

DESARROLLO DE UNA MEJORA EN EL PROCESO DE SOLDADURA  
PARTIENDO DEL CONTROL DE LAS PROPIEDADES DEL AGUA DESTILADA  
USADA COMO REFRIGERANTE PARA LA EMPRESA PERFIACEROS DE  
COLOMBIA SAS.

ARAQUE BEJARANO MARÍA FERNANDA  
MUÑOZ FONSECA LEIDY JOHANA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C  
2018

DESARROLLO DE UNA MEJORA EN EL PROCESO DE SOLDADURA  
PARTIENDO DEL CONTROL DE LAS PROPIEDADES DEL AGUA DESTILADA  
USADA COMO REFRIGERANTE PARA LA EMPRESA PERFIACEROS DE  
COLOMBIA SAS.

ARAQUE BEJARANO MARIA FERNANDA  
MUÑOZ FONSECA LEIDY JOHANA

Proyecto integral de grado para optar al título de  
INGENIERO QUÍMICO

Director  
EDUBIEL SALCEDO  
Ingeniero químico

Codirector  
LILIANA PAOLA GUZMAN  
Ingeniera química

FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C  
2018

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Ingeniera Elizabeth Torres  
Presidente del Jurado

---

Ingeniera Nubia Liliana Becerra

---

Ingeniero Alexander López

Bogotá D.C Febrero de 2018

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectoría Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano de Facultad de Ingeniería

Ing. Julio Cesar Cifuentes Arismendi

Director de Carrera de Ingeniería Química

Ing. Leonardo De Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente, no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradecemos a Dios por habernos permitido culminar esta etapa, asimismo, agradecemos a nuestros padres por su compañía y apoyo durante estos años de estudio y formación, por su colaboración, apoyo y enseñanzas que nos permitieron vencer los obstáculos y ver el mundo de una manera más amplia.

De igual manera, agradecemos a los profesores, que a lo largo del tiempo nos llenaron de sabiduría y herramientas para hoy ser profesionales de éxito.

Así mismo agradecemos a la Orientadora de proyecto la Ingeniera Elizabeth Torres, el Director del trabajo de grado Ingeniero Edubiel Salcedo y Codirector Ingeniera Paola Guzmán por su guía y acompañamiento para llevar a cabo este proyecto de manera satisfactoria y lograr así el último logro para alcanzar nuestro título profesional.

Agradecemos a la empresa PERFIACEROS SAS, por habernos permitido desarrollar este proyecto, por confiar en nosotras y brindarnos el apoyo necesario para llevar a cabalidad este gran sueño.

## **DEDICATORIA**

Este proyecto está dirigido especialmente a mis padres quienes por la confianza que han tenido en mí, siempre, destinan todos sus esfuerzos para hacer mi vida más especial cada día. Por darme las herramientas espirituales y académicas para construir un futuro en el cual pueda contribuir al desarrollo de una sociedad. Y por no retirar su apoyo y cariño en aquellos momentos donde el panorama no fuera del todo claro.

## CONTENIDO

	<b>pág.</b>
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	20
1.GENERALIDADES	21
1.1 AGUA DESTILADA	21
1.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA	21
1.1.1 Conductividad	21
1.1.2 Turbidez	22
1.1.3 pH	23
1.1.4 Dureza	23
1.1.5 Alcalinidad	24
1.1.6 Sólidos Totales	24
1.2 CORROSIÓN.	24
1.2.1 Corrosión por altas temperaturas	25
1.3 UNIDAD DE SOLDADURA	26
1.3.1.1 Banco de capacitor	26
1.3.1.2 Tubo oscilador	27
1.3.5 Ferrita o impeder	29
1.4 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE TUBERÍA EN ACERO EN PERFIACEROS DE COLOMBIA SAS.	30
1.4.1 Generalidades de la empresa	30
1.4.2 Descripción del proceso	30
1.4.3 Recepción y alistamiento de materias primas	31
1.4.4 Conformado y moldeo de láminas	31
1.4.5 Sellado de tubo	32
1.4.8 Adecuación de producto terminado	34
1.4.9 Sistema de refrigeración interno y externo de la máquina formadora YODER	35
1.5 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.	37
1.6 ANÁLISIS DE AGUA	39
2.DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN LA UNIDAD DE SOLDADURA	41

2.1 DIAGNÓSTICO DE FALLAS DE EQUIPOS DE PLANTA DE SOLDADURA DE INDUCCIÓN POR ALTA FRECUENCIA	41
2.1.1 Sistema de refrigeración	41
2.2 DIAGNÓSTICO DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA DESTILADA	50
2.2.1 Metodología de recolección y análisis de muestras	50
2.2.2 Resultados y análisis de muestras de agua	52
2.2.3 Comportamiento del pH respecto al tiempo	53
2.2.4 Determinación de equilibrio químico del agua destilada	55
2.2.5 Comportamiento de la dureza respecto al tiempo	58
2.2.6 Conductividad	59
2.2.7 Comportamiento de color y turbiedad en agua de refrigeración	63
3.PLAN DE MEJORA PARA LAS PROPIEDADES DEL AGUA DESTILADA USADA COMO REFRIGERANTE	65
3.1 OBJETIVO DE PLAN DE MEJORA	65
3.2 DELIMITACIÓN DEL PLAN DE MEJORA	65
3.3 PLAN DE MEJORA PARA PERFIACEROS DE COLOMBIA SAS	65
3.3.1 Elaboración de la matriz de selección	65
3.3.2 Mantenimiento físico de unidad de soldadura y equipos de transferencia de calor	66
3.3.2 Plan de mejora para el agua destilada de refrigeración	67
4.EVALUACIÓN FINANCIERA	71
4.1 EVALUACIÓN FINANCIERA SIN LA IMPLEMENTACION DEL TRABAJO DE GRADO.	72
4.1.1 Obtención del estado de pérdidas y ganancias (P Y G)	72
4.1.2 Proyección de ventas	73
4.1.3 VPN	73
4.2 EVALUACION FINANCIERA CON LA IMPLEMENTACION DEL TRABAJO DE GRADO.	76
4.2.1 Obtención del indicador de pérdidas y ganancias (P Y G)	76
4.2.2 Proyección en ventas	77
4.2.3 VPN	78
4.3 COMPARACIÓN DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA	80

5.CONCLUSIONES	81
6.RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXOS	86

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición química del acero utilizado	31
Tabla 2. Características eléctricas de tubo oscilador	33
Tabla 3. Rangos máximos de operación de tubo oscilador	33
Tabla 4. Caudales de agua de enfriamiento por equipo	36
Tabla 5. Propiedades y métodos de evaluación fisicoquímica	40
Tabla 6. Parámetros seleccionados para análisis de agua de refrigeración	51
Tabla 7. Sitio de análisis de propiedades fisicoquímicas de agua	52
Tabla 8. Resultados de ISL	57
Tabla 9. Matriz de selección	66
Tabla 10. Evaluación de pérdidas y ganancias del proyecto de mejora de agua	72
Tabla 11. Proyección de recuperación de inversión estimada por PERFIACEROS SAS	74
Tabla 12. Estimado de VPN del proyecto	75
Tabla 13. Costos por reparaciones sin proyecto.	77
Tabla 14. Costos por reparación con proyecto	77
Tabla 15. Proyecciones de costos de producción de PERFIACEROS DE COLOMBIA SAS	78
Tabla 16. Flujo de caja con aplicación de proyecto.	79

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Comportamiento del pH respecto al tiempo	54
Gráfica 2. Comportamiento de la alcalinidad respecto al tiempo	54
Gráfica 3. Comportamiento de la dureza respecto al tiempo	58
Gráfica 4. Comportamiento de la conductividad respecto al tiempo	59
Gráfica 5. Comportamiento de $\text{Cu}^{2+}$ respecto al tiempo.	60
Gráfica 6. Comportamiento del $\text{Fe}^{2+}$ respecto al tiempo	61
Gráfica 7. Comportamiento de Nitratos y Nitritos	61
Gráfica 8. Comportamiento de $\text{SO}_4^{2+}$ respecto al tiempo.	62
Gráfica 9. Comportamiento de los sólidos totales respecto al tiempo	62
Gráfica 10. Comportamiento de color respecto al tiempo	63
Gráfica 11. Comportamiento de la turbiedad respecto al tiempo.	64
Gráfica 12. Porcentaje de dilución respecto a la dureza del agua.	69

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Montaje para determinación de conductividad	22
Figura 2. Tubo oscilador.	28
Figura 3. Funcionamiento de bobina inductora.	29
Figura 4. Tipos de impedir.	29
Figura 5. Ubicación de Perfiaceros de Colombia SAS.	30
Figura 6. Moldeo de lámina de acero a tubo.	32
Figura 7. Sellado de tubo	32
Figura 8. Tubo oscilador de usado en Perfiaceros de Colombia SAS.	34
Figura 9. Plano de recorrido de agua de refrigeración.	37
Figura 10. Diagrama de flujo de proceso de producción de tubería redonda.	38
Figura 11. Tanque de almacenamiento de agua destilada.	42
Figura 12. Base de la torre de enfriamiento, evidencia de corrosión.	43
Figura 13. Torre de enfriamiento de agua de servicio.	44
Figura 14. Intercambiador de placas del proceso.	45
Figura 15. Placa de intercambiador de calor, lado corroído.	46
Figura 16. lado de la placa en contacto con agua destilada.	47
Figura 17. Tablero indicador de unidad de soldadura.	49
Figura 18. Bobina inductora dañada.	50

## LISTA DE ECUACIONES

	<b>pág.</b>
Ecuación 1. Determinación de conductividad	21
Ecuación 2. Determinación de índice de Langelier	55
Ecuación 3. Determinación de purga de agua.	69
Ecuación 4. Calculo de indicador VPN	76

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo A. Ficha técnica del agua destilada pura	87
Anexo B. Ficha técnica de máquina de soldadura Yoder	88
Anexo C. Facturas de reparación y compra de piezas del soldador	95
Anexo D. Resultados de propiedades fisicoquímicas del agua de refrigeración por laboratorios Conoser LTDA	101
Anexo E. Formatos de aplicación y seguimiento de plan de mejora	109

## LISTA DE ABREVIATURAS

**$\mu\text{S/cm}$** : micro Simens por centímetro.

**Ton/día**: tonelada por día.

**mg/L**: miligramos por litro.

**kV**: kilovoltios.

**A**: amperio.

**pF**: picofaradio.

**L/min**: litro por minuto.

**°C**: grado Celsius.

**$\mu\text{m}$** : micrómetro.

**pul**: pulgada.

**NTU**: unidades nefelométricas de turbidez.

**UPC**: unidades de color platino.

**mA/V**: miliamperio por voltio.

**MHz**: mega Hertz.

## GLOSARIO

**CONDUCTIVIDAD:** propiedad que cuantifica el nivel de electricidad que cierta sustancia como el agua puede llegar a conducir al entrar en contacto con otro material.

**CORRIENTE ALTERNA:** se refiere a un tipo de corriente eléctrica la cual oscila de manera senoidal, su amplitud y su dirección presentan variedad.

**CORRIENTE CONTINUA:** se refiere a un tipo de corriente eléctrica en el cual no se presenta un cambio en el sentido e implica un conductor eléctrico donde se hace una diferencia de potencial.

**IMPEDANCIA ELECTRICA:** es una medida que relaciona la tensión con la intensidad en un circuito eléctrico, se entiende como la resistencia en una corriente alterna.

**REBABA:** metal en exceso en la superficie externa, resultante de la unión de los dos extremos de un tubo soldado.

**RODOS:** son una serie de rodillos alineados de tal manera que ejerzan presión sobre la lámina de acero y así darle las diferentes formas.

## **RESUMEN**

El siguiente documento presenta un desarrollo que permite la mejora en un proceso de soldadura a partir del control de las propiedades del agua destilada que actúa como refrigerante en el proceso para la empresa PERFIACEROS SAS.

Inicialmente se realiza un diagnóstico del agua destilada y de algunos equipos como el intercambiador de calor y el tubo oscilador con el fin de determinar algunas irregularidades que no permiten una eficiencia en el proceso, de esta manera, se determina la inestabilidad de algunos parámetros importantes en el agua destilada, que a su vez son causantes de fenómenos corrosivos, por otro lado se detecta la ineficiencia del intercambiador de calor gracias a un balance de energía en el cual no se logra un cambio eficiente en la temperatura del agua destilada, lo que genera tiempos de receso en la máquina, daño acelerado del tubo oscilador y pérdidas económicas.

Este documento está dividido en cuatro secciones. En el primer capítulo se muestran las bases teóricas de análisis junto con la descripción de las partes y funcionamiento de la unidad de soldadura. El segundo capítulo se analiza las fallas y estado actual tanto de la maquinaria como del agua de refrigeración. El tercer capítulo se propone un plan de mejora sobre las inconsistencias halladas en la sección anterior, finalmente en el capítulo cuarto donde se evalúa desde la parte financiera.

### **PALABRAS CLAVE**

- Alcalinidad
- Agua destilada
- Conductividad
- Corrosión
- Refrigeración
- Metalmecánica
- Intercambiador de calor

## INTRODUCCIÓN

Los productos de la industria metalmecánica presentan gran relevancia para el desarrollo de la economía colombiana a partir del sector de la construcción, el cual requiere de materiales eficientes que fortalezcan la estructura planeada. No obstante, se requieren de diferentes técnicas de soldadura, factor que tiene en cuenta PERFIACEROS DE COLOMBIA SAS, quien usa el método de soldadura de inducción por alta frecuencia. Este método se desarrolla en la máquina formadora Yoder, la cual está conformada por diferentes piezas, de las que se destacan una serie de rodillos, banco de capacitores, tubo oscilador, bobina inductora y una ferrita por ser las encargadas de efectuar la soldadura de alta frecuencia.

El proceso de soldadura requiere que se genere el calor suficiente para fundir el metal a sellar, razón por la cual cada uno de los elementos de la máquina nombrados en el párrafo anterior recibe el calor resultante de este proceso, por lo que deben ser enfriados. Este sistema de refrigeración está conformado por un tanque de almacenamiento de agua, una torre de enfriamiento y un intercambiador tipo placas, por los cuales circula el agua sin presentar salidas de agua.

Sin embargo, esto se convierte en un problema para la empresa, el agua destilada de refrigeración no mantiene las propiedades fisicoquímicas en su estado inicial necesarias conforme pasa el tiempo. Lo que afecta el buen funcionamiento de los elementos en contacto con el agua, esta situación es causal de grandes pérdidas económicas para la empresa, además es de considerar el riesgo que corre el personal de la empresa. No obstante, la empresa no identifica la causa de la contaminación del agua, ni establece el tiempo de degradación de la misma. Adicionalmente no implementa un plan de mantenimiento preventivo en los equipos por lo que deben hacer varios mantenimientos correctivos en año.

Teniendo en cuenta las variables en los parámetros evaluados para el agua destilada, se buscan referencias bibliográficas para comprender el comportamiento de las mismas y además corroborar el fenómeno corrosivo, así como, incluir aspectos organizacionales en el tiempo de producción establecido por la empresa ayuda a complementar la información paralela al problema presentado.

Luego de identificar las variables problema, sus causas y consecuencias, se procede a plantear un plan de desarrollo que permite la mejora para las condiciones del agua destilada y el proceso de soldado, por medio de bibliografía se opta por realizar una purga en el tanque de reserva y así establecer un tiempo adecuado para cambiar un porcentaje del agua que garantice un nivel seguro de las condiciones del agua destilada.

Finalmente se realiza un análisis de costos en el cual se compara el impacto económico que trae a la empresa la implantación de esta propuesta versus el gasto económico actual, con el que se observa un ahorro considerable

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una mejora en el proceso de soldadura partiendo del control de las propiedades del agua destilada usada como refrigerante, para la empresa PERFIACEROS

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar los tipos de fallas reales que ocurren al interior del equipo soldador.
- Establecer el plan de mejora para las propiedades del agua destilada que se usa como refrigerante de acuerdo al diagnóstico.
- Realizar el análisis financiero del plan de mejora propuesta.

## 1. GENERALIDADES

A continuación, se consignan los diferentes conceptos y teorías que en relación con las propiedades fisicoquímicas del agua representan los diferentes fenómenos que afectan la unidad de soldadura de la empresa PERFIACEROS SAS. Asimismo, se presentan las diferentes piezas en las cuales se presenta mayor afectación en el proceso de sellado.

### 1.1 AGUA DESTILADA

El agua destilada es un líquido que se caracteriza por tener una concentración muy baja de sales, alrededor de  $5 \mu\text{s/cm}^1$ . Adicionalmente se asegura la eliminación de materia orgánica. Se obtiene al someter el agua a ebullición para posteriormente recuperar el vapor condensado, separándola de esta manera de los contaminantes presentes.

### 1.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA<sup>2</sup>

El agua cuenta con ciertas características que permiten definir su calidad y sus posibles usos. Teniendo en cuenta los requerimientos del proceso de soldadura objeto de estudio se listan las propiedades más relevantes en este equipo.

**1.1.1 Conductividad.** Esta propiedad permite definir la capacidad del agua de servir como medio de transporte para una corriente eléctrica. El agua puede aumentar o no su poder conductivo a partir del medio con el cual está en contacto; la continua fricción con diferentes resulta en la transferencia de iones hacia el agua. La afectación de estos iones depende de la concentración, movilidad y su estado de valencia. Las unidades de medida de la conductividad son  $\mu\text{s/cm}$ . La **Ecuación 1** presenta la fórmula para la determinación de la conductividad.

**Ecuación 1.** Determinación de conductividad

$$G = k A(L^{-1})$$

**Fuente:** RIGOLA LAPEÑA, Miguel. Tratamiento de Aguas Residuales: Aguas de proceso y residuales. Colombia. 1990.p.28.

---

1 VALDIVIA-MEDINA, Rodes Yanet, Pedro-Valdés, Sandra, Laurel-Gómez, Maylin, "AGUA PARA USO EN LABORATORIOS". 2010. Boletín Científico Técnico INIMET. [en línea]. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223017807002>> ISSN 0138-8576. Recuperado 10 de enero de 2018

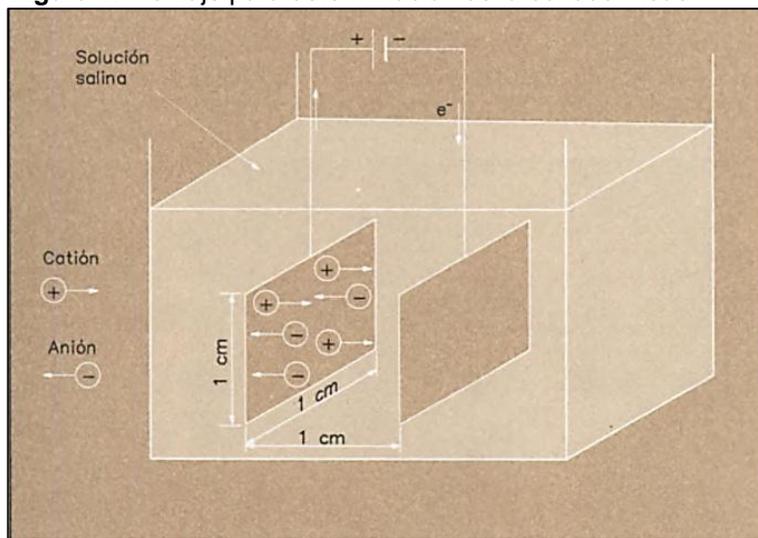
<sup>2</sup> RIGOLA LAPEÑA, Miguel. Tratamiento de Aguas Residuales: Aguas de proceso y residuales. Colombia. 1990.p.27.

Donde:

- G: conductividad.
- k: constante de proporcionalidad propia de cada solución.
- A: área superficial del electrodo.
- L: distancia entre electrodos.

Para determinar la conductividad es necesario de una celda electrolítica, sobre la cual se hace pasar un valor de voltaje conocido en los electrodos, de allí la caída de voltaje debido a la resistencia de la solución, como se muestra en la **Figura 1**. Esta es una de las propiedades con mayor repercusión en equipos que se manejan bajo altos niveles de tensión, debido a que se facilita la transferencia de iones precursores de reacciones de oxidación.

**Figura 1.** Montaje para determinación de la conductividad



**Fuente:** RIGOLA LAPEÑA, Miguel. Tratamiento de Aguas Residuales: Aguas de proceso y residuales. Colombia. 1990.p.29.

**1.1.2 Turbidez.** <sup>3</sup>Hace referencia a la cantidad de partículas suspendidas en un volumen de agua que impiden el paso de luz y que no se decantan fácilmente, por lo cual puede presentar un riesgo en un equipo, debido a que se generan depósitos de material sobre la superficie de las piezas causando incrustaciones. Su medición se hace a través del turbidímetro en el cual a partir de un rayo proyectado a 90° sobre la muestra se cuantifica la intensidad de luz dispersada, su unidad de medida es NTU unidad nefelométricas de turbidez.

<sup>3</sup> RIGOLA PEÑA, op.cit. p.28.

**1.1.3 pH.** <sup>4</sup>Es una medida de la concentración de iones de hidrógeno. Caracteriza la naturaleza ácida o alcalina del agua que puede resultar del entorno en contacto con el agua. Para su determinación se usa el pH metro. Niveles bajos de este parámetro pueden generar corrosión, y niveles altos pueden hacer que el material en contacto con el agua se diluya y se deposite presentando incrustaciones.

**1.1.4 Dureza.** Con esta propiedad se mide las concentraciones principalmente de calcio y magnesio en forma de carbonatos y bicarbonatos. Aunque se pueden presentar otros metales en forma de cationes como hierro y manganeso la cantidad de estos últimos no es significativa. Cabe resaltar que estos cationes necesitan de aniones como  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , los cuales les permiten formar las especies respectivas que se depositan en las superficies en contacto<sup>5</sup>.

De acuerdo con lo anterior la dureza se expresa como (mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ), en la cual se considera tanto la concentración de Ca como de Mg Esta es una característica intrínseca del agua y su control dentro de los rangos permisibles respecto al uso que se le dé a esta agua es de suma importancia.

Hay otros tipos de dureza, está la que corresponde a las especies como sulfatos, nitratos y cloruros. También la dureza carbonácea, este parámetro disminuye cuando el agua se somete a altas temperaturas, por ello es temporal. Esta dureza se puede determinar a partir de otros parámetros como la alcalinidad respecto a su valor con la dureza total de la muestra. La razón de que se use esta propiedad es que los bicarbonatos son también responsables de la alcalinidad del agua.

Al usarse el agua en operaciones de refrigeración como ocurre en el presente proyecto, es precisamente la temperatura la variable operacional de mayor efecto sobre la concentración de carbonatos. Debido a que a altas temperaturas se transforman los bicarbonatos presentes en carbonatos que se caracterizan por ser sales poco solubles en agua<sup>6</sup>. Luego entonces se sedimentan y depositan en las paredes de internas y demás piezas de los equipos. Lo anterior dificulta considerablemente la transferencia de calor, porque se genera una nueva resistencia que impide el flujo de calor.

---

<sup>4</sup> RIGOLA PEÑA, op.cit. p.29.

<sup>5</sup> RODRÍGUEZ CARLOS HERNÁN. 2007. Dureza total del agua con EDTA por volumetría. [en línea].<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Dureza+total+en+agua+con+EDTA+por+volumetr%C3%ADa.pdf/44525f65-31ff-482e-bbf6-130f5f9ce7c3>. Recuperado el 17 agosto 2017.

<sup>6</sup> MILLÁN, F., MATHISON, J., ALVARES, M. 2003. Estudio comparativo de la dureza del agua en el estado Mérida y algunas localidades del centro y occidente de Venezuela. Venezuela. Ed Universitaria. Revista Ciencia e Ingeniería. Universidad de Los Andes. p.4-7.

**1.1.5 Alcalinidad.** Es el resultado de la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, así como de nitratos, sulfatos y silicatos. Estas especies químicas le confieren al agua la propiedad de neutralizar ácidos y recibir protones<sup>7</sup>. La alcalinidad está estrechamente ligada con el pH del agua, así que dependiendo de la especie y el pH el sistema es más propenso a estar contaminado.

En cuerpos de aguas naturales es necesario contar con esta propiedad, no solo por actuar como un regulador de pH, sino también porque se comporta como una reserva de CO<sub>2</sub> en procesos de fotosíntesis facilitando la vida en lagos, ríos y demás. No obstante, en sistemas de producción industrial los altos niveles de bases representan un riesgo potencial al sistema, porque lo hacen altamente frágil al corroer a las partes metálicas del equipo cuando estos elementos se depositan sobre las piezas y forman espuma.

**1.1.6 Sólidos Totales.** Esta propiedad considera todas las formas en la cuales puede estar presente una partícula sólida en el agua, ya sea en solución suspensión o sedimentación. En este parámetro se obtiene de la evaporación de una muestra de agua a 105°C, de la cual resulta un residual<sup>8</sup>. Es importante determinar su cantidad, porque como se mencionó anteriormente con los otros parámetros estas partículas sólidas se incrustan en la superficie, obstruyendo el flujo de agua y generando espuma en equipos.

