	74,5	63,5
Turbidez (NTU)	28,5	28,5	35,0	34,0	17,0	20,5
Color (Ud.Pt-Co)	152,0	203,0	248,5	182,0	167,5	171,0
Alcalinidad (mg/l $\text{CaCO}_3$ ) M	26,5	26,0	24,0	25,0	35,0	28,5
Acidez Total (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	5,0	5,0	4,0	7,0	9,5	6,5
Dureza Total (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	43,0	57,0	40,0	49,0	61,5	46,5
Dureza Cálcica (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	32,0	34,5	27,5	38,0	31,5	32,5
Dureza Magnésica (mg/l $\text{CaCO}_3$ )	10,5	23,0	12,0	18,0	29,0	14,0
Sulfatos (mg/l $\text{SO}_4^{2-}$ )	10,9	15,8	16,3	23,4	24,7	28,7
Cloruros (mg/l Cl)	13,8	11,9	13,5	10,8	15,4	9,0
Hierro Total (mg/l Fe)	1,8	2,3	3,4	2,8	1,3	1,9
Sílice Soluble (mg/l $\text{SiO}_2$ )	7,1	7,3	9,8	5,5	6,8	6,7
Sílice Coloidal (mg/l $\text{SiO}_2$ )	9,4	8,5	13,5	8,5	9,1	10,9
Manganeso (mg/l Mn)	0,125	0,185	0,29	0,285	0,13	0,25

**Tabla E. 2.** Promedios de las condiciones del agua clarificada del 2009-2014

PARÁMETRO	2009	2010	2011	2012	2013	2014
pH	6,5	6,5	6,8	7,0	6,7	6,8
Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	173,5	206,5	193,5	186,0	222,5	241,0
Sól.Tot. Disueltos (mg/l)	90,5	129,5	109,5	94,0	110,5	86,5
Cloro Libre (mg/l $\text{Cl}_2$ )	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,3
Turbidez (NTU)	2,3	0,9	0,5	0,5	0,5	0,5
Color (Ud.Pt-Co)	13,0	9,5	9,0	8,5	10,5	10,5
Alcalinidad (mg/l $\text{CaCO}_3$ ) M	13,0	13,0	11,0	20,0	25,0	21,0

<b>Acidez Total (mg/l CaCO<sub>3</sub>)</b>	6,5	6,0	7,5	8,0	8,0	6,0
<b>Dureza Total (mg/l CaCO<sub>3</sub>)</b>	48,0	62,5	51,5	57,0	59,0	42,0
<b>Dureza Cálcica (mg/l CaCO<sub>3</sub>)</b>	36,0	40,0	39,0	35,0	30,5	32,0
<b>Dureza Magnésica (mg/l CaCO<sub>3</sub>)</b>	12,0	22,0	12,5	24,0	18,0	10,0
<b>Sulfatos (mg/l SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</b>	32,4	31,3	36,9	23,0	20,7	22,6
<b>Cloruros (mg/l Cl)</b>	18,8	19,0	29,0	22,2	43,8	39,5
<b>Hierro Total (mg/l Fe)</b>	0,1	0,05	0,05	0,1	0,05	0,03
<b>Sílice Soluble (mg/l SiO<sub>2</sub>)</b>	5,0	5,4	6,4	3,2	6,0	5,5
<b>Manganeso (mg/l Mn)</b>	0,06	0,095	0,085	0,075	0,035	0,05

**Tabla E. 3.** Promedios de las condiciones del agua torre de enfriamiento del 2009-2014

<b>PARÁMETRO</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	25,5	25	23,0	21,5	24,5	24
<b>pH</b>	8,2	8,1	8,0	8,3	8,6	8,6
<b>Conductividad total (µS/cm)</b>	1110,5	1165,0	1087,5	1252,0	1568,0	1316,0
<b>Turbidez (NTU)</b>	14,5	14,0	9,5	14,0	13,5	12,0
<b>Sólidos Totales Disueltos (mg/l)</b>	531,0	589,5	544,0	611,0	730,0	503,5
<b>Alcalinidad M (mg/l CaCO<sub>3</sub>)</b>	56,0	56,5	52,5	92,0	138,0	128,0
<b>Dureza Total (mg/l CaCO<sub>3</sub>)</b>	263,0	314,0	257,5	273,5	320,5	247,0
<b>Dureza Cálcica (mg/l CaCO<sub>3</sub>)</b>	211,5	221,0	194,0	190,0	234,0	201,5
<b>Cloro Libre (mg/l Cl<sub>2</sub>)</b>	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2
<b>Fosfatos (mg/l PO<sub>4</sub>)</b>	3,2	3,0	2,5	2,8	2,5	2,6
<b>Cloruros (mg/l Cl)</b>	128,5	136,5	169,0	219,0	272,5	232,0
<b>Sulfatos (mg/l SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</b>	103,5	95,0	76,0	77,0	80,5	71,5
<b>Hierro Total (mg/l Fe)</b>	0,5	0,4	0,2	0,4	0,3	0,3
<b>Manganeso (mg/l Mn)</b>	0,21	0,34	0,18	0,2	0,25	0,26

## Anexo F. Método para Análisis de Cenizas ASTM D2795-86 DE 1995 [13]

### GENERALIDADES

La muestra a ser analizada es cenizado bajo condiciones estándares y quemado a peso constante. Se obtienen dos soluciones de ceniza.