## 1.2 CORROSIÓN

Este fenómeno hace referencia al desgaste o deterioro tanto físico como químico que sufre cualquier material en especial los metales, por reacciones químicas o electroquímicas en contacto con el ambiente.

En efecto partiendo del medio en el cual se encuentre este material se condiciona el proceso de corrosión. Como lo indica Gómez y Alcaraz<sup>9</sup>, este medio puede ser seco o húmedo. El medio seco actúa diferentes tipos de gases resultantes de procesos de calentamiento; por lo cual este fenómeno está asociado a calderas y demás equipos que requieran de combustión.

---

<sup>7</sup> PARAMETROS FISICO-QUIMICOS: ALCALINIDAD. [en línea]. <<http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-alcaldinidad.pdf>>. Recuperado 17 de septiembre de 2017.

<sup>8</sup> CARPIO G. TANIA. SÓLIDOS TOTALES SECADOS A 103 105°C. 2007. [en línea]. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Totales+secados+a+103+-+105%C2%BAC..pdf/d4faab4a-34e4-4159-bf4c-50353b101935>. Recuperado 17 de agosto 2017.

<sup>9</sup> Gómez Félix de León Hijes y. Alcaraz Diego J. Manual básico de corrosión para ingenieros. España: Universidad de Murcia, 2004. 13, 25-28p.

En un segundo escenario el medio húmedo cuenta con un medio conductor líquido razón por la cual se relaciona con equipos de la industria como intercambiadores de calor, tuberías bombas y otros. Contrario al medio seco, este proceso se da a temperaturas relativamente bajas a comparación a las que se presentan en una reacción de combustión. Esta forma de corrosión requiere de tres actores:

- Dos electrodos; un cátodo y un ánodo.
- Una solución acuosa conductiva.
- Fuente de voltaje.

En conjunto los anteriores agentes generan una reacción de oxidación y reducción. Específicamente cuando ocurre este proceso en los metales uno de ellos es el cátodo que recibe los electrones procedentes del ánodo (reducción), mientras que en este último por perder electrones se corroe (oxidación); llegando así al desgaste del material.

**1.2.1 Corrosión por altas temperaturas.** Los factores básicos que implican la predicción de la oxidación tanto a temperatura ambiente como a elevadas temperaturas por ejemplo en procesos de soldadura que son cercanas a las de fusión del metal, son los termodinámicos y cinéticos. La termodinámica permite predecir en los fenómenos de corrosión que compuestos se pueden formar en ciertas condiciones de equilibrio mientras que la cinética permite determinar la velocidad de crecimiento de las distintas capas sobre la superficie metálica.

En base a varios estudios que analizan el comportamiento de la oxidación a altas temperaturas, afirman que son de gran complejidad, por estar involucrados fenómenos físicos y químicos que impiden diseñar un modelo cinético que ilustre la velocidad de desgaste del material.<sup>10</sup>

Como lo anuncia Parra<sup>11</sup> la temperatura es una variable de operación fundamental en la cinética de cualquier reacción y la oxidación no es la excepción, razón por la cual a altas temperaturas la corrosión ocurre considerablemente rápido. En el medio reactivo que se considera la placa metálica empieza a recubrirse como resultado de la interacción de óxido con el gas o vapor o líquido del ambiente o del metal con el óxido. Es decir que se presenta una reacción de óxido-reducción en la cual los iones presentes se mueven bien sea por el medio electrolítico líquido (agua) o sólido (metal).

Hay que considerar varias cosas que pueden no ser benéficas bajo las condiciones de proceso, por ejemplo, la deposición de material sobre el metal puede presentar

---

<sup>10</sup> BOLIVAR Javier. Evaluación del comportamiento a elevadas temperaturas de recubrimientos de al, si y de al modificado con si y hf depositados mediante cvd-fbr sobre aceros ferrítico-martensíticos (9-12 %Cr). Tesis doctoral. Universidad complutense de Madrid. 2007.p. 25-28.

<sup>11</sup> PARRA. Daniel. Tratamiento de Aguas Residuales. Mexico. 2012.p.29- 30.

alta estabilidad termodinámica al tener energías libres de Gibbs negativas haciendo que otros iones puedan depositarse sobre la capa ya formada, también que se haga una cobertura parcial o total de óxido sobre el metal; y bajo un contexto de transferencia de calor esta capa es un inconveniente al impedir el transporte de energía térmica.

### 1.3 UNIDAD DE SOLDADURA

A continuación, se listan las piezas que son propias de la unidad de soldadura de interés de este proyecto. Principalmente se hace referencia a las partes que son refrigeradas por el agua destilada y que están en contacto con ella continuamente. Dentro de estas están el banco de condensadores, tubo oscilador, bobina inductora y ferrita, asimismo se indica el funcionamiento de una maquina Yoder.

**1.3.1 Máquina formadora YODER.** La unidad de soldadura, técnicamente, es una máquina formadora (roll former). En este equipo se desempeñan tres funciones principalmente; en primera instancia se moldean láminas de acero por una serie de rodillos que ejercen presión hasta que le dan la curvatura final. Seguido a esto se implementa la soldadura de inducción de alta frecuencia.

El principio de funcionamiento como lo explica Cuyán<sup>12</sup>, al tener un montaje de inducción se logra tener altas concentraciones de calor sobre el material a soldar. Todo este calor resulta de someter la lámina de acero a valores altos de corriente, por lo tanto, la lámina actúa como una resistencia que ante esta corriente no solamente difunde calor hacia el ambiente, sino que también es capaz de fundirse. Es allí precisamente donde se logra soldar el tubo, porque al fundirse los extremos y luego por la presión ejercida por los rodos se sella el tubo sin usar material de aporte para tal fin como sí ocurre con la soldadura convencional<sup>13</sup>.

**1.3.1.1 Banco de capacitor.** Un capacitor es un elemento con la capacidad de retener o almacenar energía eléctrica de manera que estas cargas se puedan utilizar en un momento específico en el tiempo. Debido a lo anterior son ampliamente utilizados en circuitos eléctricos que implican filtrar corriente, circuitos osciladores o temporizadores<sup>14</sup>.

---

<sup>12</sup> CUYÁN Francisco. Actualización de los perfiles de operación, funcionamiento técnico e historial de la maquinaria y equipos auxiliares de las líneas de producción en la planta INTUPERSA, para apoyo en la programación de su mantenimiento. Trabajo de grado. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2013. P 46, 47,48.

<sup>13</sup> W. Hufnagel. Manual del aluminio. Soldadura por alta frecuencia. 2 ed. España. Editorial Reverté S.A. 2004. Vol 2

<sup>14</sup>CONDENSADORES [Anónimo]. [en línea]. <file:///D:/informacion/Downloads/Condensadores%20(1).pdf>. Recuperado 25 de septiembre 2017.

El banco de condensadores debe ser capaz de entregar al sistema eléctrico alta potencia a partir de una baja tensión o voltaje. Lo anterior, con el fin de que se reduzcan las posibilidades de generar arcos eléctricos en el sistema. Porque como lo enuncia Hernández<sup>15</sup>, los arcos eléctricos son capaces de producir grandes cantidades de calor radiante, que puede causar daños severos como averiar sistemas eléctricos hasta explosiones que cobren vidas del personal a cargo.

**1.3.1.2 Tubo oscilador.** Esta es la parte más importante de la máquina formadora, porque permite aumentar la frecuencia hasta 400 kHz, generando un campo electromagnético, disminuyendo la resistividad o impedancia del tubo al flujo de corriente y solamente calentando toda la superficie del tubo. Lo que es indeseable porque la energía se debe concentrar en la abertura del tubo para lograr la fundición del material. Lo anterior se explica en que las altas frecuencias distorsionan los campos magnéticos de la corriente y por ello se dirigen específicamente a los extremos de la lámina, por lo tanto, se calienta menos material con menos energía, razón por la cual la soldadura de alta frecuencia es muy eficiente.

También es de suma importancia el aumento de la frecuencia en términos de costos, porque permite tener un diseño de bobina inductora pequeño. Lo que impacta directamente en la disminución en el consumo de energía eléctrica<sup>16</sup>.

El tubo oscilador está compuesto de tres electrodos; un ánodo, un cátodo y una placa o polo a tierra dentro de un recipiente al vacío. Es precisamente esta condición de vacío lo que permite el transporte de corriente eléctrica a través del tubo<sup>17</sup>. Estos electrodos están elaborados a partir de metales, específicamente tungsteno con aleaciones de torio mientras que el tubo está conformado por cerámica o vidrio.

Asimismo, es importante considerar los requerimientos de refrigeración de este elemento. Por el tubo circula corriente alterna bajo una tensión de trabajo generan una pérdida de potencia, la cual se evidencia por el calentamiento de los electrodos. Un punto crítico es el ánodo porque allí llegan los electrones con una cantidad considerable de energía cinética que al chocar con el electrodo aumenta la temperatura del mismo; las temperaturas permisibles en un tubo oscilador dependen del material del que está fabricado pero un valor promedio esta entre los

---

<sup>15</sup> HERNÁNDEZ Juan. Análisis del Riesgo por Arco Eléctrico (Arc Flash Hazard). [en línea]. [http://www.funken.com.mx/activosfunken\\_base/Analisis%20del%20Arco%20Electrico.pdf](http://www.funken.com.mx/activosfunken_base/Analisis%20del%20Arco%20Electrico.pdf). Recuperado 25 de septiembre de 2017.

<sup>16</sup> WRIGHT John. Optimizing Efficiency in HF Tube Welding Processes. [en línea]. <<http://www.impeder.com/Efficiency/frame45304.html>>. recuperado 28 de septiembre 2017.

<sup>17</sup> PÉREZ, Constantino. Amplificadores de alta potencia de RF con válvulas electrónicas. Universidad de Cantabria, Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. [en línea]. <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Amplificadores%20de%20RF%20de%20Potencia%20Final.pdf>. Recuperado 10 de enero 2018.

40 y 250 °C<sup>18</sup>. De no refrigerarse correctamente se pueden afectar las conexiones entre los electrodos y el tubo dañando este elemento. En la **Figura 2**, se ilustra un tubo oscilador, allí se puede observar que tiene dos salidas laterales, las cuales permiten la refrigeración del mismo con agua destilada.

**Figura 2.** Tubo oscilador.



**Fuente.** Pérez Constantino. Amplificadores de alta potencia de RF con válvulas electrónicas. Universidad de Cantabria, Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. [en línea]. <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Amplificadores%20de%20RF%20de%20Potencia%20Final.pdf>>. Recuperado 10 de enero 2018. p.25.

**1.3.1.3 Bobina inductora.** El funcionamiento de una bobina inductora se basa en el principio de corrientes parásitas. Naturalmente una bobina genera un campo magnético, sin embargo, en el calentamiento por inducción se deben llevar ciertas características, como lo es la variabilidad de corriente, que obliga también a tener un campo magnético variable. Lo anterior resulta en una diferencia de potencial sobre el material es decir la lámina una corriente parásita que se disipa en forma de calor sobre el acero (efecto Joule)<sup>19</sup>.

También es importante considerar el efecto “piel” o “skin” en el que gracias al aumento de la frecuencia que el tubo oscilador hace la bobina concentra la corriente sobre el tubo que a su vez logra calentar superficialmente más rápido<sup>20</sup>. Lo anterior se muestra en la **Figura 3**.

---

<sup>18</sup> Wildi Théodore. Máquinas eléctricas y sistemas de potencia. Controles eléctricos y electrónicos. 6 ed. México. Pearson Educación de México S.A. 2006. 484,485 p.

<sup>19</sup> HINCAPIE John, TREJOS Adriana y ESCOBAR Adolfo. Electrónica de potencia para el calentamiento por inducción doméstico: revisión del estado del arte. Vol. 9, no. 18, pp. 237–262, julio-diciembre. 2013. [en línea]. < file:///C:/Users/PRINCESITA/Downloads/Dialnet-ElectronicaDePotenciaParaElCalentamientoPorInducci-4529558.pdf>. Recuperado 28 de septiembre de 2017.

<sup>20</sup>WRIGHT, Op. Cit. p.02.

**Figura 3.** Funcionamiento de bobina inductora.



**Fuente:** WRIGHT John. Optimizing Efficiency in HF Tube Welding Processes. [en línea]. <<http://www.impeder.com/Efficiency/frame45304.html>>. recuperado 28 de septiembre 2017.p.04.

**1.3.5 Ferrita o impeder.**<sup>21</sup> Es un complemento a los fenómenos de fundición de material en la soldadura anteriormente nombrados, debido a que permite generar un calentamiento localizado sobre el tubo. Es decir que aumenta la impedancia eléctrica del acero lo que obliga a la corriente parásita centralizarse en la unión del tubo. Esta pieza está elaborada a partir de ferrita rodeada de conectores que le permiten ser refrigerada por agua destilada. A continuación (ver **Figura 4**), se muestran unos tipos de ferrita usados en el proceso de calentamiento por inducción.

**Figura 4.** Tipos de impeder.



**Fuente:** WRIGHT John. Optimizing Efficiency in HF Tube Welding Processes. [en línea]. <<http://www.impeder.com/Efficiency/frame45304.html>>. recuperado 28 de septiembre 2017.p.03.

---

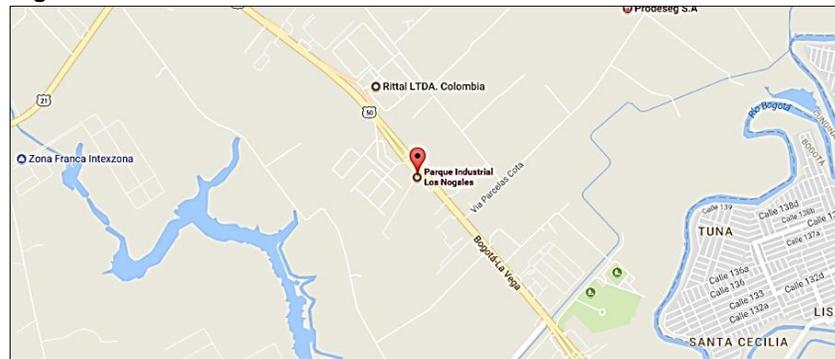
<sup>21</sup> WRIGHT, Op. Cit. p.03.

## 1.4 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE TUBERÍA EN ACERO EN PERFIACEROS DE COLOMBIA SAS

En esta sección se describen las diferentes actividades operacionales que desarrolla PERFIACEROS DE COLOMBIA SAS, en la fabricación de sus productos. De manera que se haga un acercamiento al diagnóstico del deterioro del agua de refrigeración.

**1.4.1 Generalidades de la empresa.** Esta empresa está ubicada en la vía Autopista Medellín Kilometro 2.7 Parque Industrial los Nogales, en el municipio de Siberia. Su planta cuenta con un área de 6000 m<sup>2</sup>, sobre la cual la logística de producción le permite cumplir con los diferentes pedidos de gran envergadura.

**Figura 5.** Ubicación de Perfiaceros de Colombia SAS.



**Fuente:** Google Maps. Recuperado 28 de septiembre de 2018.

Esta es una compañía dedicada a la fabricación de perfiles metálicos estructurales, para ornamentación, tubos de acero en diferentes formas y perfiles para placas de entrepiso.

Es una empresa en constante desarrollo, enfocada en brindar soluciones en acero y el mejor servicio a nuestros clientes, buscando para ellos la mayor efectividad en cada uno de los negocios; fortaleciendo de esta manera vínculos comerciales sólidos que permitan nuestro crecimiento sostenible<sup>22</sup>.

**1.4.2 Descripción del proceso.** Como se menciona anteriormente, PERFIACEROS DE COLOMBIA SAS, presenta diferentes líneas de producción; tubería tanto redonda como cuadrada, perfiles estructurales, perfiles para entrepiso y perfiles ornamentales, dentro de las cuales cuentan con productos especializados ajustados a las necesidades de sus clientes.

<sup>22</sup> PERFIACEROS DE COLOMBIA SAS. Misión y visión. [en línea]. < <http://perfiaceros.co/>>. Recuperado 20 de julio de 2017

Esta empresa, se manejan dos tipos de lámina cold roll y hot roll, en promedio se procesan 100 Ton/día, no obstante, no se trabajan de manera simultánea los dos tipos de láminas, ya que depende en gran medida de las solicitudes de los clientes. A continuación, se muestra de manera general el proceso de fabricación de sus productos.

**1.4.3 Recepción y alistamiento de materias primas.** La materia prima de este proceso es acero al carbono, el cual llega a la planta en forma de lámina, los productos se hacen a partir de dos tipos de lámina, la primera de ella es Cold Roll (CR), la cual se caracteriza por laminarse en frío, y Hot Roll (HR), que es un laminado en caliente. Indistintamente el acero que adquiere y procesa la empresa cuenta con la siguiente composición química (ver **Tabla 1**).

**Tabla 1.** Composición química del acero utilizado

Elemento	Concentración máxima (%)
Carbono	0,16
Manganeso	0,60
Fosforo	0,05
Azufre	0,05

**Fuente:** Empresa **Perfiaceros** de Colombia SAS.

**1.4.4 Conformado y moldeo de láminas.** Este paso se realiza de acuerdo a las necesidades del cliente sobre el producto solicitado. Aquí se somete la lámina a un conformado en frío empleando diferentes configuraciones de rodillos que moldean en forma circular o cuadrada según lo requerido la materia prima, así como el ajuste de calibre. Por ser un proceso de tipo continuo, la alimentación del acero al proceso se hace a través de un acumulador el cual mantendrá constante el ingreso de lámina. En caso de agotamiento de lámina hay un operario en cargado de unir la lámina con un rollo nuevo de material con soldadura convencional de aporte.

Una vez asegurada la alimentación, se tiene un primer moldeo del tubo con ayuda de la tracción que ejercen los rodos sobre el material. Seguido a esto se completa el proceso de conformado, obteniéndose el tubo con una abertura a lo largo del mismo que será sellado en la soldadura. En la **Figura 6** se muestra la línea de conformado de la máquina Yoder, allí se encuentra la lámina por en medio de los rodillos que moldearan el acero a tubería redonda.

**Figura 6.** Moldeo de lámina de acero a tubo.



**Fuente:** Empresa Perfiaceros de Colombia SAS.

**1.4.5 Sellado de tubo.** Seguido a esto se sella de manera longitudinal la pieza, mediante el uso de soldadura por inducción con alta frecuencia (electrofusión ERW). Este es el paso más importante de fabricación pues de este depende la calidad del tubo en cuanto al cuidado de no presentar deformaciones o fugas en el sellado.

Como se menciona en el capítulo anterior, en la soldadura se genera un calentamiento por inducción a partir de un conjunto de piezas como un banco de condensadores, bobina inductora tubo oscilador y una ferrita. Estas en conjunto logran pasar una corriente a una frecuencia tal que logra desestabilizar la estructura del acero para así fundirlo y sellarlo.

Sin embargo, esto solo se ve reflejado a la salida del soldador sobre el acero el cual se torna rojo como consecuencia del campo electromagnético alterno que genera la bobina entorno a él, como se observa en la **Figura 7**. En esta imagen el tubo va desde la parte derecha hacia la izquierda, pasa a través de la bobina inductora para posteriormente ser presionado por los rodillos ubicados a cada lado del tubo para terminar de fijar la unión del tubo. También se puede apreciar ligeramente el acero fundido superficialmente por el tono rojizo, para lo cual se le agrega agua y aceite (líquido lechoso) y así refrigerar el tubo.

**Figura 7.** Sellado de tubo



**Fuente:** Empresa Perfiaceros de Colombia SAS.

Es preciso también nombrar las condiciones bajo las cuales opera el tubo oscilador de por ser esta pieza la fundamental en la generación de la alta frecuencia, factor determinante para que se logre la fusión del material a soldar. Este elemento cuenta con un diseño coaxial, el tubo está elaborado en hierro-cerámica mientras que el filamento está constituido por una aleación de tungsteno y torio.

A continuación, se listan las propiedades eléctricas<sup>23</sup> (ver **Tabla 2**). Sin embargo, por las condiciones extremas de operación, se debe manejar bajo un cierto rango de condiciones eléctricas<sup>24</sup> como se indica en la **Tabla 3**, este tubo necesita de refrigeración la cual se logra por la circulación interna de agua destilada, esto se debe a que se debe mantener al mínimo las concentraciones de sales que hagan del agua un fluido conductivo.

**Tabla 2.** Características eléctricas de tubo oscilador.

Propiedad eléctrica	Valor	Unidad
Voltaje filamento	22	V
Corriente filamento	375	A
Sobrecorriente	1500	A máx.
Resistencia al frío	7	m
Capacitancia Ánodo de red	85	pF
Capacitancia Cátodo de red	210	pF
Cátodo-Ánodo	6,5	pF
transconductancia	180	mA/v aprox

**Fuente.** CALEFACCIÓN RF INDUSTRIAL. THALES ELECTRON DEVICES.

**Tabla 3.** Rangos máximos de operación de tubo oscilador.

Propiedad	Valor	Unidad
Frecuencia	30	MHz
Voltaje ánodo	18	Kv
Control voltaje de red	1500	Kv
Corriente ánodo	50	A
Control corriente		
Control corriente de red en plena carga	10	A
Control corriente de red sin carga	12	A
Pico de corriente cátodo	280	A
Agua refrigeración	200	KW
Agua destilada o desionizada	220	KW
Red de disipación		
Arriba de 10 MHz	6	KW
Entre 10a 30 MHz	5,5	KW
Resistencia de red	10	K

**Fuente.** CALEFACCIÓN RF INDUSTRIAL. THALES ELECTRON DEVICES.

<sup>23</sup> INDUSTRIAL RF HEATING. THALES ELECTRON DEVICES. Francia. 2000.p.01.

<sup>24</sup> Ibid., p. 02.

En la **Figura 8** se muestra el tubo oscilador que se usa en la maquina Yoder de la empresa, el sistema de refrigeración se ubica en la parte inferior del mismo, mientras que los electrodos están en la parte superior.

**Figura 8.** Tubo oscilador de usado en Perfiaceros de Colombia SAS.



**Fuente:** CALEFACCIÓN RF INDUSTRIAL THALES ELECTRON DEVICES. Recuperado 05 de enero de 2018.p.02.

**1.4.8 Adecuación de producto terminado.** <sup>25</sup>Esta parte de la línea de conformado comprende el rebabeo, enfriamiento, calibrado, corte longitudinal y empaque del tubo ya soldado.

En el rebabeo se busca darle un acabado al tubo eliminando el exceso de acero que queda en la línea de sellado, esta operación se realiza en la superficie externa del tubo. El enfriamiento se hace con agua junto con bases lubricantes, con esto se disipa el calor del tubo cuya temperatura esta alrededor del punto de fusión del acero. Con esto se logra también forjar precisamente la unión de soldadura.

El calibrado y corte longitudinal es un procedimiento de control de calidad, en el cual PERFIACEROS DE COLOMBIA SAS, le garantiza al cliente las medidas (longitud y grosor) de tubo, bajo la tabla de medidas de la empresa. Por último, se tiene el empaque de los tubos por lotes de treinta y siete (37) tubos.

---

<sup>25</sup> INDUSTRIAL RF HEATING. Op.cit.p.03.

**1.4.9 Sistema de refrigeración interno y externo de la máquina formadora YODER.**<sup>26</sup> Hay dos circuitos de enfriamiento en la unidad de soldadura, uno corresponde a la refrigeración directamente del sistema externo, es decir, por donde sale el tubo soldado. El otro sistema es el encargado de regular la temperatura de las piezas internas de la Yoder, es precisamente en este último en que se desarrolla el presente trabajo por ser allí donde se generan las principales averías de la máquina.

**1.4.9.1 Sistema de refrigeración externo.**<sup>27</sup> En PERFIACEROS DE COLOMBIA SAS, el circuito externo está conformado por un tanque de almacenamiento de fluido de servicio, bomba centrífuga, juego de válvulas tipo globo para controlar circulación del mismo y de una red de alcantarillado que lleva el fluido a la planta de tratamiento de la empresa para someterse a un tratamiento que la deje bajo los parámetros fisicoquímicos de vertimientos según la Resolución 631 de 2015.

El fluido de servicio es una mezcla de agua junto con aceite lubricante y aditivos, por dos razones principales, la primera es porque al entrar en contacto directo el agua con el tubo en acero y estar por un tiempo húmedo se puede iniciar con un proceso de corrosión. Como segunda medida, el agua a pesar de ser buena conductora de calor se requiere demasiada para suplir el enfriamiento de un tubo que está cerca de su temperatura de fusión.

Lo anterior se alivia al mezclar el agua con una base lubricante, mantener estable el enfriamiento. Este fluido es inyectado directamente sobre el tubo una vez cruza la bobina inductora encargada del sellado.

**1.4.9.2 Sistema de refrigeración interno.** Este es el componente más importante en cuanto al control en seguridad industrial en la unidad de soldadura, porque refrigera las piezas que actúan precisamente en la generación del campo electromagnético que funde y sella el tubo.

La línea de enfriamiento interno consta de las siguientes partes:

- Tanque plástico de almacenamiento de agua destilada con capacidad de 2.5 m<sup>3</sup>.
- Dos bombas centrífuga.
- Tubería en PVC de 4 pul.
- Torre de enfriamiento.
- Intercambiador tipo placas.

El proceso de soldadura requiere de un voltaje de 18 kV y una corriente de 1500 A, esto hace al equipo susceptible de tener un corto circuito con otro elemento

---

<sup>26</sup> Ibid., p. 04.

<sup>27</sup> INDUSTRIAL RF HEATING. Op.cit.p.06.

conductor aparte de los ya involucrados en las diferentes piezas. Por ello como lo sugiere la publicación de la empresa CPI<sup>28</sup>, la selección del agua destilada como fluido de refrigeración se basa en la alta resistividad de esta a conducir la electricidad.

No obstante, hay que tener en cuenta otras consideraciones como se indica a continuación:

- Máxima concentración de oxígeno 0,5 ppm.
- El pH debe estar entre 6 y 8 unidades.
- El tamaño del material sólido no debe ser mayor a 50  $\mu\text{m}$ .
- La conductividad del agua no debe ser mayor a 0,5  $\mu\text{S/cm}$ .

Estas características las posee el agua en su estado inicial, lo cual es corroborado por el proveedor del agua a Perfiaceros (ver anexo A). Sin embargo, esto no se mantiene en el tiempo lo cual se demuestra con análisis de laboratorio en capítulos posteriores.

Las piezas refrigeradas por agua son el tubo oscilador, bobina inductora, ferrita, y el banco de condensadores, todos ellos están fabricados con metales conductores como hierro cobre y tungsteno que al estar bajo la acción de una corriente pueden inducir el movimiento de electrones libres que al chocar con otros elevan la temperatura del material. En la **Tabla 4** se muestra el caudal de agua requerido para disipar el calor generado, datos que se obtuvieron de la ficha técnica de la máquina Yoder (ver **Anexo B**). Cabe recordar que el elemento ferrita también es refrigerado con agua, sin embargo, la información de este caudal no fue posible conocerlo.

**Tabla 4.** Caudales de agua de enfriamiento por equipo.

<b>Equipo</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Caudal suministrado L/min)</b>
Bobina inductora	40-80 max	37
Banco de capacitores	50	112
Tubo oscilador	31-220 max	160

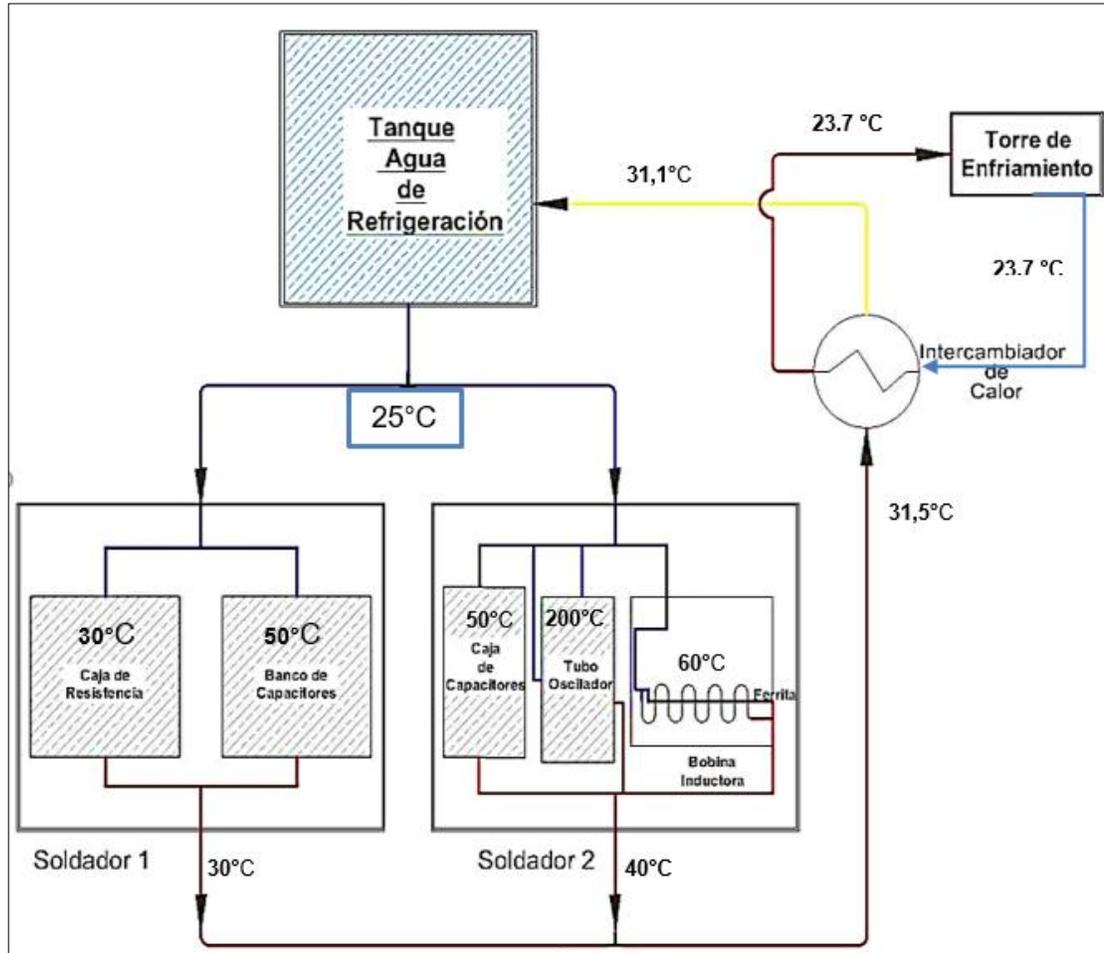
**Fuente:** Empresa Perfiaceros de Colombia SAS

En la siguiente imagen se muestra el recorrido del agua destilada (no se tiene en cuenta el agua de refrigeración externa) por la maquinaria refrigerando las piezas que ya han sido nombradas.

---

<sup>28</sup> Communications & Power Industries. Recommendation for cooling high-power microwave devices. Application notes. Pub 2071. 2003. [en línea]. [http://www.cpii.com/docs/related/28/AEB\\_17.pdf](http://www.cpii.com/docs/related/28/AEB_17.pdf)>. Recuperado 14 de enero 2017.

**Figura 9.** Plano de recorrido de agua de refrigeración.



### 1.5 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

La empresa PERFIACEROS DE COLOMBIA SAS se caracteriza por la fabricación tanto de perfiles como de tubería redonda de acero al carbono. Esta investigación se enfoca en la unidad de soldadura la cual cuenta con dos equipos de sellado, un intercambiador de calor tipo placa y un tanque de almacenamiento de agua destilada que actúa como refrigerante al interior de equipo. Adicionalmente se tienen en cuenta también accesorios como bombas, como se muestra a continuación en el diagrama de flujo del proceso, el cual se elaboró en el programa de AUTOCAD en las instalaciones de informática de la Universidad de América.

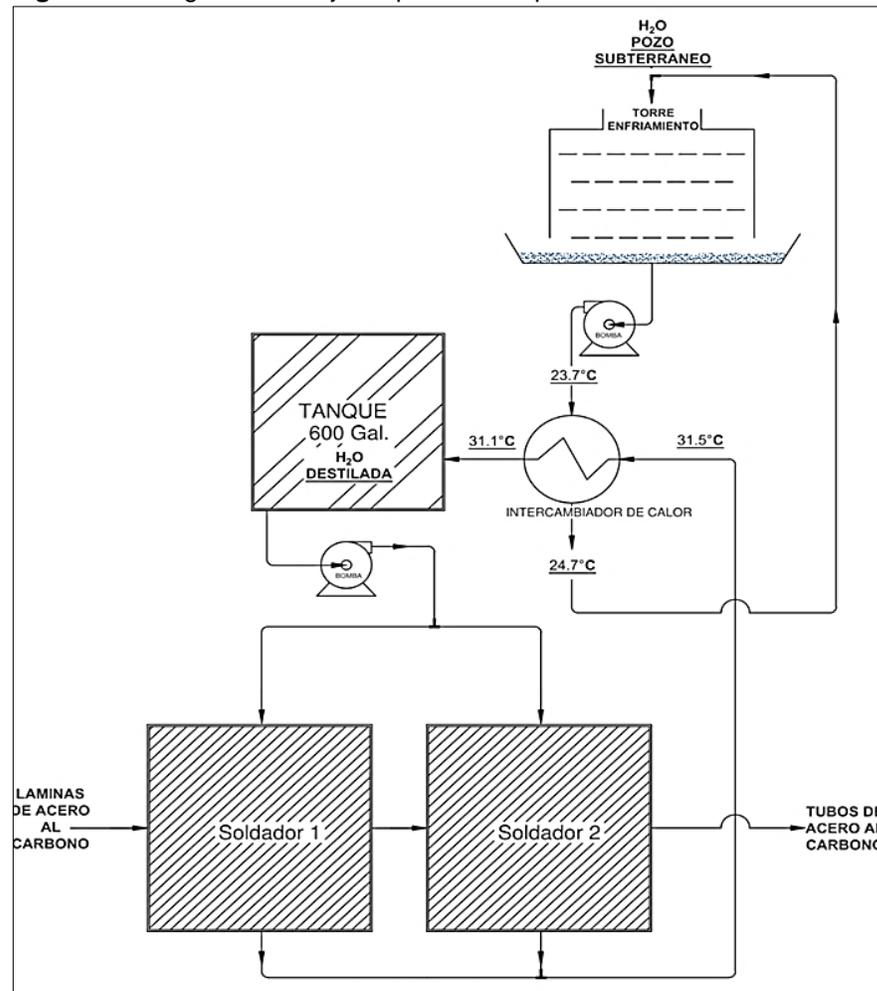
En el diagrama de flujo, **Figura 9**, se observa el proceso de refrigeración para el proceso de soldado, el cual es alimentado con agua destilada al tanque de capacidad de 2.5 m<sup>3</sup>. El agua destilada sale hacia los soldadores (soldadores 1 y 2) impulsada por un bomba de 7 HP, en seguida el agua sale de estos a una temperatura aproximada de 31.5°C para ingresar al intercambiador de calor de

placas donde gracias al fluido de servicio que es agua traída de un pozo subterráneo, sufre un cambio de temperatura que debería llegar a la temperatura ambiente; es decir 18°C; pero al presentar averías en el intercambiador como se muestra en el capítulo III este solo disminuye su temperatura 2°C volviendo el agua destilada al tanque inicial a una temperatura de 30°C aproximadamente.

Por otro lado, el agua potable proveniente del tanque subterráneo, ingresa a una torre de enfriamiento la cual presenta problemas de escape y corrosión, luego este fluido es impulsado por una bomba de 7HP al intercambiador de calor, se devuelve a la torre de enfriamiento y finalmente al pozo de donde proviene.

Las temperaturas que allí se muestran, son tomadas del tablero de control con el que cuenta la máquina Yoder. Este tablero recibe la señal de las termocuplas tipo k ubicadas en a lo largo del recorrido.

**Figura 10.** Diagrama de flujo de proceso de producción de tubería redonda.



## 1.6 ANÁLISIS DE AGUA

Para llevar a cabo un análisis de agua, se requiere cumplir con ciertos requisitos con el fin de lograr resultados confiables y precisos los cuales puedan ser analizados y arrojar conclusiones pertinentes al problema del daño de las partes eléctricas. Los aspectos más importantes al realizar una serie de muestreos son:

- Selección de Parámetros fisicoquímicos, microbiológicos.
- Tipos de muestras a recoger
- Volumen de muestra
- Número de muestras a determinar

En cuanto a los tipos de muestras a recoger es necesario identificar el tipo de campo en el cual se encuentra el fluido, como vertidos o cauces naturales. Los tipos de muestra pueden ser: sencillas, quiere decir que se componen de varias muestras de una misma área, o compuestas son aquellas tomadas en diferentes puntos, o integradas.

Para los volúmenes de muestra, se debe tener en cuenta la cantidad de análisis que se requieren y recoger la cantidad adecuada para cada uno, los cuales pueden variar de 2 a 3 litros.

Los envases para un muestreo de aguas pueden ser de varios tipos, pero deben cumplir con las siguientes especificaciones:

- Vidrio o polietileno
- Lavado con HCl y H<sub>2</sub>O destilada
- Esterilización en autoclave

Los respectivos análisis, pueden realizarse por distintas técnicas de acuerdo al parámetro que se quiera conocer y el tipo de agua de estudio. Para la presente investigación se toma como referente al IDEAM (Instituto de Hidrología y Metrología y Estudios Ambientales), da un instructivo acerca de los métodos basados en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd-Edition 2012, y otros métodos aprobados nacional e internacionalmente. En la **Tabla 5** que se muestra a continuación se listan las pruebas que se pretenden analizar junto el método bajo el cual el IDEAM<sup>29</sup> sugiere evaluar.

---

<sup>29</sup> IDEAM (Instituto de Hidrología y Metrología y Estudios Ambientales). METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS. [en línea]. <<http://www.ideam.gov.co/web/agua/metodos-analiticos>>. Recuperado 20 de octubre de 2017.

**Tabla 5.** Propiedades y métodos de evaluación fisicoquímica.

<b>Parámetro a evaluar</b>	<b>Método de evaluación</b>
Alcalinidad total	Electrometría
Conductividad Eléctrica	Electrometría
Metales en agua	Absorción Atómica
Dureza total en agua	EDTA por volumetría
Sólidos Totales	secados a 103 - 105°C
Turbiedad	Nefelometría
Metales en agua	Plasma Acoplado por Inducción
pH	Electrometría
Nitrato en agua	Espectrofotometría UV
Nitrito en agua	Espectrofotometría
Sulfato en agua	Nefelometría

**Fuente.** Laboratorios CONOSER LTDA.

## 2. DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN LA UNIDAD DE SOLDADURA

Este capítulo se enfoca en determinar las falencias del sistema de soldadura bien sea por causa humana o del estado de los equipos. El desarrollo de este objetivo se divide en dos partes, una en la cual se realiza recorrido a la línea de soldadura junto con el sistema de refrigeración identificando tanto los equipos como las condiciones físicas y de operación y mantenimiento, y la segunda parte se encamina en hacer un seguimiento en el tiempo al agua destilada de refrigeración mediante la medición de pruebas fisicoquímicas.

### 2.1 DIAGNÓSTICO DE FALLAS DE EQUIPOS DE PLANTA DE SOLDADURA DE INDUCCIÓN POR ALTA FRECUENCIA

Para diagnosticar las fallas de la línea de soldadura se hace un recorrido por cada equipo implicado en el proceso. Durante el recorrido se tiene en cuenta el estado físico y las condiciones de operación. A continuación, se muestran las observaciones clasificadas por equipo.

**2.1.1 Sistema de refrigeración.** Esta línea de operación está conformada por un intercambiador de calor tipo placa, una torre de enfriamiento, un tanque de almacenamiento de agua destilada, una bomba centrífuga junto con los accesorios como válvulas. A continuación, se indica sobre cada uno las fallas presentes.

**2.1.1.1 Tanque de almacenamiento de agua destilada.** Este tanque se encuentra en la parte superior de la máquina YODER, al interior de una canasta metálica lo que le brinda soporte y seguridad al encontrarse a una altura de 4 m desde el suelo.

Este tanque cuenta con una entrada (1), por donde retorna el agua una vez cumple el ciclo de refrigeración por la unidad de soldadura. Asimismo, tiene dos salidas de agua una superior lateral que esta tapada (2), por lo que se puede asegurar que no hay pérdida de materia en el sistema. La segunda salida de agua está en la parte inferior del tanque (3), es por allí que se lleva este fluido refrigerante a la parte interna del equipo de soldadura. Esto se logra a través de tubería de PVC de 4 pul de diámetro, por lo que inicialmente el agua no tiene una contaminación que altere sus propiedades. (Ver **Figura 11**).

**Figura 11.** Tanque de almacenamiento de agua destilada.



**2.1.1.2 Torre de enfriamiento.** Es una de las secciones con mayor cantidad de fallencias en el sistema de refrigeración. Este equipo enfría el agua que actúa como fluido de servicio en el intercambiador de placas para retirarle calor al agua de refrigeración interna de la YODER. Esta agua se obtiene de un pozo subterráneo por lo que se puede afirmar que tiene una alta concentración de metales y sales.

La torre de enfriamiento cuenta con una salida (1) que conduce el agua que ha pasado por los platos de la torre de enfriamiento al intercambiador de placas. Cuenta con una entrada (2). La cual lleva el agua de servicio del intercambiador nuevamente a la torre para ser refrigerada. Cuenta con 4 placas perforadas al interior de la torre, a través de estas circula el agua para transferir el calor al entorno una vez llega del intercambiador de placas.

Como se nombra anteriormente el agua que pasa por la torre de enfriamiento se obtiene de un pozo subterráneo y previo al ingreso a la torre no se realiza ningún tratamiento, debido a que en la empresa no ha considerado la importancia de tratar el agua previo a la refrigeración porque esto le representa más costos. Lo que ha impactado fuertemente en la estructura y las condiciones físicas de este equipo. A continuación, se listan los problemas encontrados:

- Películas de sales blancas (3) en la superficie tanto interna como externa de la torre de enfriamiento como lo indica igualmente la **Figura 13**.
- Sedimentos de microorganismos como el moho en el fondo de la torre, que contribuye de igual forma a la degradación del agua y de la estructura.

- Altos niveles de corrosión en toda la estructura que debilitan la pintura protectora exponiendo la lámina directamente al ambiente y al agua contaminada. Como se muestra en la **Figura 12**.

Así mismo se evidencia que las placas o platos perforados que generan la lluvia de agua en la torre están muy cercanas, 20 cm aproximadamente una de la otra por ende disminuye el tiempo de contacto entre los dos fluidos impidiendo que el agua se enfríe hasta 20 °C aproximadamente lo requerido para el intercambiador de placas refrigere al agua destilada.

De igual manera, la unidad presenta fugas por donde el líquido es desperdiciado, esto se presenta porque los orificios de las placas por las que pasa el agua están muy deteriorados a causa de la corrosión esto resulta en un flujo de agua al caer por la torre muy irregular. Lo que representa también un problema al no circular suficiente fluido de servicio por este equipo que ocasiona pérdidas de materia y por ende ineficiencia en el proceso de enfriamiento.

**Figura 12.** Base de la torre de enfriamiento, evidencia de corrosión.



**Figura 13.** Torre de enfriamiento de agua de servicio.



Si bien el agua que se refrigera en esta torre es subterránea y por ende contiene diferentes contaminantes como sales y ácidos, no es posible hacer un análisis completo de estas composiciones ya que la empresa no autoriza tanto el desmonte de tubería para la toma de la muestra de agua como el patrocinio económico para las pruebas.

**2.1.1.3 Intercambiador de calor tipo placas.** Este equipo tiene como función permitir el intercambio energético entre el agua destilada que refrigera los equipos de la unidad de soldadura, y el fluido de servicio que para el caso es el agua proveniente de la torre de enfriamiento. Está ubicado previo al tanque de almacenamiento, en posición horizontal, y sus conexiones son en tubería de PVC como se muestra en la **Figura 14**. Como requerimiento de las piezas internas de la Yoder, estas deben recibir agua a una temperatura de 20 °C aproximadamente. Los dos fluidos de intercambio provienen de una bomba respectiva, cada una con una potencia de 7 HP, por lo que circula aproximadamente 163 L/min.

**Figura 14.** Intercambiador de placas del proceso.



Sin embargo, esto no ocurre actualmente debido a que como ya se menciona anteriormente el agua de la torre de enfriamiento por ser subterránea las concentraciones de sales son muy altas, razón por la cual no solamente corroe la estructura de la torre de enfriamiento sino también las placas del intercambiador. Lo anterior se evidencia en la **Figura 15**, en esta imagen se tiene el lado de la placa por la cual fluye el agua de pozo, es claro el desgaste en la superficie hasta el punto de formar una capa de incrustación que evita el flujo de calor por las placas lo que se demuestra en las temperaturas de entrada y salida del agua destilada, las cuales tienen una diferencia de apenas 0,4°C.

**Figura 15.** Placa de intercambiador de calor, lado corroído.

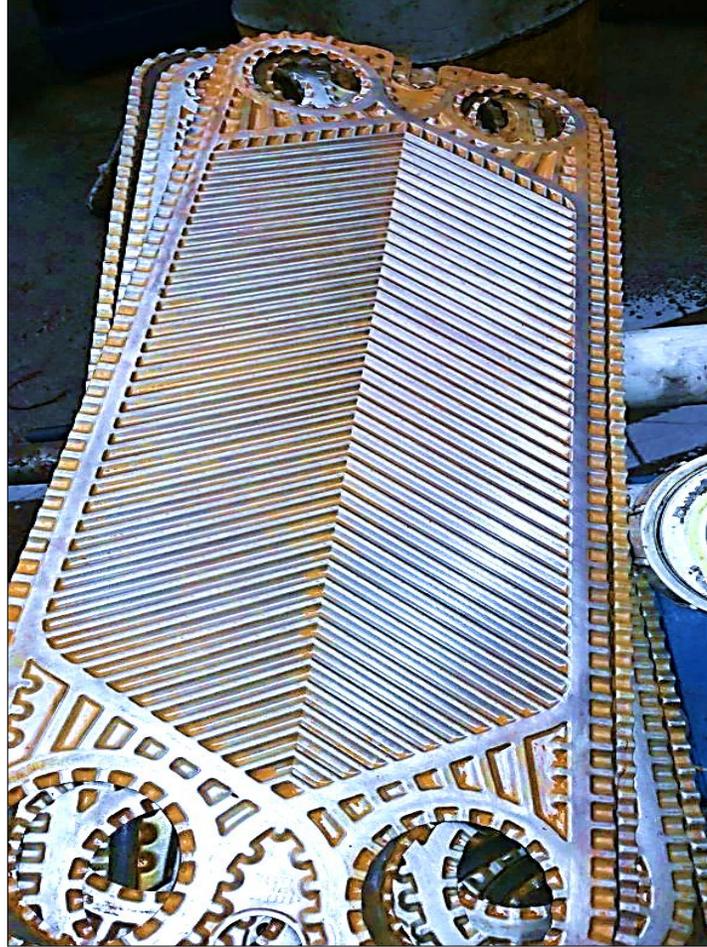


También se observa en la **Figura 16** que el lado posterior de la placa que es por donde circula el agua destilada que refrigera los equipos presenta corrosión, aunque en mucha menor proporción que el otro lado de la placa.

Al desarmar el intercambiador se evidencia una pequeña fuga de agua entre las placas. Esto se atribuye al desgaste que tienen los empaques que limitan el recorrido de ambos fluidos a lo largo del intercambiador, por ello se presenta una contaminación desde el agua de servicio hacia el agua destilada. El deterioro del empaque es principalmente en las aberturas circulares de las esquinas para el paso de fluido porque es allí precisamente donde es más notoria la corrosión.

Cabe aclarar que no se puede determinar cuánto fluido pasa de un lado al otro porque la empresa al no autorizar el desmonte de tubería no se puede medir el caudal real en el proceso. Sin embargo, no se considera que sea una cantidad significativa debido a que la corrosión en la placa del lado del agua destilada no tiene una corrosión tan pronunciada.

**Figura 16.** Lado de la placa en contacto con agua destilada.



Cabe resaltar que este equipo no cuenta con un programa de mantenimiento preventivo y/o correctivo a pesar de que lleva un tiempo de uso de 10 años, como lo afirma el operario a cargo del manejo del equipo durante el recorrido, lo que justifica las condiciones físicas del intercambiador, la empresa se centra más en lo que la unidad de soldadura requiere sin tener en cuenta que una de las causales del riesgo es la baja capacidad de transferencia de calor entre el agua y las piezas internas de la Yoder.

**2.1.1.4 Yoder y piezas internas.** Como un primer acercamiento al estado actual de las piezas del soldador se tiene en cuenta las experiencias del operario a cargo en el manejo de la Yoder. Él indica que la variable de operación clave es la temperatura, la cual no debe exceder los 41°C porque automáticamente el equipo se apaga. Lo que obliga al operario a alimentar la lámina de acero pausadamente a la unidad de soldadura.

El tubo oscilador es la parte fundamental del equipo y quien mayor gasto económico representa. Esta pieza durante el proceso alcanza una temperatura superficial de 32°C, sin embargo, hay ocasiones en las cuales la temperatura llega a un valor de 41 °C. Esta es una condición indeseable porque de ser así la temperatura interna del tubo es de 220°C, esto se traduce en el aumento de la resistencia eléctrica en los electrodos hasta llegar al punto de que se funde el tubo y el proceso de soldadura queda estacionado.

El flujo de corriente mantiene una relación casi lineal con la temperatura<sup>30</sup>, por ello al amentar la temperatura aumenta la oposición del movimiento de electrones. De allí radica la principal precaución al momento de requerir la refrigeración adecuada para el tubo oscilador.

No obstante, el intercambiador de calor no está trabajando adecuadamente por el nivel avanzado de corrosión que tiene del lado de la placa en contacto con agua de servicio. Se requiere que el agua destilada entre al sistema en un rango de 20 a 25 °C, sin embargo, este equipo eta recibiendo agua a 31 °C.