**La solución A:** Se obtiene de la fusión de la ceniza con soda grado analítico (NaOH), seguido de la dilución de la mezcla con ácido clorhídrico (HCl) concentrado. Esta solución es usada para determinar análisis de óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y sílice ( $\text{SiO}_2$ ).

**La solución B:** Es preparada de la descomposición de la ceniza con ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentrado. Esta solución es usada para determinar análisis de óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), óxido de calcio (CaO) y óxido de magnesio (MgO).

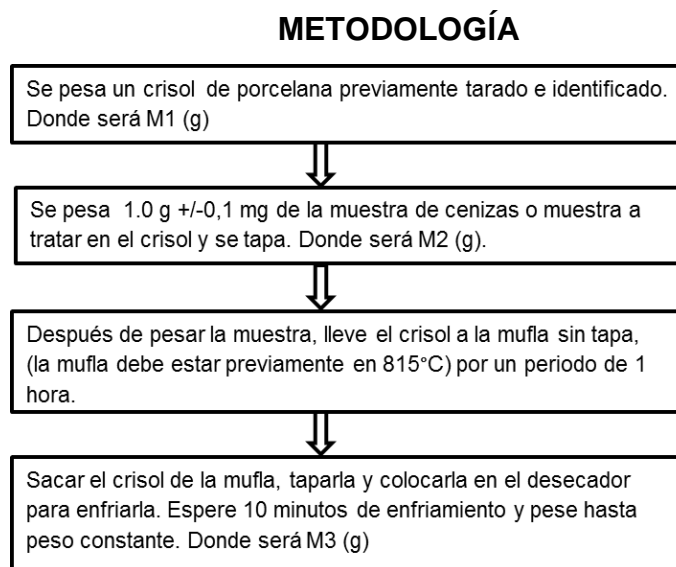
- Preparación de la muestra de ceniza:
  - ✓ Preparar de 3 a 5 g de cenizas a partir de la muestra seca, pulverizado.
  - ✓ Esparcir la muestra en capa no mayor a  $\frac{1}{4}$ " (6mm) en un crisol de porcelana. Colocarlo en una mufla y cenizar según procedimiento
  - ✓ Dejar enfriar las cenizas y triturar en un mortero a malla 100 (150  $\mu\text{m}$ )
  - ✓ Cenizar nuevamente a  $750^\circ\text{C}$  por una (1) hora, enfriar rápidamente y pesar inmediatamente las porciones para análisis.
  - ✓ Si la muestra esta cenizada previamente, entonces quemarla nuevamente a  $750^\circ\text{C}$  por una (1) hora.
  
- Reactivos para la preparación de la Solución A y B:
  - ✓ Ácido Clorhídrico (HCl) al 1:1: Medir 100 ml de ácido clorhídrico (HCl) concentrado en 100 ml de agua desmineralizada.
  - ✓ Ácido Fluorhídrico (HF) concentrado grado analítico del 40%.
  - ✓ Ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) concentrado grado analítico.
  - ✓ Hidróxido de Sodio (NaOH) en lentejas grado analítico.

- ✓ *Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 1:1: Medir 100 ml de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado en 100 ml de agua desmineralizada.*

## PROCEDIMIENTO

Los métodos descritos son para muestras típicas, sin embargo, diferentes alícuotas o diluciones pueden ser escogidas para obtener concentraciones ideales de los componentes.

### 1. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

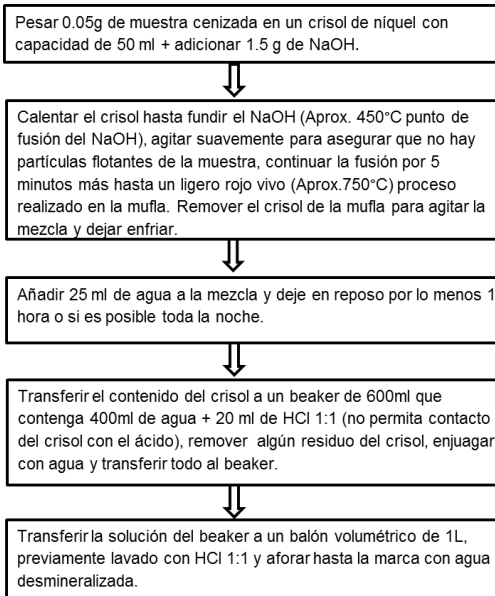


### 2. PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES

**2.1 Preparación de la solución A:** *esta solución permite determinar sílice (SiO<sub>2</sub>) y óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).*

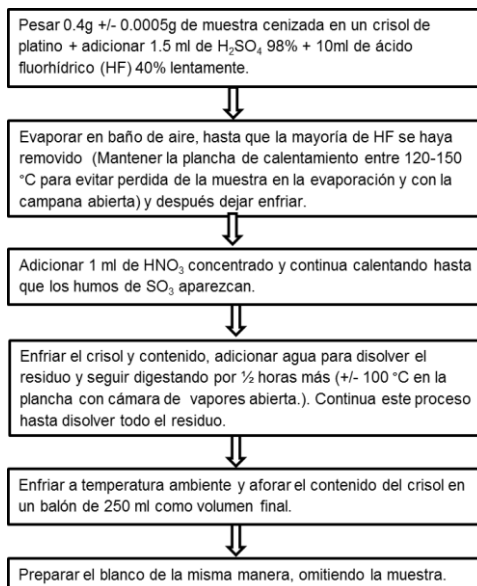
**Nota:** Si la muestra se encuentra cenizada con anterioridad, se debe volver a quemar a 815°C nuevamente por 1 hora, enfriar y pesar hasta peso constante.

## METODOLOGÍA



**Preparación de la solución B:** esta solución permite determinar óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ), óxido de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), y óxido de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ).

## METODOLOGÍA

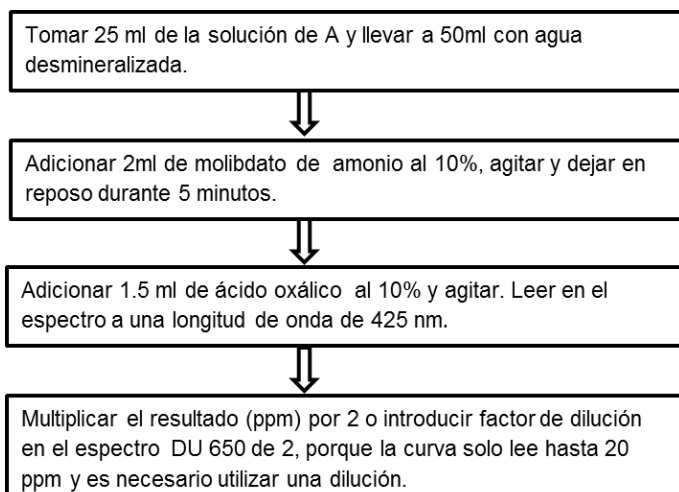


### 3 ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES

#### 3.1 Análisis de la solución A:

- Reactivos y metodología para la determinación de sílice (SiO<sub>2</sub>):
  - ✓ **Ácido clorhídrico 1:1:** medir la misma cantidad en volumen de agua y ácido.
  - ✓ **Molibdato de amonio al 10%:** disolver 10 g de Molibdato de Amonio en agua desmineralizada y aforar a 100ml, volumen final.

#### METODOLOGÍA



- Porcentaje de óxido de sílice:

La ecuación para calcular el porcentaje de sílice es la siguiente:

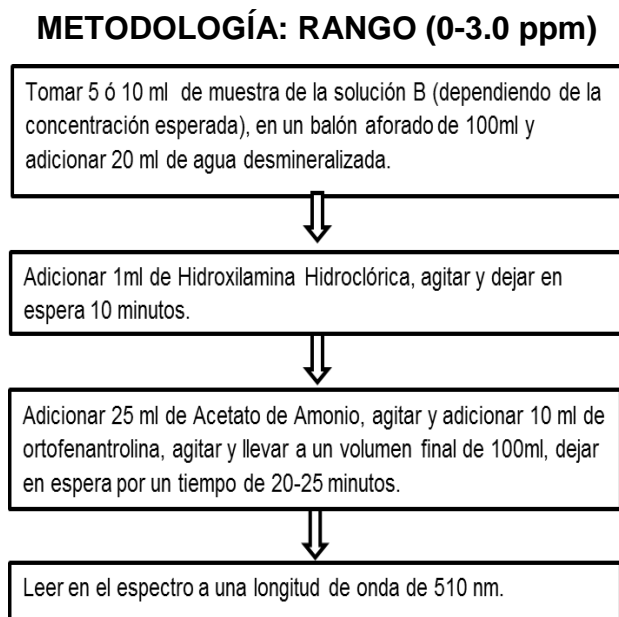
$$\% SiO_2 = \frac{(ppm SiO_2 \text{ leído}) * (\text{Factor de dilución})}{\text{Peso (mg) de muestra.}} * 100$$

Dónde:

Factor de dilución es la forma de expresar que se toma una alícuota de la solución A y se afora a un volumen final.