Las consecuencias de este problema son una serie de mantenimientos correctivos o reparación de dos veces al año como se hace constar en la información recolectada en facturas referentes a reparaciones (ver **Anexo D**). Los gastos económicos por este problema son de 44' 215.350 COP.

La unidad de soldadura no cuenta con un sistema de control como tal, solamente con un tablero con una serie de 12 bombillos (ver **Figura 17**), los cuales se mantienen apagados mientras se lleve el proceso bajo unas condiciones aceptables, de lo contrario muestran una luz indicadora. No obstante, este mecanismo no es oportuno y se actúa cuando el daño ya está hecho y se para la producción.

---

<sup>30</sup> Allen Paul, Mosca Gene. Paul Allen Tipler, Gene Mosca. Resistencia y ley de ohm. 5 ed. España. Editorial Reverté SA. 2005. Vol 2. 734-736 p.

**Figura 17.** Tablero indicador de unidad de soldadura.



También se evidencian afectaciones en la bobina inductora por parte del deficiente sistema de refrigeración y de la mala calidad del agua. Para finales del mes de julio la bobina inductora es reemplazada al presentarse un sobrecalentamiento sumado a que a través de esta circulaba un agua que ya no posee las características de un agua destilada por tener unos niveles de conductividad más altos de  $39 \mu\text{S}/\text{cm}$  como se evidencia en el siguiente capítulo.

Igual a como se indica la relación entre temperatura y resistencia, también hay un fenómeno que relaciona el campo electromagnético y la temperatura. Como lo indica DUGLAS<sup>31</sup>, un aumento en la temperatura perturba el movimiento de los átomos impidiendo la generación normal del campo electromagnético. De manera que la bobina inductora ya no cumple su función en la soldadura.

Por otro lado, el agua que se usa para refrigerar deteriora las conexiones eléctricas de la bobina al corroerlas, al mismo tiempo que actúa como un medio alternativo para el flujo de corriente lo ocasiona un cortocircuito derritiendo la parte interna de las espiras como lo muestra la figura 18. Por esta situación la máquina no funciona por dos semanas.

---

<sup>31</sup>DOUGLAS Giancoli. FÍSICA. Principios con aplicaciones. Campos magnéticos. 6 ed. México. PEARSON EDUCACIÓN. 2006. 573-574 p.

**Figura 18.** Bobina inductora dañada.



## **2.2 DIAGNÓSTICO DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA DESTILADA**

Como se menciona anteriormente, el agua destilada usada como refrigerante es uno de los factores que ha sido considerado como precursor del daño de las piezas internas de la unidad de soldadura. Es por ello que se plantea un seguimiento en el tiempo de las propiedades fisicoquímicas del agua, de manera que se logra identificar efectivamente los contaminantes que afectan el proceso.

**2.2.1 Metodología de recolección y análisis de muestras.** Previo al análisis de laboratorio se realiza una revisión bibliográfica para determinar que propiedades se ajustan con las afectaciones de la planta de soldadura, con el fin de que se diagnostique el agua problema. Como se menciona en la sección anterior se observa principalmente un deterioro por corrosión, por lo cual se seleccionan las propiedades químicas que justifican este fenómeno, así mismo se miden propiedades físicas y microbiológicas, estas últimas se deciden analizar en el primer muestreo a causa de descartar cualquier elemento que pueda contribuir a la corrosión del sistema interno. Es preciso indicar que el agua destilada de refrigeración ya no lo es y por ello se debe caracterizar, las propiedades a analizar se muestran a continuación (ver **Tabla 6**).

**Tabla 6.** Parámetros seleccionados para análisis de agua de refrigeración.

<u>Tipo de propiedad</u>	<u>Parámetro seleccionado</u>
Físicas	Turbidez Conductividad Color
Químico	Alcalinidad Cobre Dureza total Hierro Nitratos Nitritos Sólidos suspendidos Sulfatos pH
Microbiológico	Coliformes totales

**Fuente:** IDEAM (Instituto de Hidrología y Metrología y Estudios Ambientales). METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS. [en línea]. <<http://www.ideam.gov.co/web/agua/metodos-analiticos>>. Recuperado 20 de octubre de 2017.

Una vez se establecidas las propiedades a cuantificar sobre el agua, se procede a determinar los intervalos de muestreo. Esta recolección se realiza cada 15 días a partir del 12 de junio hasta el 26 de septiembre del año en curso. Se decide realizar de esta manera por los niveles altos de producción de tubería (100 ton/día) que inciden en el uso del agua, adicionalmente porque de esta manera se permite tener ocho datos por propiedad que pueden modelar o dar un aproximado al comportamiento del agua conforme pasa el tiempo. Es preciso indicar que la empresa PERFIACEROS DE COLOMBIA SAS, como medida de prevención, aunque no efectiva cambia anual y completamente el agua del tanque de almacenamiento por agua destilada fresca. Para el año en curso la empresa cambia el agua en el mes de abril, por lo cual este mes se cuenta como el tiempo cero para un mes después seguir con el tiempo uno y así sucesivamente.

Seguido a establecer los momentos de muestreo, se procede a identificar los posibles puntos de recolección de agua de refrigeración a analizar en la línea de circulación de la misma. De las dos posibles salidas y una entrada que tiene el tanque como se muestra en la sección anterior, se considera que la entrada de vuelta al tanque del agua es el punto más adecuado por ya haber cumplido el ciclo de refrigeración por consiguiente estar en contacto con todas las piezas

El muestreo inicialmente se planea para desarrollar el análisis en dos partes, en primera medida con un equipo de espectrofotometría de referencia DR/890 HACH

que adquiere la empresa. Como segunda medida se recurre a los servicios de caracterización de aguas del laboratorio LABORATORIOS CONOSER LTDA, que se selecciona por su trayectoria certificada por el IDEAM. En la siguiente tabla se muestran los parámetros evaluados en cada lugar, cabe resaltar que con el espectrofotómetro solo se miden las tres primeras muestras, porque no es posible contar con el equipo, por lo tanto, de la muestra cuatro en adelante todos los parámetros son evaluados en LABORATORIOS CONOSER LTDA.

**Tabla 7.** Sitio de análisis de propiedades fisicoquímicas de agua

Medio de análisis		Propiedad	
LABORATORIOS CONOSER LTDA	Espectrofotómetro DR/890 HACH	Hierro	
		Cobre	
		Sólidos totales	
			Color
			Turbidez
			Sulfatos
			Dureza
			Alcalinidad
			Conductividad
			Nitritos
			Nitratos
			Coliformes totales

Para realizar el análisis del agua problema, es necesario cumplir con unas normas establecidas por LABORATORIOS CONOSER LTDA, cuales consisten en no sobrepasar un tiempo de veinticuatro (24h) horas después de la toma de la muestra en el equipo, las muestras de agua deben almacenarse en frascos de plástico color ámbar de 300ml y 1L, en algunas ocasiones se requieren 3L para los análisis de cobre y hierro.

**2.2.2 Resultados y análisis de muestras de agua.** En los siguientes apartados se muestran los resultados de las propiedades fisicoquímicas del agua destilada de refrigeración, sin embargo, esta agua ya no tiene las características de un agua destilada. Asimismo, los análisis respectivos que dan explicación a los fenómenos de deterioro de la unidad de soldadura. Es preciso resaltar que se unen algunas propiedades debido a la estrecha dependencia que presentan entre ellas.

Como se menciona en la metodología de muestreo y análisis, se recolectan muestras cada quince días aproximadamente, pero es preciso aclarar que el tiempo cero se tomara en el mes de abril que fue cuando se da el cambio de agua en el tanque porque en ese momento se considera como agua destilada por no tener contaminantes como se observa a lo largo de las gráficas que ilustran el comportamiento de las propiedades. Por lo tanto, en todas las gráficas el tiempo es

la variable independiente, mientras que los diferentes parámetros son las variables dependientes.

**2.2.3 Comportamiento del pH respecto al tiempo.** Esta propiedad le puede dar al agua la capacidad de corroer si su valor es inferior a 7, o por el contrario ser incrustante si este valor es superior a 7. Para el caso específico del agua de refrigeración que claramente ya no es destilada tubo un descenso de una unidad respecto al pH de 7 inicial indicado por el proveedor (ver **Anexo D**) entre en mes de abril (semana o tiempo 0) y el primer muestreo (semana 9).

Esta primera situación se debe a la contaminación no eliminada que tienen los diferentes es equipos y tubería que recorre el agua por parte del agua anterior a esta. A ello también está asociado la alcalinidad del agua que es un valor bajo (9 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ) para el mismo punto con el pH de 6. Por lo tanto, el agua no es capaz de mantener el pH neutro inicial.

Sin embargo, tiene un comportamiento creciente hasta llegar al máximo valor de 8,76 para la semana 23. Lo que nuevamente se asocia al aumento de la alcalinidad, como se sabe la esta propiedad se mide por la concentración de especies carbonatadas o de bicarbonatos en el agua. No obstante, esto es un hecho contradictorio porque al ser el agua de refrigeración destilada no es posible la presencia de estas especies; lo cual apunta a las filtraciones en el intercambiador de placas el origen de la contaminación, adicionalmente a que es una impureza remanente en el sistema al no realizarse una adecuada limpieza previa al cambio.

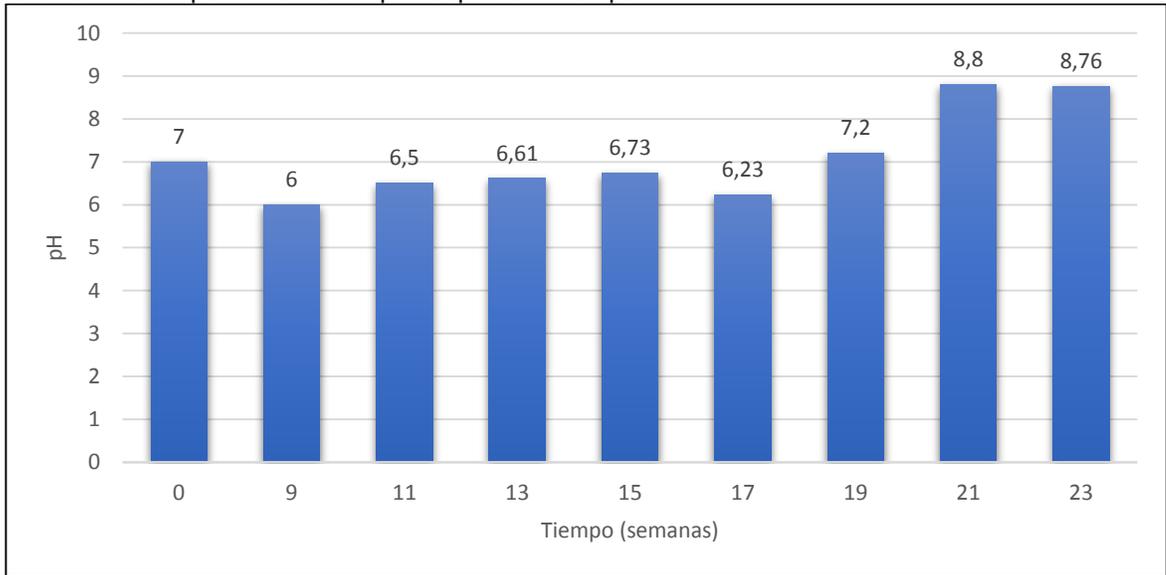
Conforme pasa el tiempo y se realizan más ciclos de enfriamiento, hay mayor acumulación de carbonatos en el agua que antes era destilada, lo que justifica también la tendencia a crecer de la alcalinidad; hasta un máximo valor de 21 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  para la semana 15. Como se observa en la gráfica 2 luego de que se alcanza el máximo valor en la alcalinidad, este disminuye y mantiene un rango de 15 a 16 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ . Para esto es importante considerar lo factores externos que afectaron el agua; la disminución de la alcalinidad coincide con el daño en la bobina inductora, razón por la cual el equipo no trabaja por dos semanas tiempo en el que se genera una sedimentación por ser estas especies muy poco solubles en el agua<sup>32</sup>, en las diferentes líneas de circulación.

Es importante tener en cuenta que, en las siguientes gráficas, para el caso del pH, el tiempo en semanas se estima desde que se hace el cambio de agua en abril, mientras que para la alcalinidad se presenta desde la semana en que se inicia con el muestreo porque no se cuenta con la información de este parámetro en la hoja de vida del proveedor.

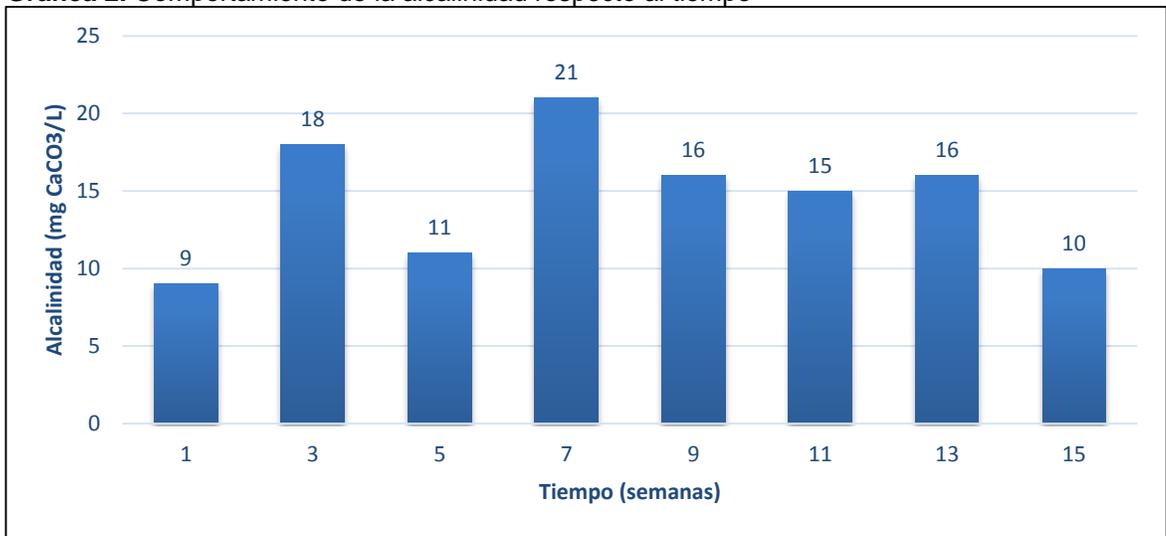
---

<sup>32</sup> BARID Colin. Química ambiental. Equilibrio entre el carbonato de calcio y el agua. España. Editorial Reverté SA. 2001. p 455.

**Gráfica 1.** Comportamiento del pH respecto al tiempo



**Gráfica 2.** Comportamiento de la alcalinidad respecto al tiempo



**2.2.4 Determinación de equilibrio químico del agua destilada.** Para la caracterización del agua se usa el cálculo del índice de saturación de Langelier<sup>33</sup> (ver **Ecuación 2**). Este método requiere conocer la alcalinidad, pH, conductividad y la concentración de calcio en el sistema. Para el caso específico se toman los datos respectivos de cada propiedad durante el monitoreo de cuatro meses (de junio a septiembre del año en curso), estimando para cada muestra cuan corrosivo es.

A continuación, se muestra de forma general el modelo matemático utilizado para estimar el grado de saturación del agua, asimismo en el anexo E se muestra de forma más profunda el desarrollo matemático.

**Ecuación 2.** Determinación de índice de Langelier

$$ISL = pH_a - (pK_2 - pK_s + p[Ca_t] + p[Alc_t] + 5p_{f_m})$$

**Fuente:** BUENO Alejandra. Et, al. MONITOREO Y MEDICIÓN DEL AJUSTE DEL pH DEL AGUA TRATADA DEL RÍO CAUCA MEDIANTE ÍNDICES DE ESTABILIZACIÓN. [en línea]. Disponible en. < <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n2/v17n2a28.pdf>>. Recuperado 04 de noviembre de 2017.p.03.

Donde cada parámetro:

- ISL, índice de saturación de Langelier
- $pH_a$ , pH medido del agua
- $pK_2 = 107,8871 + 0,03252849/T - 38,92561 \log_{10} T + 563713,9/T^2$ , constante de la segunda disociación para el ácido carbónico a la temperatura del agua.
- $pK_s = 171,9065 + 0,077993T - 2839,319 /T - 71,595 \log_{10} T$
- $p[Ca_t]$ , dureza total.
- $p[Alc_t]$ , alcalinidad total.
- $p_{f_m} = \left( \frac{A\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} \right) - 0,3I$
- $I = 1,6 \times 10^{-5} \times \text{Conductividad del agua}$

A continuación, se muestra las condiciones de operación las cuales se asumieron constantes para la temperatura en cada una de las muestras, porque durante el seguimiento no se muestra un cambio significativo, junto con los resultados de la aplicación de las ecuaciones del modelo matemático anterior (ver tabla 8). De allí el valor más representativo es ISL (índice de saturación de Langelier), que se analiza bajo la siguiente escala.

---

<sup>33</sup> BUENO Alejandra. Et, al. MONITOREO Y MEDICIÓN DEL AJUSTE DEL pH DEL AGUA TRATADA DEL RÍO CAUCA MEDIANTE ÍNDICES DE ESTABILIZACIÓN. [en línea]. Disponible en. < <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n2/v17n2a28.pdf>>. Recuperado 04 de noviembre de 2017.

- Si  $ISL = 0$ , agua en equilibrio químico
- Si  $ISL < 0$ , agua con tendencia a ser corrosiva
- Si  $ISL > 0$ , agua con tendencia incrustante

Como resultado de la aplicación del método de Langelier se pudo evidenciar dos eventos. El primero de ellos es que por dar todos los valores negativos el agua definitivamente es corrosiva lo que tiene coherencia con el estado físico de los equipos que tienen contacto con el agua. Adicionalmente confirma la hipótesis en la cual se señala que la evidente corrosión de los equipos se debe a la tendencia del agua ser acida con un pH de 6 a 6,7 puntos.

El segundo evento que se debe resaltar es la tendencia de aumentar considerablemente el índice de Langelier cada tercera muestra. Lo anterior es consecuencia del aumento de la concentración de carbonatos en el parámetro de dureza correspondiente con un valor de 61 mg de  $CaCO_3/L$  para la muestra 3 y 62 mg de  $CaCO_3/L$  de la muestra 7. Esta concentración se ve afectada por que en hacia esta época la maquina tiene un mayor tiempo de trabajo diario (12 horas) seis días a la semana frente a lo habitual (8 horas) y cinco días a la semana.

Adicionalmente esto se relaciona también con la parte operacional del equipo cabe resaltar que en los dos momentos se trabaja con la lámina hot roll que como se indica en la sección de descripción del proceso esta se trabaja en caliente, las condiciones de temperatura aumentan considerablemente cerca de los  $1000^{\circ}C$  respecto a la otra lámina cold roll en el equipo y en efecto por tener el pH una relación inversa con la temperatura como lo demostraron (Dotro et al, 1994)<sup>34</sup>, se disminuye el pH hasta 6,61 respecto al pH inicial del agua que era de 7 puntos. Razón por la cual es más corrosiva bajo el procesamiento de la hot roll.

---

<sup>34</sup> DOTRO Pablo, et, al. Estudio de la Evolución del pH en Función de la Temperatura. [en línea]. Disponible en.< <http://www.elysium.com.ar/science/phys/files/ph.pdf>>. Recuperado 4 de noviembre 2017.

**Tabla 8.** Resultados ISL

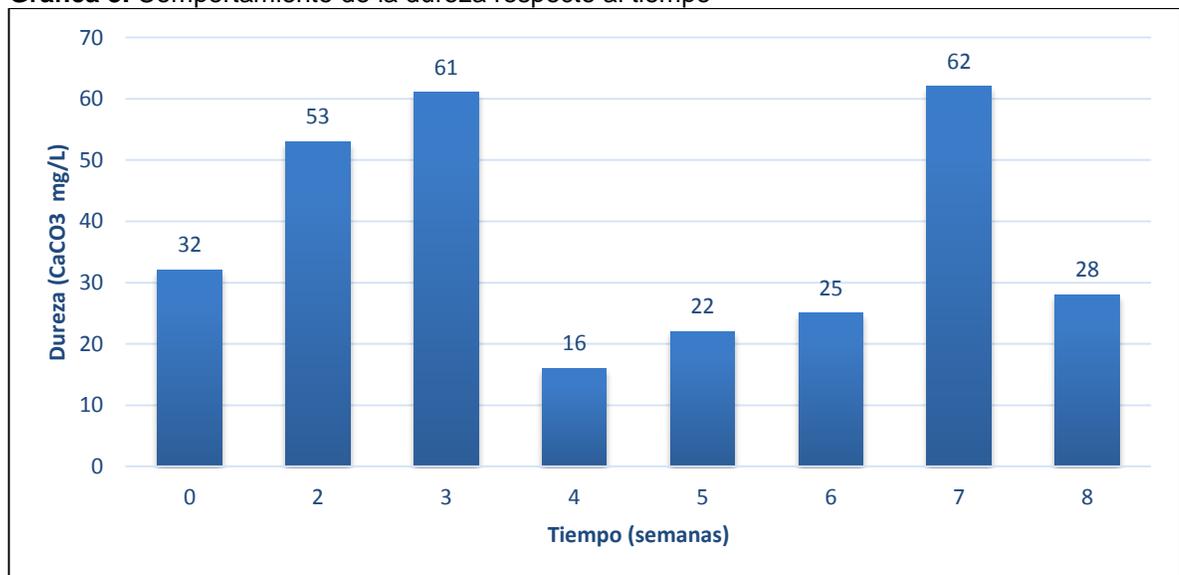
<b>Propiedad físicoquímica</b>	<b>Muestra</b>							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>pH</b>	6	6,5	6,61	6,73	6,23	7,2	8,8	8,76
<b>T (K)</b>	304,65	304,65	304,65	304,65	304,65	304,65	304,65	308
<b>Conductividad (<math>\mu\text{s}/\text{cm}</math>)</b>	9	18	39	11	10	14	11	10
<b>Alcalinidad (<math>\text{mgCaCO}_3/\text{L}</math>)</b>	9	18	11	21	16	15	16	10
<b>Dureza (<math>\text{mgCaCO}_3/\text{L}</math>)</b>	32	53	61	16	22	25	62	28
<b>Parámetros de índice de Langelier</b>								
<b>Pk<sub>2</sub></b>	10,2767	10,2767	10,2767	10,2767	10,2767	10,2767	10,2767	10,2767
<b>Pk<sub>s</sub></b>	8,5194	8,5194	8,5194	8,5194	8,5194	8,5194	8,5194	8,5194
<b>pK[Ca<sub>i</sub>]</b>	1,5051	1,7243	1,7853	1,2041	1,3424	1,3979	1,7924	1,4472
<b>Pk[Al<sub>i</sub>]</b>	0,9542	1,2553	1,0414	1,3222	1,2041	1,1761	1,2041	1,0000
<b>Pf<sub>m</sub></b>	0,0121	10,2767	10,2767	10,2767	10,2767	10,2767	10,2767	10,2767
<b>pH<sub>s</sub></b>	34,8592	55,8592	11,4219	63,8592	18,8592	24,8592	27,8592	30,8592
<b>ISL</b>	-28,8592	-49,3592	-57,2492	-12,1292	-18,6292	-20,6592	-56,0592	-22,0992

**2.2.5 Comportamiento de la dureza respecto al tiempo.** La dureza, es uno de los parámetros más importantes en este proceso al igual que en el estudio del mismo, esta propiedad, al ser medida en mg/L CaCO<sub>3</sub> (carbonatos de calcio), indica que la concentración de esta sal (CaCO<sub>3</sub>) es variable a través del tiempo, por lo que se deduce que es susceptible a cambios de temperatura y al contacto con demás elementos presentes en el fluido.

Haciendo referencia a la **Gráfica 4**, se muestra la variabilidad de los datos en cuanto la concentración a lo largo del tiempo de caracterización. Su presencia es bastante alta respecto de los otros puntos, en las semanas tres (3) y siete (7) cada uno con 61 y 61 mg CaCO<sub>3</sub>/L respectivamente. Lo anterior está ligado probablemente a factores como la intensidad horaria de trabajo de la unidad de soldadura. La máquina tiene sesiones de trabajo completas, mientras que en otras ocasiones como las semanas cuatro (4) y cinco (5) se observa lo contrario, la concentración de carbonatos en el agua disminuye notoriamente, de lo que se adjudica a un mayor contacto entre el agua de servicio contaminada y el agua de refrigeración de equipos.

El nivel de dureza, debe ser controlado prioritariamente al ser uno de los parámetros del agua que más influye en el fenómeno incrustante afectando directamente algunos de los equipos en la unidad de refrigeración y soldado, además de alterar las características del agua y así poder evitar futuros accidentes, disminuir costos y afianzar el nivel de producción de tubería redonda. No obstante, como se evidencia en las figuras de las piezas de la Yoder en secciones anteriores no hay presencia de incrustaciones aún.