### **3.2 Análisis de la solución B:**

- Reactivos y metodología para la determinación de hierro ( $Fe_2O_3$ ):
  - ✓ **Hidroxilamina hidroclicrica 10%:** pesar 10g del reactivo, disolverlo en agua desmineralizada y aforar a un volumen final de 100ml.
  - ✓ **Acetato de amonio:** disolver 250g de acetato de amonio en 250 ml de agua desmineralizada, adicionar 350 ml de ácido acético glacial, a un volumen de 1000ml, guardar en botella ámbar.
  - ✓ **Indicador ortofenantrolina 0.1%:** disolver 0.1g del indicador en agua desmineralizada y llevar a 100ml.



- Porcentaje de óxido de hierro:

La ecuación sugerida es:

$$\% Fe_2O_3 = \frac{(ppm Fe_2O_3 \text{ leído}) * (\text{Factor de dilución}) * 1,43}{4 * \text{Peso (mg) de muestra.}} * 100$$

Dónde:

Factor de dilución: Es la forma de expresa que se toma una alícuota de la solución A y se afora a un volumen final.

-1.43= relación de  $Fe_2O_3$  / Fe

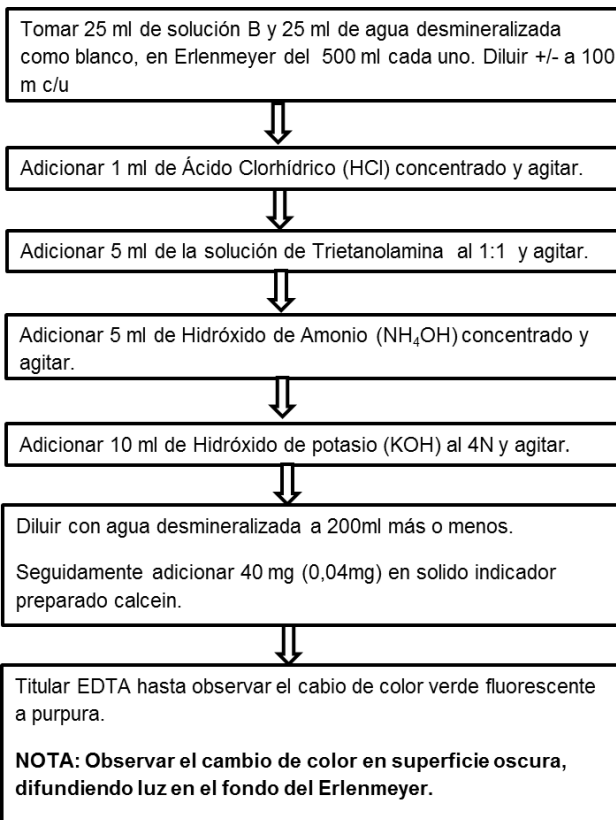
$$Factor = \frac{PMFe_2O_3}{PM Fe^{+++}} = \frac{159.694}{2(55.847)} = 1,43$$

-4: si la solución inicial es de 250ml

- Reactivos y metodología para la determinación de óxido de calcio (CaO)

- ✓ **EDTA:** Pesar 3.720g de EDTA, diluir a 1litro y estandarizar con solución estándar de calcio, usando calcein como indicador.
- ✓ **Hidróxido de amonio concentrado**
- ✓ **HCl concentrado**
- ✓ **KOH 4N:** disolver 224.4g de KOH para 1 litro de solución, guardar en botella plástica.
- ✓ **Calcein indicador:** mezclar 0.2g de calcein con 0,12g de timolftaleína y 20g de KCl finamente triturado.
- ✓ **Solución estándar de calcio:** 1000 g/L donde (1ml =0.00056g CaO). disolver 1.000g de  $CaCO_3$  en agua desmineralizada y adicionar 4 ml HCl 1:1, calentar hasta ebullición para liberar  $CO_2$ . Enfriar y diluir a 1 litro.
- ✓ **Solución de Trietanolamina:** Mezclar volúmenes iguales de soluto y solvente.

## METODOLOGÍA



- Porcentaje de óxido de calcio:

Según el procedimiento la expresión que se sugiere es la siguiente:

$$\% \text{CaO} = \frac{\text{Volumen (ml)EDTA} * (F) * \left(\frac{250}{A}\right)}{\text{Peso (g)de muestra}} * 100$$

Dónde:

$$F = 0,00056$$

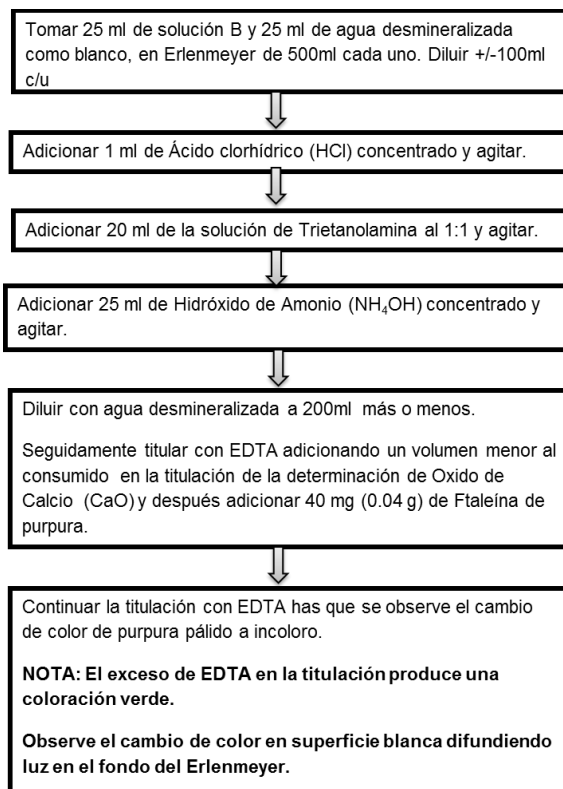
A=alícuota tomada

- Reactivos y metodología para la determinación de magnesio (MgO)

- ✓ **ftaleína de púrpura:** mezclar 1 g de ftaleína de púrpura con 0.005 g de rojo de metil y 0.05g de verde de naftol y 10 g de KCl finamente pulverizado
- ✓ **HCl concentrado**

- ✓ **Solución de trietanolamina 1:1:** Mezclar volúmenes iguales de soluto y solvente.
- ✓ **HIDRÓXIDO de amonio concentrado**
- ✓ **EDTA:** Pesar 3.720g de EDTA diluir a 1 litro y estandarizar con solución estándar de calcio, usando calcein como indicador

### METODOLOGÍA



- Porcentaje de óxido de magnesio

Para calcular el porcentaje de óxido de magnesio se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% MgO = \frac{(ml MgO - ml blanco MgO - ml CaO - ml blanco de CaO) * 0.0004 * \left(\frac{250}{A}\right)}{\text{Peso (g) de la muestra}}$$

\* 100

Dónde: A= alícuota tomada.

## Anexo G. Registro de las condiciones operativas promedio de pruebas en campo

**Tabla G. 1.** Condiciones operativas de primera prueba en campo (Sin secuestrante)

Fecha	AGUA C.A.E				AGUA C.C.E			
	CONDUCTIVIDAD* [ $\mu\text{s/cm}$ ]	CAUDAL [lt/h]	T ENTRADA [ $^{\circ}\text{C}$ ]	T SALIDA [ $^{\circ}\text{C}$ ]	CONDUCTIVIDAD [ $\mu\text{s/cm}$ ]	CAUDAL [lt/h]	T ENTRADA [ $^{\circ}\text{C}$ ]	T SALIDA [ $^{\circ}\text{C}$ ]
14/05/2015	956	18,7	21,75	25,95	9,6	50,68	29	26,35
15/05/2015	967	17,8	22,25	24,2	9,7	45,6	27,9	27,4
19/05/2015	930	18	21,25	22,65	9,5	36,92	27,45	25,55
20/05/2015	803	18,36	21,13	23,20	16,12	39,48	26,83	25,50
22/05/2015	751	17,88	21,9	24,7	16,9	40,65	27,5	25,8
25/05/2015	792	18,36	21,6	24	18,6	43,48	26,5	25,5
27/05/2015	834	17,28	21,5	24,05	12,6	40,6	26,5	25,25
29/05/2015	876	17,4	21,65	24,4	56,7	41,92	26,55	25,2
02/06/2015	876	17,4	21,45	24	56,7	43,84	26,6	25
04/06/2015	700	15,6	20,55	23,55	14,3	35,52	27,5	25,6
09/06/2015	840	11,52	20,9	23,5	10,5	33,8	26,1	24,8
11/06/2015	880	10,9	20,9	23,5	10,8	32,52	26,1	24,8
16/06/2015	768	10,8	21,6	24,1	10,7	32,44	27	25,2
18/06/2015	706	10,44	22,33	24,63	29,6	30,64	27,433	25,867
19/06/2015	831	11,04	21,6	24,4	60,5	30,77	26,1	25,4
23/06/2015	680	10,8	26,35	24	63,9	35,78	26,2	24,75
25/06/2015	803	18,36	22,1	24,65	16,12	30,67	27,3	24,95
26/06/2015	751	17,88	21,7	24,45	16,9	31,23	26,3	25,2
30/06/2015	792	18,36	20	23	18,6	34,65	24,2	23,65
02/07/2015	756	18,00	21,1	23,9	13,9	33,21	26	24,1
03/07/2015	834	17,28	21,1	23,85	12,6	30,10	25,35	24,2
06/07/2015	876	17,4	22,05	25,1	56,7	29,6	27,85	24,75
08/07/2015	876	17,4	21,6	24,3	56,7	29,56	25,75	24,55
09/07/2015	600	11,16	23,35	26,7	15,2	28,59	27,9	26
14/07/2015	700	15,6	23,2	28,45	14,3	28,57	27,2	23,2

\* Se realiza el seguimiento de esta variable como precaución de posibles fugas entre la corriente dentro de los tubos y fuera de ellos. Se tiene como referencia la conductividad del agua del C.C.E del proceso. En promedio se encuentra en 10,5  $\mu\text{s/cm}$ .