**Gráfica 3.** Comportamiento de la dureza respecto al tiempo



**2.2.6 Conductividad.** El comportamiento de la conductividad a través del tiempo se representa mediante el gráfico 4, el cual nos muestra que este parámetro tiene un movimiento bastante amplio, en el cual se evidencia algunos puntos clave como es el caso de la muestra 3 que es el valor más alto respecto a las demás muestras llegando a ser de 39  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

En la tercera muestra se logra la máxima concentración de iones que hacen del agua un medio conductor, este aumento se puede atribuir al contacto que tiene el agua con piezas como la bobina inductora, por ejemplo, debido a que está fabricada en cobre al igual que los condensadores.

Este metal es arrastrado por el paso constante del agua que desgasta la superficie del material. También hay que considerar el material del que están hechas las demás piezas; el tubo oscilador está elaborado con tungsteno toriado, hierro y cerámica, sin duda el hierro es quien aporta los iones.

Es importante indicar que la intensidad con que se da la corrosión maneja una relación con la conductividad del agua y el pH. Esta propiedad aumenta drásticamente desde 0,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en su estado puro hasta 39  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Lo que se asocia al aumento del pH por la presencia de iones alcalinos

No obstante, la variabilidad de la conductividad tiende a comportarse constante coincide con lo que afirma Gómez<sup>35</sup>, en cuanto que luego de que el sistema llega a la máxima concentración permitida de iones estos tienden a equilibrar sus cargas de manera que se anulan mutuamente y se presentan interacciones asociativas y en efecto el sistema disminuye su carácter conductor.

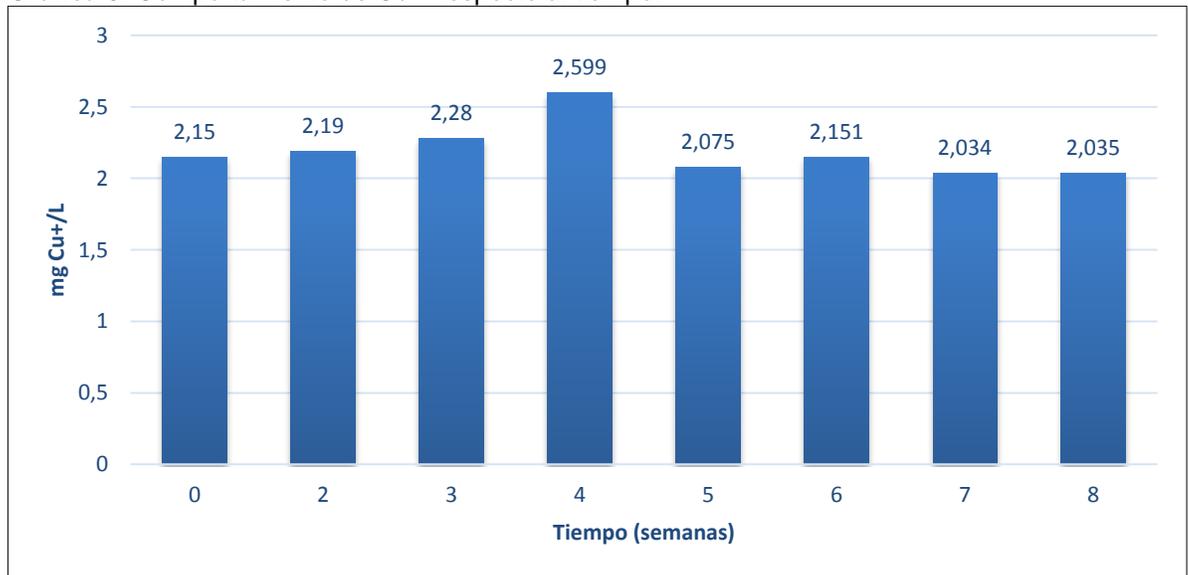
**Gráfica 4.** Comportamiento de la conductividad respecto al tiempo



<sup>35</sup> OTRO Pablo, et, al. Estudio de la Evolución del pH en Función de la Temperatura. [en línea]. Disponible en.<<http://www.elysium.com.ar/science/phys/files/ph.pdf>>. Recuperado 4 de noviembre 2017.

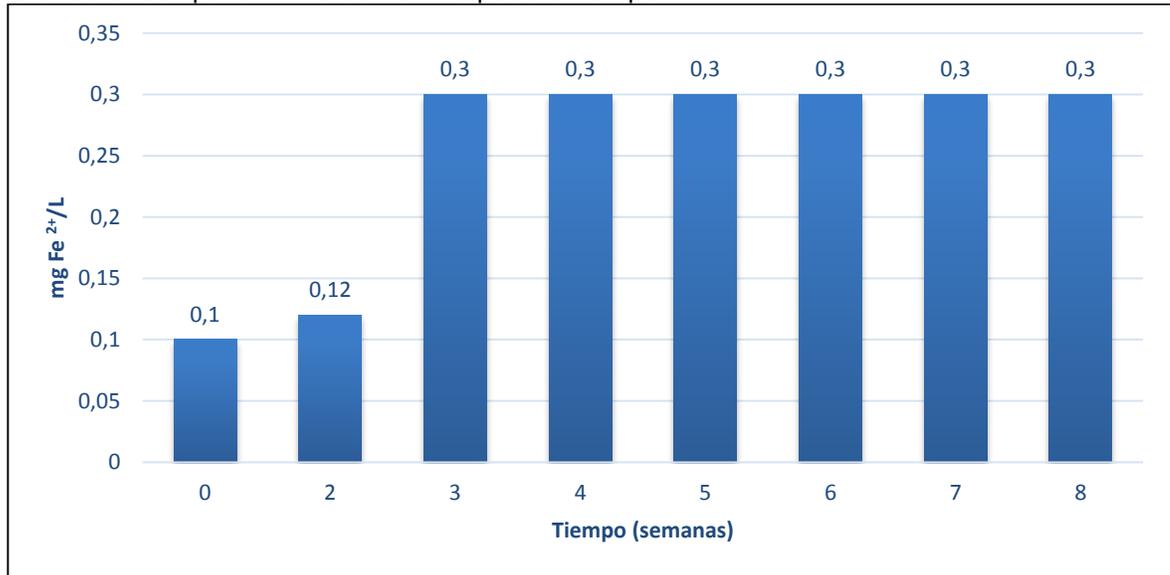
El comportamiento de la conductividad a estabilizarse en un valor bajo que para el caso es de 11  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , también, se presenta en la concentración tanto de cationes de hierro y cobre como de aniones de sulfatos, nitritos y nitratos. Lo anterior se puede evidenciar en las gráficas 4, 5, 6 y 7 respectivamente. Allí es claro que el sistema logra el equilibrio o estabilidad en la presencia de estos iones justamente también después de que se registra la muestra tres. Así entonces se tiene un valor constante aproximadamente para cobre de 2,03 mg  $\text{Cu}^{2+}/\text{L}$ , de 0,3 mg  $\text{Fe}^{2+}/\text{L}$ , 0,25 mg  $\text{NO}_3^-/\text{L}$ , 0,008  $\text{NO}_2^-/\text{L}$ , sulfatos de 10 mg  $\text{SO}_4^{2-}/\text{L}$ .

**Gráfica 5.** Comportamiento de  $\text{Cu}^{2+}$  respecto al tiempo.



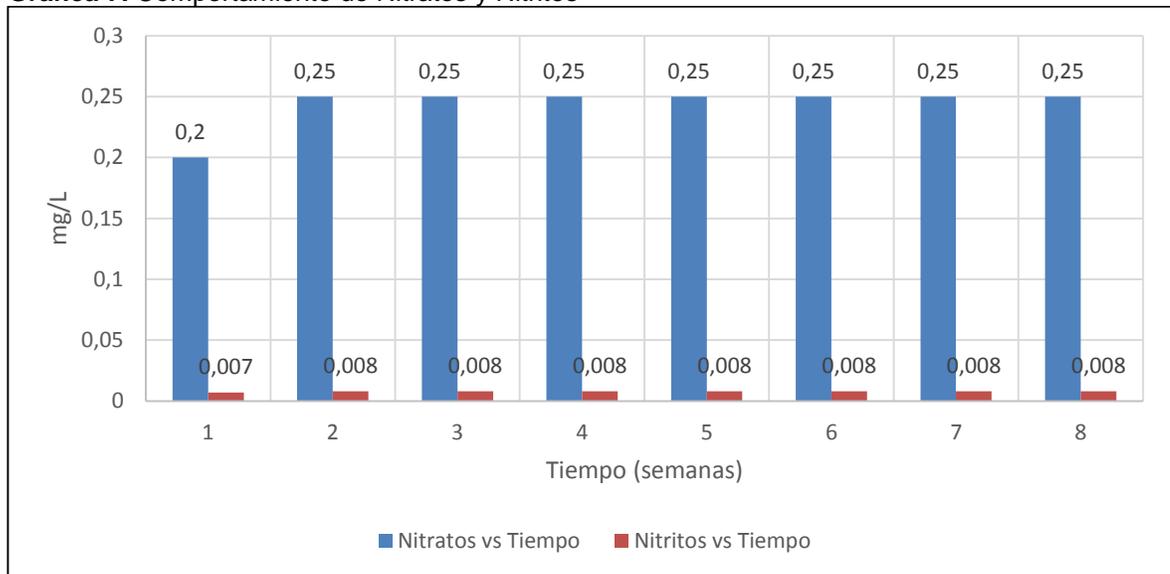
El cobre no evidencia un peligro directo en el proceso de refrigeración al no mostrar niveles altos en los que se considere que pueda llegar a presentar un corto eléctrico o una explosión, pero aun así debe ser un parámetro que necesita de un monitoreo constante por ser un potencial precursor de la corrosión.

**Gráfica 6.** Comportamiento del Fe<sup>2+</sup> respecto al tiempo

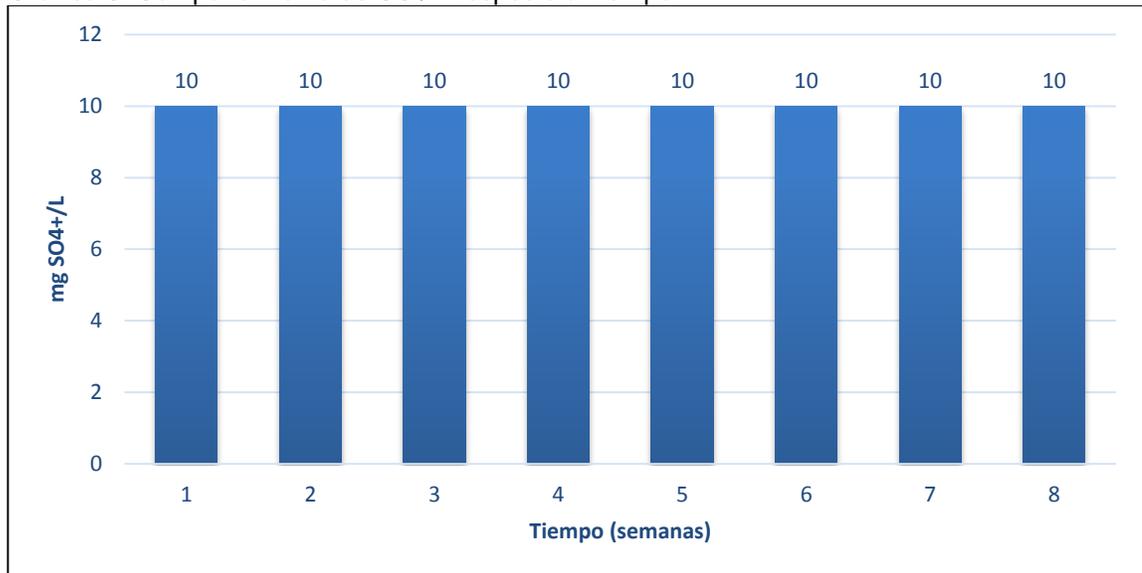


De la concertación tanto de nitritos como de nitratos que resulta ser invariante en el tiempo se puede afirmar que los tiempos de receso de la maquina no interfieren en sus niveles de concentración, por lo cual no son un factor relevante en el diagnóstico del fluido y del proceso.

**Gráfica 7.** Comportamiento de Nitratos y Nitritos

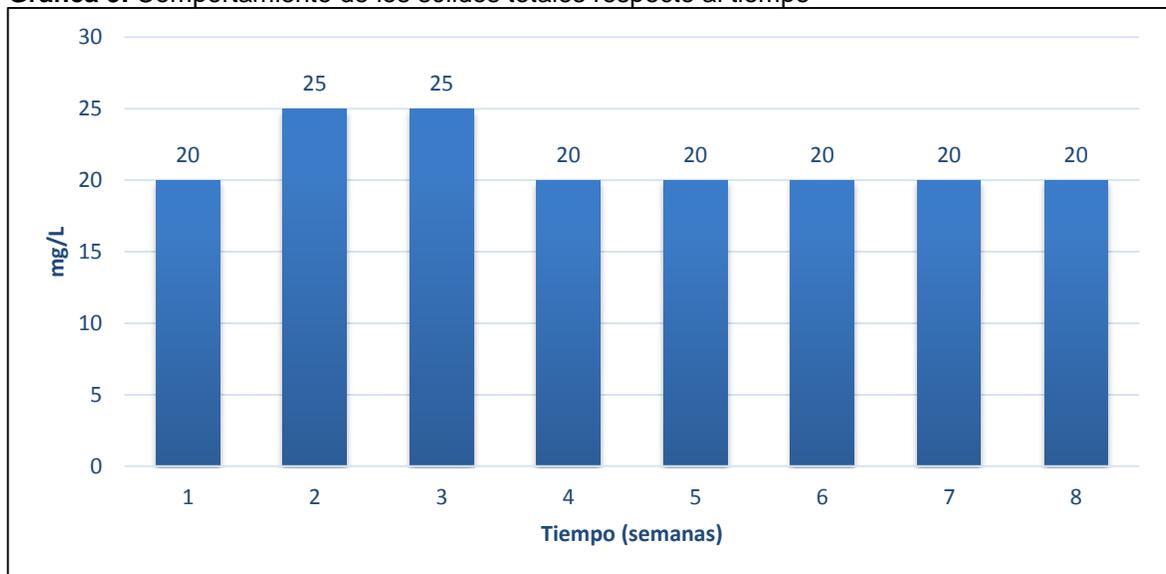


**Gráfica 8.** Comportamiento de  $\text{SO}_4^{2+}$  respecto al tiempo.



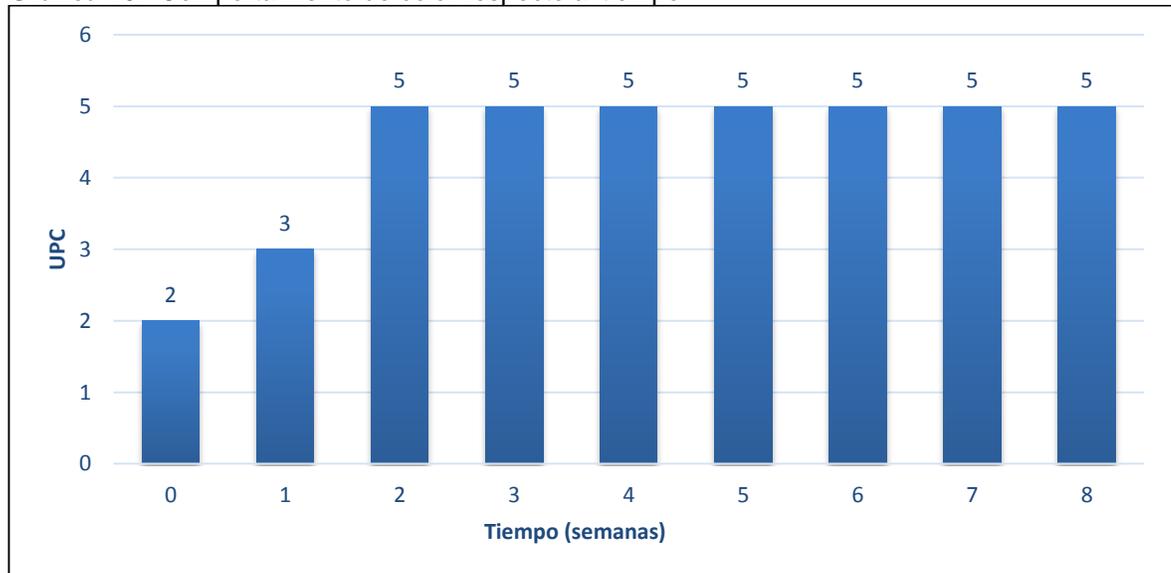
A continuación, se muestra cómo se comportan los sólidos totales durante el monitoreo del agua. Al igual que las propiedades mencionadas anteriormente luego de la muestra tres se tiene una marcada tendencia de ser constantes los sólidos totales a un valor de 20 mg/L. este resultado corresponde a los sólidos volátiles, suspendidos, disueltos y sedimentables. Lo cual resulta consistente con estabilización de aniones y cationes que se muestran en las gráficas anteriores y con la conductividad.

**Gráfica 9.** Comportamiento de los sólidos totales respecto al tiempo



**2.2.7 Comportamiento de color y turbiedad en agua de refrigeración.** El color se muestra a través del tiempo con la siguiente gráfica. También tiene una estrecha relación con los sólidos tanto disueltos como en suspensión presentes en el agua. Como se menciona en la sección anterior los las especies aniónicas, catiónicas y minerales llegan a estabilizarse luego de la muestra tres lo cual corresponde al cuarto mes después luego del cambio total de agua en abril. Esta estabilidad se da bajo 5 UPC (unidades de Pt-Co).

**Gráfica 10.** Comportamiento de color respecto al tiempo



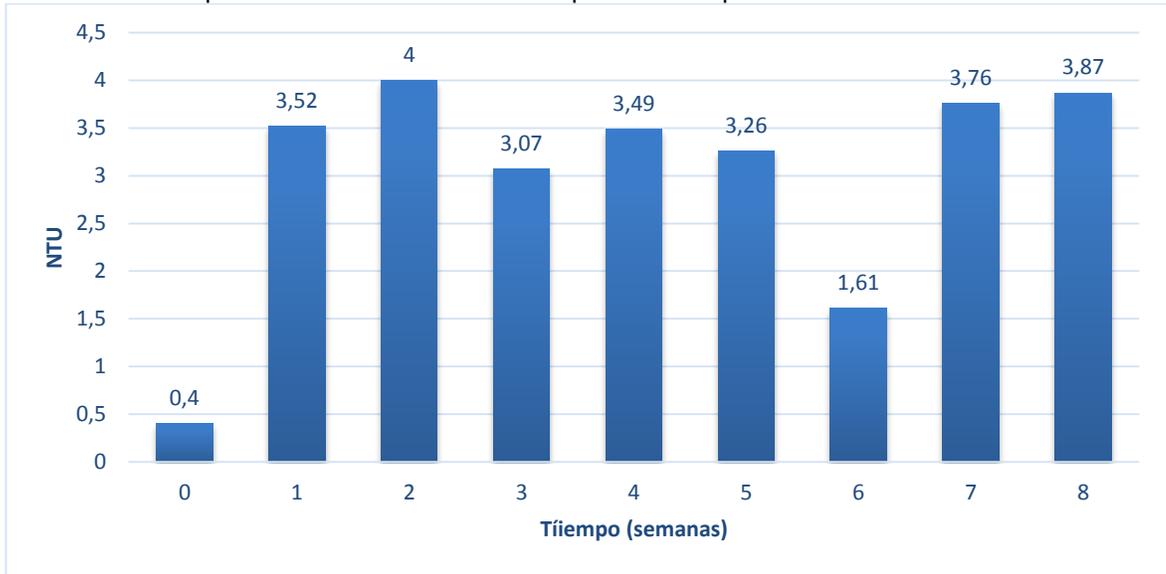
Sin embargo, la estabilidad de la turbiedad no está tan marcada como ocurre en las demás propiedades, como se puede observar en la **Gráfica 10** aunque se mantiene en un rango de 3,07 NTU y 4 NTU, hay un fuerte descenso en la muestra 6.

Esta disminución esta atribuida al paro de producción que se da a finales de agosto por una semana a causa del cambio de rodillos en la máquina formadora debido a un pedido con especificaciones diferentes a las que viene trabajando.

Por tener la turbidez una dependencia con las partículas en suspensión<sup>36</sup> el hecho de que la maquina no funcione, mantiene el agua en total reposo durante este tiempo, lo suficiente para que se precipite el material en suspensión.

<sup>36</sup> CAPRIO Tania. TURBIEDAD POR NEFELOMETRÍA (METODO B). IDEAM. [en línea]. Disponible en. <<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%ADa..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc>>. Recuperado 06 de noviembre de 2017.

**Gráfica 11.** Comportamiento de la turbiedad respecto al tiempo.



### **3. PLAN DE MEJORA PARA LAS PROPIEDADES DEL AGUA DESTILADA USADA COMO REFRIGERANTE**

A continuación, se sugiere el plan de mejora a PERFIACEROS DE COLOMBIA SAS, partiendo de los resultados obtenidos del monitoreo de cuatro meses tanto al agua destilada de refrigeración, como de los equipos involucrados con la unidad de soldadura y la línea de refrigeración. Este plan de mejora se desglosa en objetivo, alcance y metodología a seguir.

#### **3.1 OBJETIVO DE PLAN DE MEJORA**

Fortalecer la operatividad continua de la unidad de soldadura, conservando la integridad de tanto del agua de refrigeración como de las piezas internas del equipo.

#### **3.2 DELIMITACIÓN DEL PLAN DE MEJORA**

Gracias al diagnóstico de equipos se logran determinar las áreas de mayor afectación por la corrosión. Dentro de estas están los equipos ubicados en la línea de refrigeración como la torre de enfriamiento, intercambiador de placas, tanque de almacenamiento de agua, así como las piezas internas de la Yoder, bobina inductora, condensadores, tubo oscilador.

#### **3.3 PLAN DE MEJORA PARA PERFIACEROS DE COLOMBIA SAS**

Como se menciona anteriormente el daño de las piezas internas de la Yoder refrigeradas por el agua destilada, se dañan por las condiciones fisicoquímicas de la misma sin dejar de lado que las condiciones físicas de algunos equipos son inaceptables y contribuyen al deterioro del agua destilada. Razón por la cual se presenta un plan de mejora para el mantenimiento físico de la unidad de soldadura y los equipos involucrados en la transferencia de calor y para el control de las condiciones del agua destilada de refrigeración, por medio de la elaboración de una matriz de selección en la cual se determina la solución más adecuada para el buen funcionamiento del sistema.

**3.3.1 Elaboración de la matriz de selección.** A continuación (ver tabla 9) se muestra un matriz con el fin de seccionar la opción más adecuada a corto plazo para aliviar la situación de la contaminación del agua de refrigeración que inicialmente esa destilada y que afecta la integridad y el buen funcionamiento de los equipos de la unidad de soldadura.

Para realizar la matriz de selección, se evalúan tres diferentes alternativas con las cuales se puede dar solución al problema, para determinar la más apropiada, se califican los criterios de selección en números del 0 al 5, siendo 0 (cero) el valor más accesible al criterio y 5 (cinco) el valor menos favorable.

De esta manera se selecciona la alternativa de solución con el total más bajo, significando que dicha alternativa posee bajos costos de implementación, operación y manejo, además el mantenimiento requerido no aumenta costos ni personal calificado para su manipulación.

**Tabla 9.** Matriz de selección

Alternativa de solución	Criterios de Selección			
	Costo de implementación y operación	Frecuencia de mantenimiento	Nivel de operación	Total
Destilar agua de refrigeración	5	3	5	13
Cambio de intercambiador de calor	5	2	2	9
Purga del agua de refrigeración por agua fresca	1	2	2	5

Acorde a los resultados de la matriz de selección, la alternativa de solución al problema más adecuada es la purga del agua destilada, al ser una acción económica y de pronta solución, la purga, no requiere personal calificado para llevarse a cabo, y su mantenimiento puede ser llevado a cabo por medio de un análisis del fluido el cual no representa gastos elevados a comparación de otras alternativas evaluadas.

**3.3.2 Mantenimiento físico de unidad de soldadura y equipos de transferencia de calor.** En el capítulo de diagnóstico referente a equipos se demuestra el evidente deterioro de los equipos en contacto con el agua de refrigeración. Son pronunciadas las capas de óxido en la superficie metálica de cada elemento que por la fricción del agua con estas aumenta la concentración de contaminantes. En ese orden de ideas la maquinaria también es un causal del deterioro de los equipos. A continuación, se listan la serie de actividades que permiten mejorar este problema.

Con las actividades enlistadas se pretende disminuir los focos de contaminación del agua represados en la superficie de los equipos. Así mismo mejorar la transferencia de calor en el intercambiador de placas, de manera que el agua disminuya su

temperatura hasta una cercana al ambiente. En efecto esta situación permite refrigerar las piezas del soldador hasta llevarla a una temperatura ambiente que es lo que se requiere en el equipo. A continuación, se muestra una lista de chequeo con el fin de que la empresa realice un seguimiento a las actividades las anteriormente sugeridas si considera implementarlas.

**3.3.2 Plan de mejora para el agua destilada de refrigeración.** De acuerdo con el monitoreo, y diagnóstico por cuatro meses sobre el agua de refrigeración se logran identificar las propiedades fisicoquímicas del agua que se convierten en las principales debilidades del sistema, como lo es el pH, alcalinidad, dureza y conductividad. La relación que existe entre estas permite clasificar el agua como corrosiva y en efecto las condiciones físicas en las que se encuentran actualmente los diferentes equipos confirman esta hipótesis.

También es importante traer a colación que el deterioro del agua, la corrosión de los equipos y la falta de operatividad eficiente del sistema de refrigeración se convierten en un ciclo que no resulta benéfico para el buen desarrollo del proceso de soldadura. El no contar con un plan de mantenimiento físico en los equipos conlleva a la acumulación de contaminantes en la línea que inciden directamente en la calidad del agua y en el tiempo en el cual esta pierde su condición de destilada.

Por lo anterior es conveniente primero condicionar los equipos de manera que no presenten impurezas en cantidades significativas a partir de la planeación de mantenimientos como se muestra en la sección.

En segunda medida se propone establecer una purga en el sistema de refrigeración con el fin de controlar y nivelar las concentraciones de los diferentes parámetros analizados en el agua destilada, y así aumentar el tiempo de vida útil del fluido refiriéndose al agua destilada y por ende el de las piezas ya identificadas, además de disminuir los fenómenos corrosivos en otros equipos relacionados al proceso que no son propios del sistema de soldado como el intercambiador de calor y la torre de enfriamiento.

Con la purga, además de prolongar el tiempo de vida útil del fluido, piezas y equipos, se evidencia un ahorro en costos por reemplazo y mantenimiento de estos (ver Evaluación financiera cap. 4.)

La purga consiste en extraer una cantidad determinada de la corriente de reciclo, para evitar la saturación de una especie química no deseada ya que estos pueden acumularse y sobresaturar el fluido, es por esto que una porción de la corriente debe

ser eliminada (purgada) para mantener los niveles de concentración o el nivel de inertes dentro de límites aceptable.<sup>37</sup>

Es preciso decir que la purga no se realiza de forma continua, ya que las concentraciones de los diferentes parámetros en sus puntos más críticos no presentan mayor riesgo en el proceso, pero se sabe que en un periodo de tiempo más largo se requiere de reemplazos y reparaciones en varias piezas del equipo debido a desgates e ineficiencias.

De acuerdo con los análisis realizados, se escogen los niveles más convenientes de los parámetros con el fin de garantizar la seguridad y la eficiencia de la refrigeración en el proceso de soldado, para llegar a un punto confiable, se analiza cada parámetro, identificando sus puntos críticos y sus puntos benéficos o aceptables y su relación con los demás para posterior a esto realizar una serie de diluciones con el fin de lograr una concentración adecuada en general para todos los parámetros, dando así resultado a un valor exacto del porcentaje de agua que debiera ser eliminado de la corriente para ser reemplazado por el mismo valor de un fluido completamente limpio.

Con base a la experimentación realizada, y al respectivo análisis, se determina que la dureza, es un parámetro clave en la caracterización del agua por ser el más influyente en fenómenos corrosivos, además de presentar alta variabilidad en sus niveles de concentración, por lo cual este parámetro debe mantenerse al nivel más bajo posible que como nos muestra la gráfica 4 su menor concentración presentada tomo un valor de 16 mg/L CaCO<sub>3</sub> en la muestra 4 que corresponde al cuarto mes luego del cambio total de agua destilada.

Tratando de mantener estos niveles se propone realizar una purga en la corriente del agua destilada; cada 2 (dos) meses aproximadamente, donde cambia el 44,7% del agua destilada con el fin de mantener el nivel de dureza en su punto más bajo, ya que son los carbonatos los que más interfieren en los fenómenos corrosivos, además es en este punto donde la alcalinidad muestra su mayor nivel, lo que nos rectifica el dato anterior ya que esta también involucra directamente la presencia de carbonatos en el fluido, a su vez, los niveles de cobre muestran su mayor alza y los niveles de hierro tienden a estabilizarse, lo cual produce un aumento en la conductividad del agua afectando de igual manera la calidad del fluido, además el pH en este punto, comienza un alza en su nivel, lo que reconfirma el aumento de la alcalinidad, la presencia de carbonatos y probablemente algunas otras sales.

---

<sup>37</sup> MONCADA Luis. PURGAS. [en línea]. Disponible en. <<http://disenodeplantasquimicas.blogspot.com.co/2012/01/414-purgas.html>>. Recuperado 03 de noviembre de 2017.

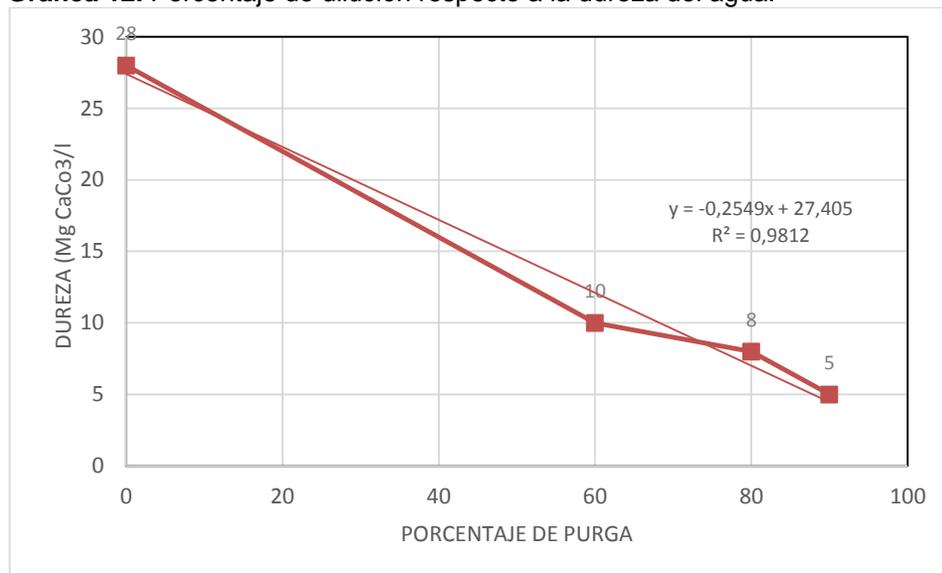
El valor del porcentaje del agua que debe ser extraído, se calcula por medio de la elaboración de la ecuación de la recta teniendo cuatro puntos pertenecientes a las tres diluciones hechas más una muestra sin diluir, las diluciones arrojan los siguientes datos, los cuales se muestran en la tabla a continuación.

**Tabla 12.** Porcentaje de dilución

Dureza (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	% Dilución
5	90
8	80
10	60

A partir de los datos obtenidos, se realiza la gráfica que se muestra en seguida, para obtener la ecuación de la recta y así poder conocer los valores de concentración para las demás diluciones, por lo que se muestra a continuación la gráfica con todos los datos y la respectiva ecuación.

**Gráfica 12.** Porcentaje de dilución respecto a la dureza del agua.



La ecuación obtenida para la recta fue la siguiente:

**Ecuación 3.** Determinación de purga de agua.

$$y = 0,2549 x + 27,405$$

Donde el eje Y corresponde a los valores de la concentración de la dureza y el eje X corresponde a los valores del porcentaje diluido.

Con el fin de obtener el valor que debe ser purgado, se hace el reemplazo en la ecuación con el valor más bajo de la dureza como se reporta en el capítulo 2, que corresponde a 16 mg/L CaCo<sub>3</sub>, donde el resultado fue de 44,7%, es decir que debe purgarse este valor para llegar a una concentración de dureza baja en el cual no se presente riesgo alguno en el proceso.

Para ello se diseña la siguiente lista de actividades bajo las cuales se sugiere hacer un control permanente de la calidad del agua (ver **Anexo E**).

Con el fin de controlar los niveles de las concentraciones en los parámetros de mayor influencia, se determina un rango aceptable acorde a los resultados presentados en el análisis realizado, optando por los niveles más bajos encontrados, con el fin de mantener la concentración de estos a niveles de poca afectación al fluido y por ende al sistema. seguido a la lista de actividades anteriormente presentadas se debe realizar un seguimiento a las mismas lo cual se sugiere controlar con el siguiente formato (ver anexo E), teniendo en cuenta la implementación de la purga si así lo considera la empresa. Lo anterior se debe llevar a cabo de una forma segura y mantener los parámetros del agua en un monitoreo adecuado.

## 4. EVALUACIÓN FINANCIERA

Para llevar a cabo el último objetivo del proyecto de grado, se realiza la respectiva evaluación financiera con el fin de obtener una comparación entre las utilidades del proceso que conlleva la maquina YODER para la empresa PERFICAEROS SAS, por medio de las utilidades de la misma, la cual se realiza en dos partes, una evaluación sin la aplicabilidad del presente trabajo de grado y la otra con la aplicación del mismo.

En primer lugar, para obtener el P Y G (balance de pérdidas y ganancias) de ambas partes de la evaluación financiera, se tuvo en cuenta las siguientes rubricas:

- Mano de obra
- Materia prima
- Ventas o producción
- CIF (costos indirectos fijos)

(Datos obtenidos directamente de los balances de la empresa).

Cabe mencionar, que los CIF contemplan ciertos ítems necesarios para el funcionamiento de la maquina Yoder, entre estos están:

- Servicios públicos (agua y luz)
- Arriendo y administración
- Seguros
- Alojamiento
- Depreciación
- Otros insumos
- Reparación y mantenimiento

La evaluación financiera se calcula desde el año 2016, 10 meses trabajados del año en curso 2017 y una proyección de los dos meses restantes para así lograr obtener datos de los años próximos y con base a estos realizar un flujo de caja con el fin de obtener un valor VPN del proceso sin proyecto y un valor VPN del proceso con aplicabilidad del mismo.

Con la implementación del proyecto, se logra aumentar el tiempo de vida útil de algunas piezas y equipos de la unidad de soldadura, reduciendo así los costos de compra y mantenimiento para un periodo de dos (2) años para así poder obtener una comparación para un tiempo en el cual se requiere mantenimiento, más el tiempo en el cual se prolongaría el mismo, es decir, que, al implementar el proyecto de grado, se aumenta en 6 (seis) meses el tiempo de vida útil del mantenimiento y reemplazo en el equipo, dando así un total de un año más

seis meses o un mantenimiento cada dos años, lo que nos lleva a realizar un análisis financiero de este tiempo ( 2 años ).

#### 4.1 EVALUACIÓN FINANCIERA SIN LA IMPLEMENTACION DEL TRABAJO DE GRADO

La evaluación financiera sin la aplicabilidad del proyecto, se realiza obteniendo las utilidades del año 2016 para luego proyectar las ventas y los costos cinco años más adelante, es decir hasta el año 2021 y así obtener un VPN para ser comparado con los valores obtenidos con la aplicabilidad del proyecto.

**4.1.1 Obtención del estado de pérdidas y ganancias (P Y G).** A continuación, se observan las utilidades o P y G correspondiente al año 2016 de la empresa PERFIACEROS SAS, teniendo en cuenta las rubricas mencionadas y el valor de las ventas del año respectivo se obtuvo lo siguiente.

**Tabla 10.** Evaluación de pérdidas y ganancias del proyecto de mejora de agua.

<b>PERFIACEROS DE COLOMBIA SAS</b>		
<b>NIT ; 900.104.899-6</b>		
<b>ESTADO DE RESULTADO DE ENERO 01 A DICIEMBRE 31 DE 2016</b>		
<b>En Pesos Colombianos</b>		
	<b>DICIEMBRE DE 2016</b>	
	<b>VALOR</b>	<b>%</b>
<b>INGRESOS OPERACIONALES</b>		
Elaboración de productos metálicos	4,270,552,000	100.00
<b>INGRESOS BRUTOS OPERACIONALES</b>	<b>4,270,552,000</b>	<b>100.00</b>
MENOS: Devoluciones, rebajas y descuentos	0	0.00
<b>TOTAL INGRESOS NETOS OPERACIONALES</b>	<b>4,270,552,000</b>	<b>100.00</b>
<b>Costo de Ventas</b>	3,843,497,000	90.00
<b>TOTAL COSTO DE VENTAS</b>	<b>3,843,497,000</b>	<b>90.00</b>
<b>UTILIDAD OPERACIONAL</b>	<b>427,055,000</b>	<b>10.00</b>
<b>UTILIDAD DEL EJERCICIO</b>	<b>427,055,000</b>	<b>10.00</b>

Fuente. Empresa PERFIACEROS SAS. Departamento de contaduría.

En el año 2016, se observa una utilidad correspondiente a \$427.055.000 COP donde en el costo de ventas solo tienen en cuenta rubricas ya mencionadas como son:

- Mano de obra
- Materia prima
- CIF

**4.1.2 Proyección de ventas.** Teniendo el valor de la utilidad 2016, se proyecta este valor a cinco años siguientes, teniendo en cuenta que las ventas incrementan en un 15% anualmente, además, los costos tienen un incremento de acuerdo al IPC (índice de precios al consumidor), otorgado por el DANE, y a la inflación, los cuales aumentan en 6,77 unidades, esto aplica para las rubricas mencionadas anteriormente.

A continuación (ver **Tabla 11**), se muestran las proyecciones de ventas para los próximos años hasta el año 2021 con el incremento del 15% anual, valor establecido por la empresa PERFIACEROS SAS

**4.1.3 VPN.** Al tener los valores de las ventas proyectadas, se realiza un flujo de caja, con el fin de obtener el VPN que nos permita traer el valor futuro a un valor presente y compararlo ante un valor con la implementación del proyecto. Se muestra a continuación (ver tabla 12), el flujo de caja para los años ya especificados con las utilidades de los mismos.

Haciendo referencia a la tabla 12, es preciso aclarar que la recuperación se proyecta acorde a las estadísticas realizadas por la empresa en años anteriores, en esta no se tiene en cuenta egresos, simplemente se proyectan los ingresos correspondientes a ventas específicas del producto elaborado por la maquina yoder.

**Tabla 11.** Proyección de recuperación de inversión estimada por PERFIACEROS SAS.

2016	Porcentaje de participación 2017	de Proyección año 2018	Proyección año 2019	Proyección año 2020	año Proyección año 2021
Datos base	<b>15%</b>				
<b>Enero</b>	480.604.426	552.695.090	635.599.353	730.939.256	840.580.145
<b>Febrero</b>	480.604.426	552.695.090	635.599.353	730.939.256	840.580.145
<b>Marzo</b>	480.604.426	552.695.090	635.599.353	730.939.256	840.580.145
<b>Abril</b>	480.604.426	552.695.090	635.599.353	730.939.256	840.580.145
<b>Mayo</b>	480.604.426	552.695.090	635.599.353	730.939.256	840.580.145
<b>Junio</b>	480.604.426	552.695.090	635.599.353	730.939.256	840.580.145
<b>Julio</b>	480.604.426	552.695.090	635.599.353	730.939.256	840.580.145
<b>Agosto</b>	480.604.426	552.695.090	635.599.353	730.939.256	840.580.145
<b>Septiembre</b>	480.604.426	552.695.090	635.599.353	730.939.256	840.580.145
<b>Octubre</b>	480.604.426	552.695.090	635.599.353	730.939.256	840.580.145
<b>Noviembre</b>	480.604.426	552.695.090	635.599.353	730.939.256	840.580.145
<b>Diciembre</b>	480.604.426	552.695.090	635.599.353	730.939.256	840.580.145
<b>TOTAL</b>	5.767.253.112	6.632.341.079	7.627.192.241	8.771.271.077	10.086.961.738
<b>DIFERENCIA</b>		865.087.967	994.851.162	1.144.078.836	1.315.690.662

**Fuente.** Empresa PERFIACEROS SAS. Departamento de contaduría.

**Tabla 12.** Estimado de VPN del proyecto

RUBRICA/TIEMPO	2017	2018	2019	2020	2021	TOTALES
	ENE-DIC	ENE-DIC	ENE-DIC	ENE-DIC	ENE-DIC	
<b>A. CAJA INICIAL</b>	427.055.000	138.692.344	628.908.859	1.192.657.851	1.840.969.191	4.228.283.245
<b>B. INGRESOS OPERACIONALES</b>	5.767.253.112	6.632.341.079	7.627.192.241	8.771.271.077	10.086.961.738	38.885.019.246
1. Ventas al contado	4.613.802.490	5.305.872.863	6.101.753.792	7.017.016.861	8.069.569.391	
2. Recaudos por cuentas por cobrar a 30 días	-	1.153.450.622	1.326.468.216	1.525.438.448	1.754.254.215	2.017.392.348
<b>D. CAJA DISPONIBLE</b>	5.040.857.490	6.598.015.830	8.057.130.867	9.735.113.160	11.664.792.797	41.095.910.144
<b>E. EGRESOS OPERACIONALES</b>	4.902.165.145	5.969.106.971	6.864.473.017	7.894.143.969	9.078.265.564	
MP	4.348.508.846	5.332.402.227	6.132.262.561	7.052.101.946	8.109.917.238	
M.O	207.621.112	238.764.279	274.578.921	315.765.759	363.130.623	
CIF	346.035.187	397.940.465	457.631.534	526.276.265	605.217.704	
<b>G. TOTAL DE EGRESOS EN EFECTIVOS (E+F)</b>	4.902.165.145	5.969.106.971	6.864.473.017	7.894.143.969	9.078.265.564	34.708.154.666
<b>H. DISPONIBLE SERVICIOS DEUDA(D-G)</b>	138.692.344	628.908.859	1.192.657.851	1.840.969.191	2.586.527.233	6.387.755.478
<b>I. SERVICIOS PROYECTADOS DEUDA(Del 16 al 25)</b>	0	0	0	0	0	-
<b>CAJA DISPONIBLE</b>	138.692.344	628.908.859	1.192.657.851	1.840.969.191	2.586.527.233	6.387.755.478
						6.387.755.478

Fuente. Empresa PERFIACEROS SAS. Departamento de contaduría.

Teniendo el valor correspondiente a las utilidades de los años próximos, es posible calcular el VPN siguiendo la fórmula a continuación.

**Ecuación 4.** Cálculo de indicador VPN

$$VPN = \sum \left( \frac{An}{(1+i)^n} + \frac{An}{(1+i)^n} + \frac{An}{(1+i)^n} \right)$$

**Fuente:** BACA C., Guillermo. Ingeniería Económica: Valor presente neto. Editorial educativa. Octava edición. 2005. p. 197

Donde:

- A corresponde al valor de la utilidad de cada uno de los años
- i es el valor de la tasa de proyectos que acepta la empresa, para este caso toma un valor de 12,89 EA (efectivo anual)
- n hace referencia al tiempo en el cual se está realizando el flujo de caja.

El valor obtenido, corresponde a la sumatoria especificada en la fórmula anterior, donde el resultado arrojado es: \$190.908.369,7 COP

## **4.2 EVALUACION FINANCIERA CON LA IMPLEMENTACION DEL TRABAJO DE GRADO**

La evaluación financiera con implementación del proyecto, se realiza de la misma manera que sin su aplicabilidad, es decir, a partir del valor de pérdidas y ganancias (P Y G), se proyectan las ventas y los nuevos costos teniendo en cuenta que para este caso, los costos tienen una reducción por consumo de agua destilada, y ajustes en mantenimiento, además que el monto necesario para esta rúbrica dentro los CIF, se financia a 24 meses en vez de 12 meses, ya que es el tiempo de vida útil que permite al proceso un mejor funcionamiento al aplicar el presente trabajo de grado.

**4.2.1 Obtención del indicador de pérdidas y ganancias (P Y G).** El PYG para este caso es el mismo valor para el año 2016 donde no hay implementación del proyecto, por lo que este valor solo es válido para realizar la proyección hacia años próximos, donde se realiza un flujo de caja con la aplicabilidad de este trabajo de grado.

En cuanto a la proyección para los demás años, se tiene en cuenta el nuevo valor de la rúbrica de mantenimiento incluida en los CIF que se muestran a continuación, teniendo en cuenta que en la tabla, se muestra el valor de mantenimiento de la unidad de soldado, donde se incluyen fletes, envíos, impuestos, manejo en puerto y demás instancias que se requieren para llevar a cabo el buen funcionamiento de

los procesos de refrigeración y soldado, este valor es ahora financiado a veinticuatro (24) meses con la implementación del proyecto.

**Tabla 13.** Costos por reparaciones sin proyecto.

**Costos por reemplazo y mantenimiento anual**

<b>Equipo</b>	<b>Valor (COP)</b>
Agua Destilada	5.598.940
Capacitores	6.154.340
Tubo Oscilador	136.535.110
<b>total</b>	<b>148.288.390</b>

En la **Tabla 14**, se muestra el valor de mantenimiento de la unidad de soldado, donde se incluyen fletes, envíos, impuestos, manejo en puerto y demás instancias que se requieren para llevar a cabo el buen funcionamiento de los procesos de refrigeración y soldado.

**Tabla 14.** Costos por reparación con proyecto

<b>RUBRICA</b>	<b>COSTOS CON PROYECTO</b>	<b>COSTOS SIN PROYECTO</b>	<b>DIFERENCIA</b>
<b>REEMPLAZO Y MANTENIMIENTO</b>	145.999.574,4	148.288.390	2.288.816
<b>CIF</b>	270.438.714	346.035.187	75.596.473
<b>EGRESOS</b>	4.826.568.672	4.902.165.145	75.596.473

Acorde a los datos que se muestran en la tabla 14, los costos por mantenimiento y reemplazo en el sistema de soldadura, no varían significativamente, la diferencia se logra gracias al tiempo en el cual la empresa realiza estos gastos, como se menciona en un principio, la implementación del proyecto aumenta el tiempo de vida de los equipos, por lo que la inversión se financia a veinticuatro (24) meses, reduciendo así el costo por reemplazo y mantenimiento lo cual influye en los CIF viéndose reflejado en los egresos anuales.

**4.2.2 Proyección en ventas.** Las ventas durante los próximos años, corresponden al mismo valor que se muestra sin la implementación del proyecto, ya que estas no dependen del valor o tiempo de mantenimiento que se lleve a cabo en los equipos, igualmente, estas aumentan en un promedio del 15% anual, dato establecido por la empresa PERFIACEROS SAS.

**4.2.3 VPN.** Para obtener el nuevo valor de VPN, se mantiene el valor de la proyección en ventas, pero se realiza un nuevo cálculo de costos de producción, ya que el costo por mantenimiento se financia a veinticuatro 24 meses, donde, sin la implementación del proyecto este valor se financia a doce (12) meses y es un poco más alto debido al mal manejo del agua.

A continuación (ver **Tabla 15**), se muestran los valores correspondientes a los nuevos valores por concepto de costos de producción teniendo en cuenta que estos también deben tener un alza acorde al valor de IPC y la inflación

Teniendo en cuenta el nuevo valor de los costos y ventas, se realiza el flujo de caja para los próximos 5 años hasta el 2021.

**Tabla 15.** Proyecciones de costos de producción de PERFIACEROS DE COLOMBIA SAS

<b>Año</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
<b>TOTAL</b>	4.826.568.673	5.893.510.498	6.788.876.544	7.818.547.497	9.002.669.092
<b>MP</b>	4.348.508.846	5.332.402.227	6.132.262.561	7.052.101.946	8.109.917.238
<b>M.O</b>	207.621.112	238.764.279	274.578.921	315.765.759	363.130.623
<b>CIF</b>	270.438.714	322.343.992	382.035.062	450.679.792	529.621.232

**Tabla 16.** Flujo de caja con aplicación de proyecto.

Rubrica/Tiempo	2017	2018	2019	2020	2021	TOTALES
	ENE-DIC	ENE-DIC	ENE-DIC	ENE-DIC	ENE-DIC	
<b>A. CAJA INICIAL</b>	427.055.000	214.288.817	780.101.804	1.419.447.269	2.143.355.082	4.984.247.972
<b>B. ingresos operacionales</b>	5.767.253.112	6.632.341.079	7.627.192.241	8.771.271.077	10.086.961.738	38.885.019.246
<b>1. Ventas al contado</b>	4.613.802.490	5.305.872.863	6.101.753.792	7.017.016.861	8.069.569.391	
<b>2. Recaudos por cuentas por cobrar a 30 días</b>	-	1.153.450.622	1.326.468.216	1.525.438.448	1.754.254.215	2.017.392.348
<b>Caja disponible</b>	5.040.857.490	6.673.612.303	8.208.323.813	9.961.902.578	11.967.178.687	41.851.874.870
<b>Egresos operacionales</b>	4.826.568.672	5.893.510.498	6.788.876.544	7.818.547.496	9.002.669.092	
<b>MP</b>	4.348.508.846	5.332.402.227	6.132.262.561	7.052.101.946	8.109.917.238	
<b>M.O</b>	207.621.112	238.764.279	274.578.921	315.765.759	363.130.623	
<b>CIF</b>	270.438.714	322.343.992	382.035.062	450.679.792	529.621.232	
<b>Total de egresos en efectivos</b>	4.826.568.672	5.893.510.498	6.788.876.544	7.818.547.496	9.002.669.092	34.330.172.303
<b>Disponible servicios deuda</b>	214.288.817	780.101.804	1.419.447.269	2.143.355.082	2.964.509.595	7.521.702.567
<b>Servicios proyectados deuda</b>	0	0	0	0	0	-
<b>Caja disponible</b>	214.288.817	780.101.804	1.419.447.269	2.143.355.082	2.964.509.595	7.521.702.567

Acorde a la tabla, para obtener el valor de VPN con la implementación del proyecto, se aplica la misma fórmula utilizada al calcular el valor de VPN sin la implementación del proyecto

Se debe aplicar nuevamente la ecuación 4 para estimar el valor presente neto arrojando un valor resultante \$278.688.344,6 COP

### **4.3 COMPARACIÓN DE LA EVALUACIÓN FINANCIERA**

Al calcular el VPN con y sin la aplicabilidad del proyecto, se escoge el VPN de mayor valor, esto significa que en el proyecto, los ingresos son mayores a los egresos por lo que el ahorro a través del tiempo es un valor considerable<sup>38</sup>, por lo cual el VPN con aplicabilidad del trabajo de grado resulta ser el más beneficioso a largo plazo, lo que confirma que el estudio realizado en la unidad de soldado y refrigeración, permite la mejora en cuanto al cuidado, control y reducción de costos en el proceso.