**Tabla G. 2.** Condiciones operativas de la segunda prueba en campo (Con secuestrante)

Fecha	AGUA C.A.E				AGUA C.C.E				DOSIFICACIÓN TRASAR3DT-190*			
	CONDUCTIVIDAD D [µs/cm]	CAUDAL [lt/h]	T ENTRADA [°C]	T SALIDA [°C]	CONDUCTIVIDAD [µs/cm]	CAUDAL [lt/h]	T ENTRADA [°C]	T SALIDA [°C]	CAUDAL [lt/h]	STOCK	VELOCIDAD [lt/h]	CONCENTRACIÓN [ppm]
06/08/2015	649	<b>39,6</b>	29,1	24	10,1	13,68	20,8	23	0,12	40	30	4,545
10/08/2015	658	46,92	29,1	24	10,3	10,68	20,8	23	0,084	30	10	2,558
12/08/2015	609	63,48	29,1	24	10,2	17,52	20,8	23	0,084	30	10	1,890
14/08/2015	602	50,0652	27,80	22,50	10,3	15,12	21,60	24,10	0,12	30	10	1,678
18/08/2015	519	33,48	25,1	23,8	10,01	12,36	19,8	23,7	0,12	30	10	2,509
19/08/2015	532	53,28	26,25	21,4	10,5	13,5	20,4	23,1	0,12	30	10	2,252
21/08/2015	575	54,6	27,9	21,1	10,7	12,84	20,9	23,2	0,12	30	10	2,198
24/08/2015	501	55,92	26,35	20,4	10,3	11,88	20	23,45	0,084	30	10	2,146
26/08/2015	575	48,84	21,05	20,5	10,8	13,8	19,65	22,6	0,12	30	10	1,720
31/08/2015	553	43,8	28,2	23,3	14,4	11,7	19,9	25,9	0,12	30	10	2,740
03/09/2015	537	41,52	28,2	20,915	10,7	11,88	19,7	25,9	0,12	30	10	2,890
07/09/2015	564	40,8	28,1	24,2	10,9	11,52	21	25,4	0,084	30	10	2,023
10/09/2015	609	35,52	26,3	24,5	10,9	12,24	19,4	24,9	0,084	30	10	2,365
16/09/2015	608	34,44	26,55	21,9	10,9	12,42	20,1	24,1	0,084	30	10	2,439
21/09/2015	649	32,64	26,65	20,1	<b>10,1</b>	12,96	21	22,6	0,084	30	10	2,574

\* La dosificación del Trasar 3DT-190 fue realizada con una bomba dosificadora de diafragma LMI de Milton Roy. Esta bomba contiene un control exacto de velocidad, la cual provee una tasa de pistón precisa. La velocidad se fija en 10 lt/h. De igual manera se fija un stroke (golpes) / min de 30 en promedio.

Dichas condiciones de la bomba dosificadora arroja en promedio un caudal de 0,107 lt /h. (El caudal de la bomba fue medido por medio de un aforo. Se utiliza una probeta con un volumen determinado de Trasar 3DT-190 y se espera por un tiempo determinado para observar luego la cantidad de producto químico utilizado)

Teniendo el caudal de la bomba dosificadora, el caudal de la corriente del C.A.E (agua problema), concentración del Trasar 3DT-190, por medio de la ecuación  $C_1V_1 = C_2V_2$ , se procede a determinar la concentración de Trasar 3DT-190 dosificada a la corriente problema.

Caudal de la bomba dosificadora	0,107 lt/h
Caudal de la corriente C A.E	45 lt/h
Concentración del Trasar 3DT-190 en el tanque	1000 ppm
Concentración necesaria del Trasar 3DT-190	2,38ppm

## Anexo H. Dimensión de los equipos e Instrumentación

A continuación se presenta el cálculo de las dimensiones de los equipos e instrumentos de control utilizados para implementar el Trasar 3DT-190 en el circuito de enfriamiento de C.E.S.

- Volumen de Tanque de Disolución: teniendo como base la concentración de Trasar 3DT-190 a dosificar de 2 ppm en el agua del C.A.E, cuyo caudal promedio se encuentra en 450.000 l/h. Se ajusta la concentración inicial del producto químico en el tanque de mezcla de 100.000 ppm. Se inicia calculando el caudal de Trasar 3DT-190 bombeado desde el tanque de disolución.

$$C.1 * V.1 = C.2 * V2$$

$$100.000 * V.1 = 2 \text{ ppm} * 450.000 \frac{\text{lt}}{\text{h}}$$

$$V.1 = 9 \frac{\text{lt}}{\text{h}}$$

Dónde:

C.1= Concentración del Trasar en el tanque de mezcla: 1000ppm

V.1 =Caudal del Trasar 3DT-190

C.2 = Concentración del Trasar 3DT-190: 2 ppm

V.1= Caudal de la corriente del C.A.E: 450.000lt

El volumen del tanque de disolución se determina a partir del caudal de Trasar 3DT-190 bombeado, y además se establece el tiempo de vaciado del Trasar 3DT-190 en el tanque a 5 días. Utilizando la herramienta Microsoft Excel- Análisis y sí. El Volumen del tanque de disolución es aproximadamente 1000 lt

- Volumen del Tanque de Almacenamiento Del Trasar 3DT-190: partiendo de la concentración inicial del tanque de disolución del Trasar 3DT-190 se determina la el volumen del tanque de almacenamiento del producto químico concentrado.

**Tabla H. 1.** Cantidades necesarias de Trasar 3DT-190 para 2 ppm de concentración.

PROPIEDAD	CANTIDAD
Masa de Trasar 3DT-190 necesaria	100 Kg
Volumen de Trasar 3DT-190 necesario	79 lt
Volumen del tanque de almacenamiento	Aprox. 100 lt

Instrumentación y control: utilizando la base del sistema de dosificación de hidracina en el C.C.E se referencian algunos instrumentos de control para la dosificación del Trasar 3DT-190

**Tabla H. 2.** Instrumentos utilizados para la implementación del Trasar 3DT-190

EQUIPO O INSTRUMENTO	CAPACIDAD O CARACTERÍSTICA
Bomba dosificadora	Flujo aprox.9 lt/h
Bomba de transferencia	Neumática de trasiego
Indicadores de nivel Tipo flotador en PVC	Conexión de ¼" NPT MACHO, Diámetro Flotador 1 ½"; Contacto: 50 a 240 Vac. Longitud del cable: 70" Fab: THOMAS PRODUCTS PN; MODELO 4800 o P/N 41401 FABAL VIDA hr: 25000
Electroválvulas	PVC. Se utilizan para transferencia del producto y llenado de agua
Agitador	Se utiliza para homogeneizar la solución

**Fuente:** S.I (Sistema de información de C.E.S) – S.A.P (Sistems aplicacion and process de C.E.S)

## Anexo I. Costos de Inversión Total de la Implementación del Trasar 3DT-190

- Costos Fijos: es la inversión o capital inmovilizado en componentes del proceso [15]. A continuación se enlistan los equipos e instrumento necesarios para la implementación de 2 ppm de Trasar 3DT-190 en el circuito de enfriamiento.

Tabla I. 1. Costos de los Equipos e Instrumentación

EQUIPO O INSTRUMENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (COP)	COSTO TOTAL (COP)
Tanque de disolución del Trasar 3DT-190	1	\$ 1.600.00	\$ 1.600.00
Tanque de almacenamiento del Trasar 3DT-190	1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
Bomba dosificadora	1	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000
Bomba de transferencia	1	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000
Indicadores de nivel Tipo flotador en PVC	3	\$ 253.000	\$ 759.000
Electroválvulas	3	\$ 300.000	\$ 900.000
Agitador	1	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
Tubería en PVC	200 m	\$ 300.000	\$ 300.000
Accesorios		\$150.000	\$150.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 14.209.000</b>

Fuente: S.I (Sistema de información de C.E.S) – S.A.P (Sistems aplication and process de C.E.S)

Costos de operación del Trasar 3DT-190: los costos de operación abarcan los costos del producto químico, la mano de obra, los servicios industriales y el mantenimiento.<sup>[15]</sup> A continuación se especifica cada aspecto:

- ✓ **Costo del Trasar 3DT-190**: partiendo de la cotización realizada a Nalco S.A y determinando la cantidad de Trasar 3DT-190 mensual necesario cuyo valor se encuentra en 510 Kg se calcula el costo total por mes.

**Tabla I. 2.** Costo del Trasar 3DT-190.

<b>COSTO</b>	<b>PRECIO</b>
Costos del Trasar 3DT-190 [USD/Kg]	6,9
Costo total del Trasar 3DT-190 [USD/mes]	4.471
Costo total del Trasar 3DT-190 [COP /mes]	\$14.367.039

- ✓ **Costos de mano de obra:** los costos relacionados con la mano de obra no requieren ser calculados debido a que no es necesaria la contratación de nuevo personal para la implementación ni para la puesta en marcha del sistema de dosificación. Además el sistema de dosificación del Trasar 3DT-190 no necesita inspección constante.
- ✓ **Costos por servicios industriales:** los servicios industriales son determinados a partir de la cantidad de agua necesaria para realizar la disolución del Trasar 3DT-190 a una concentración de 100.000ppm.