---

<sup>38</sup> Guillermo Baca. Ingeniería económica. Valor presente neto. 9ª ed. Colombia. Fondo educativo panamericano. 2007.197p

## 5. CONCLUSIONES

- Los métodos de diagnóstico tanto para los equipos como para el agua son concluyentes al indicar que la raíz de las afectaciones en el tubo oscilador, bobina inductora, banco de capacitores es el intercambiador de calor de placas. Este equipo presenta filtraciones por el desgaste de los empaques lo que implica el paso de agua de servicio con presencia de sales hacia donde se encuentra el agua de refrigeración razón por la cual hay contaminación del agua que le da la capacidad de corroer y/o generar un corto circuito en el sistema.
- Se identifica que se debe realizar una purga del 44% del agua de refrigeración por agua destilada fresca en el tanque de almacenamiento de la misma, para mantener estable el pH, conductividad, alcalinidad y dureza. Paralelo a esta actividad, se recomienda realizar una limpieza periódica en los equipos del proceso como el tanque de reserva, intercambiador de calor y torre de enfriamiento, entre otros cuidados.
- Para finalizar, en la evaluación financiera del proyecto, luego de realizarse la comparación entre el valor del VPN sin la implementación del proyecto y con la implementación del mismo, se concluye que el valor del VPN (\$278.688.344,6 COP) es mayor al aplicarse el proyecto, en el cual se evidencia un ahorro progresivo al financiarse el valor del costo de mantenimiento y reparación de los equipos a un periodo de tiempo más largo, lo que produce una disminución de costos anuales y CIF, además disminuye el valor de compra por agua destilada, al tener un control en su manejo, aumentando así el valor de las utilidades finales anuales y bajando la depreciación de los equipos incluidos en el proceso de refrigeración y soldado.

## 6. RECOMENDACIONES

- En primer lugar, se recomienda evaluar la posibilidad bien sea de reparar o reemplazar el intercambiador como medida de prevención de contaminación del agua de refrigeración, a largo plazo. Adicionalmente porque este no cumple con una adecuada transferencia de calor de los fluidos involucrados.
- Además, es conveniente realizar un análisis fisicoquímico sobre el agua que circula en la torre de enfriamiento, por los fenómenos corrosivos en su cubierta y sus piezas internas. Es importante también considerar la posibilidad de hacer un tratamiento de desmineralización del agua previo al ingreso a la torre porque afecta ampliamente la estructura de todas las piezas en contacto con ella.
- Se recomienda reemplazar la torre de enfriamiento debido a las condiciones físicas y operacionales deficientes de la torrea actual. Esto por estar altamente corroída y porque no refrigera el agua para el intercambiador de calor.

## BIBLIOGRAFÍA

ALLEN Paul, Mosca Gene. Paul Allen Tipler, Gene Mosca. Resistencia y ley de ohm. 5 ed. España. Editorial Reverté SA. 2005. Vol 2. 734-736 p.

BACA Guillermo. Ingeniería económica. Valor presente neto. 9ª ed. Colombia. Fondo educativo panamericano. 2007.197p

BARID Colin. Química ambiental. Equilibrio entre el carbonato de calcio y el agua. España. Editorial Reverté SA. 2001. p 455.

BOLIVAR Javier. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO A ELEVADAS TEMPERATURAS DE RECUBRIMIENTOS DE Al, Si Y DE Al MODIFICADO CON Si Y Hf DEPOSITADOS MEDIANTE CVD-FBR SOBRE ACEROS FERRÍTICO-MARTENSÍTICOS (9-12 %Cr). Tesis doctoral. Universidad complutense de Madrid. 2007. 25-28 p.

BUENO Alejandra. Et, al. MONITOREO Y MEDICIÓN DEL AJUSTE DEL pH DEL AGUA TRATADA DEL RÍO CAUCA MEDIANTE ÍNDICES DE ESTABILIZACIÓN. [en línea]. Disponible en <<http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n2/v17n2a28.pdf>>. Recuperado 04 de noviembre de 2017.

CAPRIO Tania. TURBIEDAD POR NEFELOMETRÍA (METODO B). IDEAM. [en línea]. Disponible en <<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%ADa..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc>>. Recuperado 06 de noviembre de 2017.

CARPIO G. TANIA. SÓLIDOS TOTALES SECADOS A 103 105°C. 2007. [en línea]. <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Totales+secados+a+103+--+105%C2%BAC..pdf/d4faab4a-34e4-4159-bf4c-50353b101935>. Recuperado 17 de agosto 2017.

COMMUNICATIONS & POWER INDUSTRIES. Recommendation for cooling high-power microwave devices. Application notes. Pub 2071. 2003. [en línea]. [http://www.cpii.com/docs/related/28/AEB\\_17.pdf](http://www.cpii.com/docs/related/28/AEB_17.pdf)>. Recuperado 14 de enero 2017.

CONDENSADORES [Anónimo]. [en línea]. <[file:///D:/informacion/Downloads/Condensadores%20\(1\).pdf](file:///D:/informacion/Downloads/Condensadores%20(1).pdf)>. Recuperado 25 de septiembre 2017.

CUYÁN Francisco. Actualización de los perfiles de operación, funcionamiento técnico e historial de la maquinaria y equipos auxiliares de las líneas de producción en la planta INTUPERSA, para apoyo en la programación de su mantenimiento. Trabajo de grado. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2013. 46, 47,48p.

DOTRO Pablo, et, al. Estudio de la Evolución del pH en Función de la Temperatura. [en línea]. Disponible en. <<http://www.elysium.com.ar/science/phys/files/ph.pdf>>. Recuperado 4 de noviembre 2017.

DOUGLAS Giancoli. FÍSICA. Principios con aplicaciones. Campos magnéticos. 6 ed. México. PEARSON EDUCACIÓN. 2006. 573-574 p.

GÓMEZ Félix de León Hijes y. Alcaraz Diego J. Manual básico de corrosión para ingenieros. España: Universidad de Murcia, 2004. 13, 25-28p.

HERNÁNDEZ Juan. Análisis del Riesgo por Arco Eléctrico (Arc Flash Hazard). [en línea].  
[http://www.funken.com.mx/activosfunken\\_base/Analisis%20del%20Arco%20Electrico.pdf](http://www.funken.com.mx/activosfunken_base/Analisis%20del%20Arco%20Electrico.pdf)>. Recuperado 25 de septiembre de 2017.

HINCAPIE John, TREJOS Adriana y ESCOBAR Adolfo. Electrónica de potencia para el calentamiento por inducción doméstico: revisión del estado del arte. Vol. 9, no. 18, pp. 237–262, julio-diciembre. 2013. [en línea].<  
<file:///C:/Users/PRINCESITA/Downloads/Dialnet-ElectronicaDePotenciaParaElCalentamientoPorInducci-4529558.pdf>>. Recuperado 28 de septiembre de 2017.

IDEAM (Instituto de Hidrología y Metrología y Estudios Ambientales). METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS. [en línea]. <<http://www.ideam.gov.co/web/agua/metodos-analiticos>>. Recuperado 20 de octubre de 2017.

INDUSTRIAL RF HEATING. THALES ELECTRON DEVICES. Francia. 2000  
MILLÁN, F., Mathison, J., Alvares, M. 2003. Estudio comparativo de la dureza del agua en el estado Mérida y algunas localidades del centro y occidente de Venezuela. Venezuela. Ed Universitaria. Revista Ciencia e Ingeniería. Universidad de Los Andes. pp 4-7.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 613. Bogotá D.C. El instituto, 2008. 33p. c.

\_\_\_\_\_. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D.C. El instituto 2008 36p 2008.

\_\_\_\_\_. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas NTC 4490. Bogotá D.C. El instituto, 1998. 23p.

MONCADA Luis. PURGAS. [en línea]. Disponible en. <<http://disenodeplantasquimicas.blogspot.com.co/2012/01/414-purgas.html>>. Recuperado 03 de noviembre de 2017.

PARAMETROS FISICO-QUIMICOS: ALCALINIDAD. [en línea]. <<http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-alcalinidad.pdf>>. Recuperado 17 de septiembre de 2017.

PARRA. Daniel. Tratamiento de Aguas Residuales. Mexico. 2012.p.29- 30.

PÉREZ Constantino. Amplificadores de alta potencia de RF con válvulas electrónicas. Universidad de Cantabria, Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones. [en línea]. <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Amplificadores%20de%20RF%20de%20Potencia%20Final.pdf>>. Recuperado 10 de enero 2018.

PERFIACEROS DE COLOMBIA SAS. Misión y visión. [en línea]. <<http://perfiaceros.co/>>. Recuperado 20 de julio de 2017

RODRÍGUEZ CARLOS HERNÁN. 2007. Dureza total del agua con EDTA por volumetría. [en línea].<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Dureza+total+en+agua+con+EDTA+por+volumetr%C3%ADa.pdf/44525f65-31ff-482e-bbf6-130f5f9ce7c3>. Recuperado 17 agosto 2017.

VALDIVIA-Medina, Rodes Yanet, Pedro-Valdés, Sandra, Laurel-Gómez, Maylin, "AGUA PARA USO EN LABORATORIOS". 2010. Boletín Científico Técnico INIMET. [en línea]. Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223017807002>> ISSN 0138-8576. Recuperado 10 de enero de 2018

W. Hufnagel. Manual del aluminio. Soldadura por alta frecuencia. 2 ed. España. Editorial Revertré S.A. 2004. Vol 2

WILDI Théodore. Máquinas eléctricas y sistemas de potencia. Controles eléctricos y electrónicos. 6 ed. México. Pearson Educación de México S.A. 2006. 484,485 p

WRIGHT John. Optimizing Efficiency in HF Tube Welding Processes. [en línea]. <<http://www.impeder.com/Efficiency/frame45304.html>>. recuperado 28 de septiembre 2017.

## **ANEXOS**

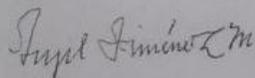
## ANEXO A

### FICHA TÉCNICA DEL AGUA DESTILADA PURA

#### *CERTIFICADO DE ANALISIS*

#### AGUA DESTILADA

CONDUCTIVIDAD	0.4 - 0.5 MICROSIEMENS / CMS
DENSIDAD	1.001 GRMS / MLT
COLOR	0 - 10 APHA
TURBIDEZ	0.4 (NTU)
PH	7.00 - 7.2
LOTE.	ADT3811895
FECHA PROC.	25/04/2016
VENCIMIENTO	en condiciones normales de Almacenamiento hasta 1 año



ANGEL JIMENEZ M.  
ING. QUIMICO

**ANEXO B**  
**FICHA TÉCNICA DE MÁQUINA DE SOLDADURA YODER**

<u>SPECIFICATION</u>	
<u>Power Unit</u>	
<u>Cabinet Dimensions</u>	
Height	1830mm (72 in)
Length	1830mm (72 in)
Width	1300mm (51.2 in)
Weight	3200 kg (7040 lb)
End Clearance	2m (6.5 ft) for removal of HV transformer
Side Clearance	600mm (34 in) for door opening
Input Voltage Range	380/600 V $\pm$ 10%
Input Current Max.	800 A
Main c.b. Magnetic Trip Setting	3750 A
DC Overload Trip Setting	32.5 A
Transformer Temp. Rise	80 °C (176 °F)
Water Flow Switch Setting - Heat Ex.	8 Imp. gal/min
Water Flow Switch Setting - Thyristors	16 Imp. gal/min
Spark Gap Setting	SINGLE TRACING PAPER
Water Pump Overload Setting	13 A
Fan Overload Setting	10 A
Air Temp. Thermostat (Above FANS )	50 °C (122 °F)
TR1 Timer Setting	5 sec
TR2 Timer Setting	14 sec
<u>Remote Control Unit - Dimensions</u>	
Standard Welder	- 445mm wide x 125mm high x 175mm deep (17.5in x 5in x 7in)
Thyristor Controlled Welder	- 565mm wide x 125mm high x 175mm deep (22.2in x 5in x 7in)

Water System

Cooling Fluid System Capacity (Typical only) 240 litre (60 imp/gals)

Tank Capacity 90 litre (20 imp/gals)

Cooling Water Pressure 4.2kg/cm<sup>2</sup> (60lb/in<sup>2</sup> max) at oscillator

Heat Exchanger Assembly ALFA LAVAL P22 VL - 41 PLATES.

Pump WORTHINGTON & SIMPSON Type 32WJ160

Water Cooled Components

Oscillator Unit Cabinet Oscillator tube (OT1), anode

Capacitor Assembly (C4)

Tank Coil (L5A)

Secondary Coil (L5B)

Bus-bars and work coil

Grid bias resistor (R9)

Power Unit Cabinet Supply to radiators for air cooling via fans

Dimensions (overall), Pump and Heat Exchanger Assembly

Length 864mm (34 in)

Width 813mm (32 in)

Height 839mm (33 in)

Weight

External Services

Electrical Supply 110/120V Mains supply

Raw Water Supply (80 GPM) 263 Maximum litre/min

3. Oscillator Unit

Cabinet Dimensions

Height	1780mm (70 in)
Length	1750mm (68.9 in)
Width	1160mm (45.6 in)
Weight	1000 kg (2200lb)
End Clearance :	
For Door	1120mm (44 in)
For Output bus-bar	3m (9.8 ft) to customer requirements
Side Clearance :	
For Door	1050mm (42 in)

Oscillator Tube *ITK 200/1* Triode, ceramic body, water cooled directly heated thoriated tungsten filament

HT Voltage	15 kV
Anode (Plate) Current	30 A
Grid Current	5-7 A
Nominal Frequency	400 kHz
Filament Voltage	2.8 V
Thyristor Controlled Voltage Regulator Ramp Time	0.5 sec
Overvolt Relay, Trip At ( $1.2V \times coil$ )	2.5 kV
Overvolt Relay Pot. (across RL-1 coil)	1054 ohms
RF Voltage Meter Setting Pot. R1	10.95 kohms
Grid Resistor	120 ohms
Water Resistance Anode to Earth	150 kohms minimum
Water Flow Switch Settings	
Oscillator Tube	24 Imp. gal/min
Tank Coil and Capacitors	6 Imp. gal/min
Secondary Coil	2.5 Imp. gal/min
Grid resistors and bus-bar	2.5 Imp. gal/min

**INDUSTRIAL**  
RF HEATING

# ITK 200-1 ITK 200-3

Water cooled triode

600 kW

- Output power: *→ potencia de salida*  
588 kW in CW mode
- Anode voltage:  
ITK 200-1: 18 kV  
ITK 200-3: 20 kV
- Anode dissipation: 220 kW
- Frequency up to 30 MHz



**THALES**

The ITK 200-1 and the ITK 200-3 are high-power triodes designed specifically for industrial applications.

These tubes use a coaxial design and metal-ceramic technology. These triodes are designed to operate in CW mode. For operation in pulse mode, the parameters

depend on each equipment characteristics. Contact us for specific information. The ITK 200-1 and the ITK 200-3 are water cooled triodes.

These products are designed, developed and manufactured at an ISO 9001 registered production site.

### Electrical characteristics

Filament	thoriated tungsten		
Filament voltage (+ 5 %, - 10 %) (1)	22.0	V	
Filament current	375	A	
Surge current	1 500	A	max.
Cold resistance	7	m	
Capacitances:			
• grid-anode	85	pF	
• grid-cathode	210	pF	
• cathode-anode (2)	6.5	pF	
Amplification factor	27		approx.
Transconductance (Va: 10 kV, Ia: 12 A)	180	mA/V	approx.

### Mechanical characteristics

Operating position	vertical, anode up or down		
Weight	22	kg	approx.
Dimensions	see outline drawing		

### Maximum ratings

Frequency (3)	30	MHz
Anode voltage:		
• ITK 200-1:		
up to 10 MHz	18	kV
from 15 to 30 MHz	15	kV
• ITK 200-3:		
up to 10 MHz	20	kV
Control grid voltage	- 1 500	V
Anode current	50	A
Control grid current:		
• at full load	10	A
• at no load	12	A
Peak cathode current	280	A
Anode dissipation:		
• industrial cooling water	200	kW
• distilled or deionized water	220	kW
Grid dissipation:		
• up to 10 MHz	6	kW
• from 10 to 30 MHz	5.5	kW
Grid resistance (tube non conducting)	10	K

(1) At frequencies above 20 MHz, the filament voltage is reduced so that the ratio of filament voltage to current becomes the same as that without an anode voltage.

(2) Measured with a 40 x 40 cm shielding plate attached to the grid plate.

(3) Limited conditions above 30 MHz. Please consult Thales Electron Devices.

# ITK 200-1 ITK 200-3

## Cooling

Anode cooling	water		
Cooling water flow and pressure gradient	see cooling curves		
Temperature at outlet (industrial water)	60	°C	max
Cooling water inlet pressure	5	bar	max
Temperature at any point on tube envelope	220	°C	max
Air flow on filament head	2	m <sup>3</sup> /min	

## Typical operation (4)

### Class C RF oscillator for industrial applications

Examples	1		2
	10	30	
Frequency	16.5	15	MHz
Anode voltage	1 060	990	V
Grid bias	1 845	1 755	V
Grid voltage	48	46.7	A
Anode current	7.4	7.5	A
Grid current, on load	792	700	kW
Anode input power	588	515	kW
Anode output power	191	173	kW
Anode dissipation	5.1	5.1	kW
Grid dissipation	145	132	
Grid resistance	12.7	13.4	%
Feedback ratio	74.25	73.6	%
Oscillator efficiency			

(4) Operation with higher frequencies on request

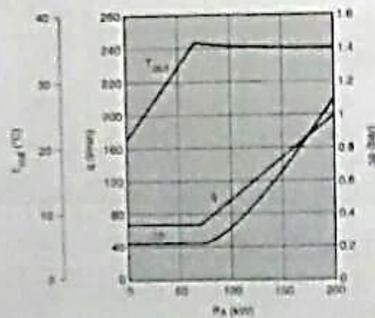
## Cooling curves

Distilled, deionized or tap water may be used for cooling. The water flow rate and pressure drop required for a particular anode dissipation are indicated on the cooling curves.

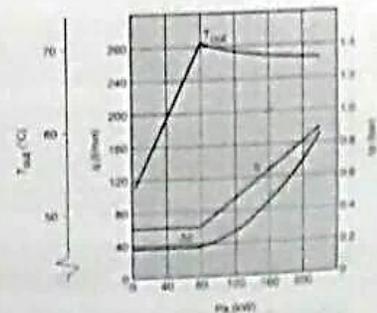
$P_a$  : anode dissipation  
 $\Delta p$  : pressure drop across the water cooler  
 $Q$  : water flow rate  
 $T_{out}$  : outlet water temperature

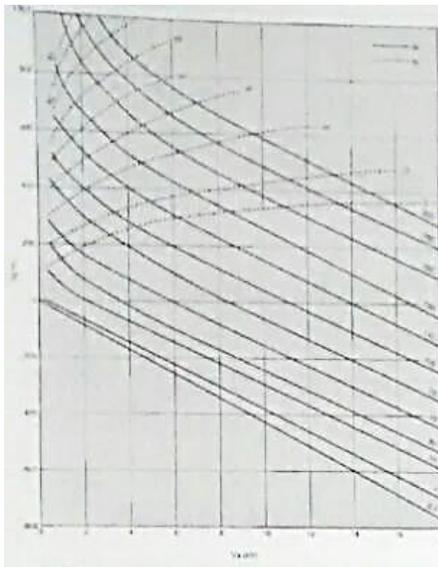
(for an inlet water temperature of 20°C with industrial water and 50°C with distilled or deionized water)

### Industrial water - minimum resistivity : 5 kΩ.cm

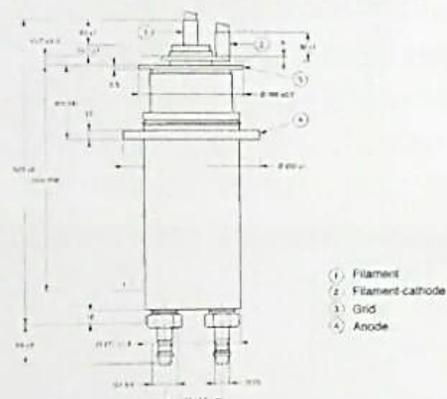


### Distilled or deionized water - minimum resistivity : 50 kΩ.cm





ITK 200-1 - Outline drawing (dimensions in mm)



ITK 200-1 - Top view (dimensions in mm)



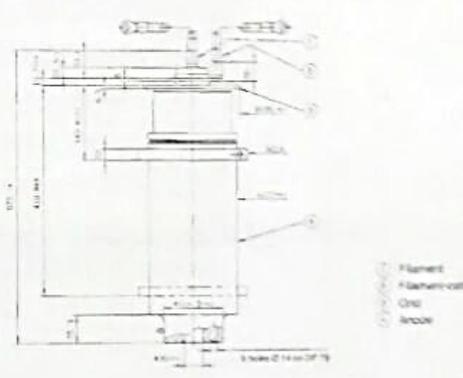
This document cannot be considered to be a contractual specification. The information given herein may be modified without notice due to product improvement or further development. Consult Thales Electron Devices before making use of this information for equipment design.

For further information, please contact:

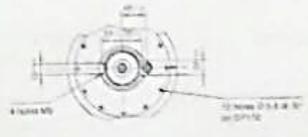
**THALES ELECTRON DEVICES**  
 2 bis, rue Latacoère - 78941 Velizy Cedex - France  
 Tel + 33 1 30 70 35 00 - Fax + 33 1 30 70 35 35  
[www.thalesgroup.com/electronddevices](http://www.thalesgroup.com/electronddevices)

**ITK 200-1**  
**ITK 200-3**

ITK 200-3 - Outline drawing (dimensions in mm)



ITK 200-3 - Top view (dimensions in mm)



ANEXO C

FACTURAS DE REPARACIÓN Y COMPRA DE PIEZAS DEL SOLDADOR



**BASS MACHINERY LLC**

2100 Hendon Street, Toledo, OH 43606  
 PH: 419-243-2277 FX: 330-299-0520  
 E-mail: [lsweeney@bassmachinery.com](mailto:lsweeney@bassmachinery.com)  
 Website: <http://www.bassmachinery.com/>

Sold To: Perfiaceros De Colombia S.A.  
 Autopista Medellin Kilometro 2  
 Siberia Bogota, Parque Ind. Los Nogales  
 Bdg #4 Municipio De Cota Cundinamarca  
 Colombia

Invoice No. : 3005  
 Date : 02/12/14  
 Sales Rep : LN

Ship To: Perfiaceros De Colombia S.A.  
 Autopista Medellin Kilometro 2  
 Siberia Bogota, Parque Ind. Los Nogales  
 Bga #4 Municipio De Cota Cundinamarca  
 Colombia

Page 1

Ship Via: Will Advise  
 Delivery: Toledo Ohio

Terms : Pay In Full Due Immediately

Quantity	Description	Unit Price	Total
1	ITK200-1 Oscillator Tube Repair Price: .....	\$14,824.00	\$14,824.00
2	Model D160 Three Phase Trigger Assembly Part # 910-5255-005 - S/N: TP-2169-0214 & TP-2168-0214 Bass Stock # 49181 & 49182 Price New: .....	\$1,329.00	\$2,658.00
12	RF Ceramic Capacitor ECCN: EAR99 - PS55-2000 Bass Stock # 49203 Price New: .....	\$119.00	\$1,128.00
2	PE200-3000-10 Ceramic Capacitor ECCN: EAR99 Bass Stock # 49204 Price New: .....	\$695.00	\$1,390.00

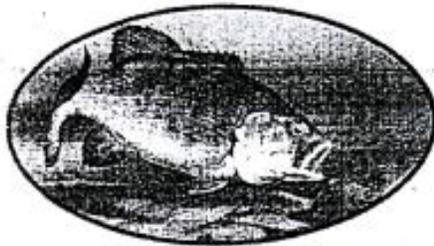
Sales Tax

NO APLICABLE

TOTAL DUE

\$20,000.00 USD

Signed *Leticia Nemire*  
 Leticia Nemire  
 Bass Machinery LLC



# BASS MACHINERY LLC

2100 Hendon Street, Toledo, OH 43606  
 PH: 419-243-2277 FX: 330-299-0520  
 E-mail: [lsweeney@bassmachinery.com](mailto:lsweeney@bassmachinery.com)  
 Website: <http://www.bassmachinery.com/>

old To: Perfiaceros De Colombia S.A.  
 Autopista Medellin Kilometro 2  
 Siberia Bogota, Parque Ind. Los Nogales  
 Bodg #4 Municipio De Cota Cundinamarca  
 Colombia

Invoice No. : 2903 ✓  
 Date : 12/12/13  
 Sales Rep : LS

ip To: Perfiaceros De Colombia S.A.  
 Autopista Medellin Kilometro 2  
 Siberia Bogota, Parque Ind. Los Nogales  
 Ega #4 Municipio De Cota Cundinamarca  
 Colombia

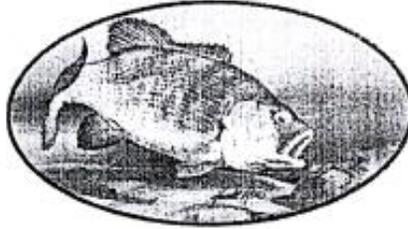
Page 1

Delivery: Via DHL

Terms : Pay In Full Prior To Shipment.