**Tabla I. 3.** Costos servicios industriales

<b>SERVICIO INDUSTRIAL</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO (COP)</b>	<b>PRECIO TOTAL (COP/mes)</b>
Agua [Lt]	5.526	1,61	8.878

- ✓ **Costos por mantenimiento:** los costos por mantenimiento se estiman el 5% del costo de los equipos e instrumentación. Se divide en 12 meses que constituyen el año.

**Tabla I. 4.** Costos por mantenimiento

<b>COSTO MANTENIMIENTO</b>	<b>PRECIO TOTAL (COP/mes)</b>
Costo por mantenimiento ( COP/mes)	\$ 59.204
Costo por mantenimiento ( COP/año)	\$ 710.450

Resumiendo los costos totales de operación son:

**Tabla I. 5.** Costos de operación de la tecnología Trasar 3DT-190.

<b>COSTO OPERACIÓN</b>	<b>PRECIO TOTAL (COP/mes)</b>
Producto químico	\$ 14.367.039
Servicios Industriales	\$ 8.878
mantenimiento	\$ 59.204
<b>Total:</b>	<b>\$ 14.435.121</b>

- **Costos Totales:** finalmente se determinan los costos totales de la implementación del Trasar 3DT-190

**Tabla I. 6.** Costos totales mensuales de la tecnología Trasar 3DT-190.

<b>COSTO</b>	<b>PRECIO TOTAL (COP /MES)</b>
Equipos e instrumentación	\$ 13.413.600
Operación	\$ 14.435.121
<b>Total:</b>	<b>\$ 27.848.721</b>

**Tabla I. 7.** Costos totales anuales de la tecnología Trasar 3DT-190.

<b>COSTO</b>	<b>PRECIO TOTAL (COP /AÑO)</b>
Equipos e instrumentación	\$ 13.413.600
Operación	\$ 173.221.452
<b>Total:</b>	<b>\$ 186.635052</b>

**Anexo J.** Algunas fotografías de las actividades realizadas en C.E.S.

A continuación se presenta algunas fotografías sobre la trabajo de grado realizado en la Compañía Eléctrica de Sochagota.

En la **Figura J.1** se observa los intercambiadores del C.A.E y la tubería del C.C.E. Allí se realizó la prueba en campo especificada en este documento.

**Figura J.1.** Fotografía del Circuito auxiliar y cerrado de enfriamiento en C.E.S



Por otra parte en la **Figura J. 2** se observa el sitio en el campo de trabajo donde se dispuso el equipo diseñado para observar el comportamiento del Trasar 3DT-190.

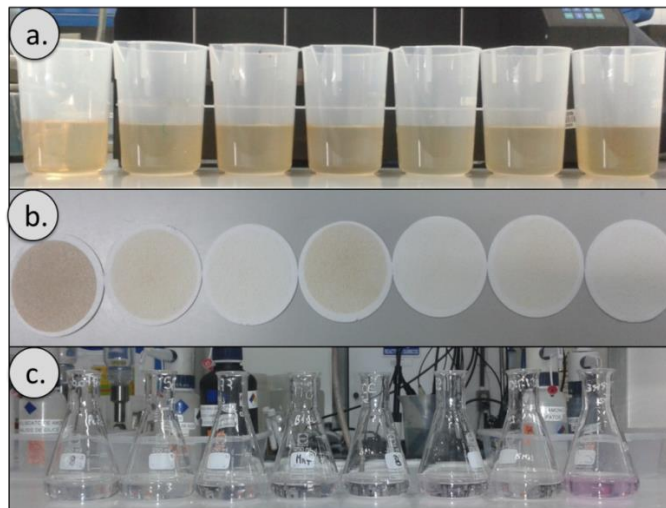
**Figura J. 2.** Fotografías del equipo en campo y sus alrededores



De igual manera a nivel laboratorio se presentan algunas fotografías para observar los ensayos realizados al Trasar 3DT-190.

En la **Figura J.3** se esquematiza el procedimiento realizado para obtener el porcentaje de secuestro de las diferentes concentraciones de Trasar 3DT-19 (0-10ppm).

**Figura J.3.** Fotografías del procedimiento experimental en laboratorio al Trasar 3DT-190 (a) Recipientes donde se lleva a cabo la oxidación y el secuestro, (b) microfiltros donde se observa el manganeso precipitado y (c) análisis de manganeso para determinar el porcentaje de secuestro.



Finalmente, en la **Figura J. 4** se muestra la comparación de los depósitos adheridos en el transcurso de las pruebas sin y con Trasar 3DT-190.

**Figura J. 4.** Fotografías el ensuciamiento de los tubos del equipo en campo (a) sin secuestrante y (b) con secuestrante.