Quantity	Description	Unit Price	Total
1	Envio Capacitador Guia TWXF2106X266-40	\$156.35	\$156.35
2	Envio Capacitadores Guia 4562969040	\$494.02	\$494.02
1	Reparación Tarjeta Thermatool S/N:TP2144-0812 Guia 1229E21A2110000028	\$ 87.61	\$ 87.61
1	Tarjeta Thermatool S/N:TP2144-0812 Guia 4562969526	\$213.24	\$213.24
1	Reparación Tarjeta Thermatool S/N:TP2147-0812 Guia 1229E21A3110000036	\$ 19.61	\$ 19.61
1	Flete del tubo oscilador de MA hasta Ohio	\$298.35	\$298.35
1	Envio Tubo oscilador hasta Colombia Guia4562969460	\$2,146.31	\$2,146.31
1	Envio segunda Tarjeta Thermatool S/N TP-2147-0812 Guia4562969460	\$ 248.55	\$ 248.55

12-17 1939.61



# BASS MACHINERY LLC

2100 Hendon Street, Toledo, OH 43606

PH: 419-243-2277 FX: 330-299-0520

E-mail: [lsweeney@bassmachinery.com](mailto:lsweeney@bassmachinery.com)

Website: <http://www.bassmachinery.com/>

Sold To: Perfiaceros De Colombia S.A.  
Autopista Medellin Kilometro 2  
Siberia Bogota, Parque Ind. Los Nogales  
Bodg #4 Municipio De Cota Cundinamarca  
Colombia

Invoice No. : 141213  
Date : 12/12/13

Sales Rep : LS

Ship To: Perfiaceros De Colombia S.A.  
Autopista Medellin Kilometro 2  
Siberia Bogota, Parque Ind. Los Nogales  
Bga #4 Municipio De Cota Cundinamarca  
Colombia

Page 1

Delivery: Via DHL

Terms : Pay In Full Prior To Shipment.

Quantity	Description	Unit Price	Total
1	Tubo Oscilador	\$14.500	\$14.500
Total .....			\$14.500USD
Sales Tax .....			NO APLICABLE
TOTAL DUE .....			\$14.500USD

Signed

Leticia Nemire  
Bass Machinery LLC



# BASS MACHINERY LLC

2100 Hendon Street, Toledo, OH 43606  
PH: 419-243-2277 FX: 330-299-0520  
E-mail: [lnemire@bassmachinery.com](mailto:lnemire@bassmachinery.com)  
Website: <http://www.bassmachinery.com/>

## Commercial Invoice

Sold To: Perfiaceros De Colombia  
Autopista Medellin Kilometro 2  
Via Siberia - Bogota  
Parque Ind. Los Nogales  
Bodega # 4 Municipio De Cota  
Cundinamarca - Colombia

Shipping Number: 7KH1993  
Ship Date: 10/02/17

Sales Rep : LN

Ship To: Perfiaceros De Colombia  
Autopista Medellin Kilometro 2  
Via Siberia - Bogota  
Parque Ind. Los Nogales  
Bodega #4 Municipio De Cota,  
Cundinamarca - Colombia

Page 1

**ORIGINAL**

Ship Via: DHL Global Forwarding

Terms : Invoice For Customs Purpose Only

Quantity	Description	Unit Price	Total
1 Skid	(1)YTK 200-1 Water-Cooled Triode for Industrial RF Heating ( Oscillator Tube) .....	\$15,000.00	\$15,000.00 USD
	Sub-total .....		\$15,000.00 USD
	Sales Tax .....		NO APLICABLE
	TOTAL DUE .....		\$15,000.00 USD

DHL Global Forwarding Way Bill No. 7KH1993

Total packages: 1  
40" L x 40" W x 40" H  
Weight: 75 Lbs

Leticia Nemire  
Bass Machinery LLC.  
419-243-2277



Invoice 3662368

Remit To: 40W267 KESLINGER ROAD

PO BOX 393  
LaFox, IL 60147  
PHONE 630-208-2200  
FAX 630-208-2550  
Telex 283461

14 March 2014 Page 1 de 1

Sold To Customer 163609

PERFIACEROS DE COLOMBIA  
AUTOP MEDELLIN KM2 VIA SIBERIA  
PQ.IND LOS NOGALES BOD 4  
COTA- CUNDINAMARCA  
COLOMBIA

Ship To:  
PERFIACEROS DE COLOMBIA  
AUTOP MEDELLIN KM2 VIA SIBERIA  
PQ. IND LOS NOGALES BOD 4  
COTA- CUNDINAMARCA  
COLOMBIA

Terms	Your Order Number	Ship Via	Incoterms	Price	Amount
Ord#	Shpd Bkord	Part Number and Description			
NET 90	03/2014	UPS Ground			
1	1	ELECTRONICS EQUIPMENT REPARMENT-NL		31.416.00	31.416.00
<b>TOTAL</b>					31.416.00

Order Comments:

United States law prohibits disposition of these commodities to Cuba, Iran, North Korea, Syria and Sudan unless authorized by the United States. Please consult the Export Administration Regulations before exporting. Diversion contrary to US law prohibited. We certify this invoice true and correct. RICHARDSON ELECTRONICS LTD

**FACTURA DE VENTA** N° 86355

Fecha Factura: 10 DE OCTUBRE DE 2017  
 Fecha Venimiento: 10 DE OCTUBRE DE 2017  
 Cliente: PEFETACEROS DE COLOMBIA S.A.S.  
 Dirección: AUTOPISTA MEDELLIN KM 2.7  
 Nit: 900.104.899-6 Tel: 8773704  
 Despedido a: PARQUE INDUSTRIAL NOGALES-BODEGA NO. 5



FUNDADA EN 1965  
 NIT. 860.011.177-2  
 IVA - Régimen Común No. 03-0515-10  
 Actividad Económica 4664 - TARIFA 11.04 x 1.000  
 Av Carrera 19 No. No. 22-C-81 - Tels: 298 3309 - 298 2903  
 Fax: 298 6380 - www.todoquimicaprofinas.com  
 E-mail: profinasltda@hotmail.com - Bogotá, D.C.

CANTIDAD	PRODUCTOS	UNITARIO	VALOR TOTAL
4 UND	AGUA DESTILADA (TAMBOR X 200 LT)	\$560.000=	\$2.240.000=
	MAS I.V.A. 19%.....		\$425.600=
<p><i>1</i></p> <p><i>mta maquina yador refrigeracion en ipc</i></p> <p><i>Hecto. Romero</i></p>			

**TODOQUIMICA®**

TOTAL \$: \$2.665.600=

SON: DOS MILLONES SEISCIENTOS SESENTA Y CINCO MIL SEISCIENTOS

Fecha de recibo  
 PESOS MIL  
 PEFETACEROS  
 de Colombia S.A.S.

Condiciones de pago: CONTADO

Observaciones:

MARCELA ROMERO  
 Vendedor

Acceptada Nit 900.104.899-6  
 DOCUMENTO RECIBIDO SOLAMENTE PARA REVISIÓN

*[Signature]*  
 Vp. Rd. 2017/10/17

Numaración de Facturación  
 Formulario No. 1875205064301  
 Fecha: 2017 / 10 / 12  
 Recibo de No. 96311 y No. 86000

Resolución DIAN No. 320001312689 Fecha: 2015 / 09 / 15 Autorizada del 85.001 al 88.000

*Oct 17 2017*

## ANEXO D

### RESULTADOS DE PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA DE REFRIGERACION POR LABORATORIOS CONOSER LTDA



#### RESULTADOS DE LABORATORIO

Muestra No.:	51266	Fecha de Recepción:	Junio 12 de 2017
Procedencia:	Ferriaceros de Colombia S.A.S.	Fecha de Toma:	Junio 12 de 2017
Dirección:	Autopista Medellín Km. 2,7 Parque Industrial Nogales Bodega 4	Sitio de Toma	Muestra 1
Tipo de Muestra:	Agua / Muestreo Puntual	Tomada por:	Puesta en laboratorio.

PARAMETRO	CONC.	PARAMETRO	CONC.
Aceites y Grasas	mg/L	Hierro	mg/L-Fe
Acidez Total	mg/L. CaCO <sub>3</sub>	Mercurio	mg/L-Hg
Alcalinidad Total	mg/L. CaCO <sub>3</sub> 9	Manganeso	mg/L-Mn
Aluminio	mg/L-Al	Níquel	mg/L-Ni
Arsénico	mg/L-As	Nitratos	mg/L-NO <sub>3</sub> * 0,2
Bario	mg/L-Ba	Nitritos	mg/L-NO <sub>2</sub> * < 0,007
Cadmio	mg/L-Cd	Nitrógeno Amoniacal	mg/L
Cloro Residual	mg/L	Oxígeno Disuelto	mg/L- O <sub>2</sub>
Cloruros	mg/L Cl-	pH	Unidades
Cobre	mg/L-Cu	Plata	mg/L-Ag
E-Coli	UPC/100cc	Plomo	mg/L-Pb
Coliformes Totales	UPC/100cc	SAAM	mg/L
Color	UPC	Selenio	mg/L- Se
Conductividad	µS/cm 12	Sólidos Disueltos T.	mg/L
Cromo Hexavalente	mg/L-Cr <sub>6</sub>	Sólidos Sedimentables	mL/L-h
Cromo Total	mg/L-Cr	Sólidos Suspendidos T	mg/L
DBO <sub>5</sub>	mg/L-O <sub>2</sub>	Sólidos Totales	mg/L
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>	Sulfatos	mg/L- SO <sub>4</sub>
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub> 32	Sulfuros	mg/L-S-
Fenoles	mg/L	Temperatura	°C
Fosfatos	mg/L-PO <sub>4</sub>	Turbiedad	NTU
Hidrocarburos	mg/L-He	Zinc	mg/L-Zn

Fecha de Análisis Conoser Ltda.: 12 de Junio 2017 a 19 de Junio de 2017

Observaciones:

Jefe de Laboratorio:  Fecha: Julio 4 de 2017

Q. Andrea Arce G. Matriculada PQ-4686 Consejo Profesional de Química

PBX: 2312699. Dir. Carrera 27B No. 70 - 10, Bogotá

Resultados validos únicamente con firma (JL) y sello seco.

Recibido a conformidad:

Nota: La muestra ha sido preservada según lo establecido en el método estándar para análisis de aguas y aguas residuales.

Una vez espere el período de preservación, la muestra será desechada. resultados válidos para la muestra recibida solamente

\*Realizado por convenio interlaboratorios.

SGC-AP-I.RL-16



## RESULTADOS DE LABORATORIO

Muestra No.:	51397 / 51398	Fecha de Recepción:	Junio 28 de 2017
Procedencia:	Perfisceros de Colombia S.A.S.	Fecha de Toma:	Junio 28 de 2017
Dirección:	Autopista Medellín Km. 2,7 Parque Industrial Nogales Bodega 4	Sitio de Toma	Muestra 2
Tipo de Muestra:	Agua / Muestreo Puntual	Tomada por:	Puesta en laboratorio.

PARAMETRO	CONC.	PARAMETRO	CONC.
Aceites y Grases	mg/L	Hierro	mg/L-Fe
Acidez Total	mg/L. CaCO <sub>3</sub>	Mercurio	mg/L-Hg
Alcalinidad Total	mg/L. CaCO <sub>3</sub>	Manganeso	mg/L-Mn
Aluminio	mg/L-Al	Níquel	mg/L-Ni
Arsénico	mg/L-As	Nitratos	mg/L-NO <sub>3</sub>
Bario	mg/L-Ba	Nitritos	mg/L-NO <sub>2</sub>
Cadmio	mg/L-Cd	Nitrógeno Amoniacal	mg/L
Cloro Residual	mg/L	Oxígeno Disuelto	mg/L- O <sub>2</sub>
Cloruros	mg/L-Cl-	pH	Unidades
Cobre	mg/L-Cu	Plata	mg/L-Ag
E-Coli	UFC/100cc*	Plomo	mg/L-Pb
Coliformes Totales	UFC/100cc*	SAAM	mg/L
Color	UPC	Selenio	mg/L- Se
Conductividad	µS/cm	Sólidos Disueltos T.	mg/L
Cromo Hexavalente	mg/L-Cr <sub>6</sub>	Sólidos Sedimentables	ml/L-h
Cromo Total	mg/L-Cr	Sólidos Suspendidos T	mg/L
DBO <sub>5</sub>	mg/L-O <sub>2</sub>	Sólidos Totales	mg/L
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>	Sulfatos	mg/L- SO <sub>4</sub>
Dureza Total	mg/L. CaCO <sub>3</sub>	Sulfuros	mg/L-S-
Fenoles	mg/L	Temperatura	°C
Fosfatos	mg/L-PO <sub>4</sub>	Turbiedad	NTU
Hidrocarburos	mg/L-Hc	Zinc	mg/L-Zn

Fecha de Análisis Conoser Ltda.: 28 de Junio 2017 a 5 de Julio de 2017

Observaciones:

Jefe de Laboratorio:  Fecha: Julio 6 de 2017  
 Q. Andrea Arce G. Matrícula PQ-4686 Consejo Profesional de Química  
 PBX: 2312699, Dir. Carrera 27B No. 70 - 10, Bogotá  
 Resultados validos únicamente con firma (JL) y sello seco.

Recibido a conformidad:

Nota: La muestra ha sido procesada según la establecido en el método estándar para análisis de agua y aguas residuales.  
 Una vez expira el periodo de preservación, la muestra será desechada, resultados válidos para la muestra analizada solamente.  
 \*Realizado por convenio entre laboratorios.  
 SGC-AP-LRL-16

## RESULTADOS DE LABORATORIO

Muestra No.:	51615	Fecha de Recepción:	Julio 21 de 2017
Procedencia:	Perfiaceros de Colombia S.A.S.	Fecha de Toma:	Julio 21 de 2017
Dirección:	Autopista Medellín Km. 2,7 Parque Industrial Nogales Bodega 4	Sitio de Toma	Muestra 3
Tipo de Muestra:	Agua / Muestreo Puntual	Tomada por:	Puesta en laboratorio.

PARAMETRO		CONC.	PARAMETRO		CONC
Aceites y Grasas	mg/L.		Hierro	mg/L-Fe	< 0,3
Acidez Total	mg/L. CaCO <sub>3</sub>		Mercurio	mg/L-Hg	
Alcalinidad Total	mg/L. CaCO <sub>3</sub>	11	Manganeso	mg/L-Mn	
Aluminio	mg/L-Al		Níquel	mg/L-Ni	
Arsénico	mg/L-As		Nitratos	mg/L-NO <sub>3</sub> *	< 0,25
Bario	mg/L-Ba		Nitritos	mg/L-NO <sub>2</sub> *	< 0,008
Cadmio	mg/L-Cd		Nitrógeno Amoniacal	mg/L	
Cloro Residual	mg/L.		Oxígeno Disuelto	mg/L- O <sub>2</sub>	
Cloruros	mg/L. Cl-	26	pH	Unidades	6,61
Cobre	mg/L-Cu		Plata	mg/L-Ag	
E-Coli	UFC/100cc		Plomo	mg/L-Pb	
Coliformes Totales	UFC/100cc		SAAM	mg/L.	
Color	UPC	< 5	Selenio	mg/L- Se	
Conductividad	µS/cm	39	Sólidos Disueltos T.	mg/L	
Cromo Hexavalente	mg/L-Cr <sub>6</sub>		Sólidos Sedimentables	mL/L-h	
Cromo Total	mg/L-Cr		Sólidos Suspendidos T	mg/L	
DBO <sub>5</sub>	mg/L-O <sub>2</sub>		Sólidos Totales	mg/L	25
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>		Sulfatos	mg/L- SO <sub>4</sub>	< 10
Dureza Total	mg/L. CaCO <sub>3</sub>	61	Sulfuros	mg/L-S-	
Fenoles	mg/L.		Temperatura	°C	
Fosfatos	mg/L-PO <sub>4</sub>		Turbiedad	NTU	3,07
Hidrocarburos	mg/L-Hc		Zinc	mg/L-Zn	

Fecha de Análisis Conoser Ltda.: 21 de Julio 2017 a 28 de Julio de 2017

## Observaciones:

Jefe de Laboratorio:

Fecha: Julio 28 de 2017

Q. Andrea Arce G. Matrícula.PQ-4686 Consejo Profesional de Química  
PBX: 2312699. Dir. Carrera 27B No. 70 - 10, Bogotá  
Resultados validos únicamente con firma (JL) y sello seco.

**RESULTADOS DE LABORATORIO**

Muestra No.:	51758	Fecha de Recepción:	Agosto 2 de 2017
Procedencia:	Perfiaceros de Colombia S.A.S.	Fecha de Toma:	Agosto 2 de 2017
Dirección:	Autopista Medellín Km 2.7 Parque Industrial Los Nogales	Sitio de Toma	Muestra 4
Tipo de Muestra:	Agua / Muestreo Puntual	Tomada por:	Puesta en Laboratorio

PARAMETRO	CONC.	PARAMETRO	CONC.
Acidéz Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Hierro	mg/L-Fe < 0,3
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub> 21	Magnesio	mg/L-Mg
Aluminio	mg/L-Al	Manganeso	mg/L-Mn
Arsénico	mg/L-As	Mercurio	mg/L-Hg
Bario	mg/L-Ba	Molibdeno	mg/L-Mo
Calcio	mg/L-Ca	Nitratos	mg/L-NO <sub>3</sub>
Cloro Residual	mg/L	Nitritos	mg/L-NO <sub>2</sub>
Cloruros	mg/L Cl-	Nitrógeno Amoniacal	mg/L
Carbono Orgánico Total	mg/L-C*	Oxígeno Disuelto	mg/L- O <sub>2</sub>
E-Coli	UFC/100cc	pH	Unidades 6,73
Coliformes Totales	UFC/100cc	Plomo	mg/L-Pb
Color	UPC < 5	SAAM	mg/L
Conductividad	µS/cm 11	Selenio	mg/L- Se
Cobre	mg/L-Cu* 2,599	Sólidos Disueltos T.	mg/L
Cromo Total	mg/L-Cr	Sólidos Sedimentables	mL/L-h
DBO <sub>5</sub>	mg/L-O <sub>2</sub>	Sólidos Suspendidos T	mg/L
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>	Sólidos Totales	mg/L < 20
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub> 16	Sulfatos	mg/L- SO <sub>4</sub> < 10
Fenoles	mg/L	Sulfuros	mg/L-S-
Fosfatos	mg/L-PO <sub>4</sub>	Temperatura	°C
Fluoruros	mg/L-F <sup>-</sup>	Turbiedad	NTU 3,49
		Zinc	mg/L-Zn

Fecha de Análisis Conoser Ltda.: 2 de Agosto de 2017 a 9 de Agosto de 2017

Observaciones:

Jefe de Laboratorio:  Fecha: Agosto 23 de 2017  
 Q. Andrea Arce G. Matricula PQ-4686 Consejo Profesional de Química  
 PBX: 2312699. Dir. Carrera 27B No. 70 - 10, Bogotá  
 Resultados validos únicamente con firma (JL) y sello seco.

## RESULTADOS DE LABORATORIO

Muestra No.:	51815	Fecha de Recepción:	Agosto 14 de 2017
Procedencia:	Perfiaceros de Colombia S.A.S.	Fecha de Toma:	Agosto 14 de 2017
Dirección:	Autopista Medellín Km 2.7 Parque Industrial Los Nogales	Sitio de Toma	Muestra 5
Tipo de Muestra:	Agua / Muestreo Puntual	Tomada por:	Puesta en Laboratorio

PARAMETRO		CONC.	PARAMETRO		CONC.
Aceites y Grasas	mg/L		Hierro	mg/L-Fe	< 0,3
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>		Magnesio	mg/L-Mg	
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	16	Manganeso	mg/L-Mn	
Alcalinidad Total 41°C	mg/L CaCO <sub>3</sub>	11	Mercurio	mg/L-Hg	
Arsénico	mg/L-As		Molibdeno	mg/L-Mo	
Bario	mg/L-Ba		Nitratos	mg/L-NO <sub>3</sub>	
Calcio	mg/L-Ca		Nitritos	mg/L-NO <sub>2</sub>	
Cloro Residual	mg/L		Nitrógeno Amoniacal	mg/L	
Cloruros	mg/L Cl-		Oxígeno Disuelto	mg/L- O <sub>2</sub>	
Carbono Orgánico Total	mg/L-C*		pH	Unidades	6,23
E-Coli	UFC/100cc		pH 41°C	Unidades	6,19
Coliformes Totales	UFC/100cc		SAAM	mg/L	
Color	UPC	< 5	Selenio	mg/L- Se	
Conductividad	µS/cm	10	Sólidos Disueltos T.	mg/L	
Cobre	mg/L-Cu*	2,075	Sólidos Sedimentables	mL/L-h	
Cromo Total	mg/L-Cr		Sólidos Suspendidos T	mg/L	
DBO <sub>5</sub>	mg/L-O <sub>2</sub>		Sólidos Totales	mg/L	< 20
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>		Sulfatos	mg/L- SO <sub>4</sub>	< 10
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	22	Sulfuros	mg/L-S-	
Dureza Total 41°C	mg/L CaCO <sub>3</sub>	357	Temperatura	°C	
Fosfatos	mg/L-PO <sub>4</sub>		Turbiedad	NTU	3,26
Fluoruros	mg/L-F		Zinc	mg/L-Zn	

Fecha de Análisis Conoser Ltda.: 14 de Agosto de 2017 a 21 de Agosto de 2017

Observaciones:

Jefe de Laboratorio:  Fecha: Agosto 28 de 2017  
 Q. Andrea Arce G. Matrícula PQ-4686 Consejo Profesional de Química  
 PBX: 2312699. Dir. Carrera 27B No. 70 - 10, Bogotá  
 Resultados validos únicamente con firma (JL) y sello seco.

## RESULTADOS DE LABORATORIO

Muestra No.:	51902	Fecha de Recepción:	Agosto 25 de 2017
Procedencia:	Perfiaceros de Colombia S.A.S.	Fecha de Toma:	Agosto 25 de 2017
Dirección:	Autopista Medellín Km 2.7 Parque Industrial Los Nogales	Sitio de Toma	Muestra 6
Tipo de Muestra:	Agua / Muestreo Puntual	Tomada por:	Puesta en Laboratorio

PARAMETRO		CONC.	PARAMETRO		CONC.
Aceites y Grasas	mg/L		Hierro	mg/L-Fe	< 0,3
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>		Magnesio	mg/L-Mg	
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	15	Manganeso	mg/L-Mn	
Alcalinidad Total 41°C	mg/L CaCO <sub>3</sub>		Mercurio	mg/L-Hg	
Arsénico	mg/L-As		Molibdeno	mg/L-Mo	
Bario	mg/L-Ba		Nitratos	mg/L-NO <sub>3</sub>	
Calcio	mg/L-Ca		Nitritos	mg/L-NO <sub>2</sub>	
Cloro Residual	mg/L		Nitrógeno Amoniacal	mg/L	
Cloruros	mg/L Cl-		Oxígeno Disuelto	mg/L- O <sub>2</sub>	
Carbono Orgánico Total	mg/L-C*		pH	Unidades	7,20
E-Coli	UFC/100cc		pH 41°C	Unidades	
Coliformes Totales	UFC/100cc		SAAM	mg/L	
Color	UPC	< 5	Selenio	mg/L- Se	
Conductividad	µS/cm	14	Sólidos Disueltos T.	mg/L	
Cobre	mg/L-Cu*	2,151	Sólidos Sedimentables	mL/L-h	
Cromo Total	mg/L-Cr		Sólidos Suspendidos T	mg/L	
DBO <sub>5</sub>	mg/L-O <sub>2</sub>		Sólidos Totales	mg/L	< 20
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>		Sulfatos	mg/L- SO <sub>4</sub>	< 10
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	25	Sulfuros	mg/L-S-	
Dureza Total 41°C	mg/L CaCO <sub>3</sub>		Temperatura	°C	
Fosfatos	mg/L-PO <sub>4</sub>		Turbiedad	NTU	1,61
Fluoruros	mg/L-F		Zinc	mg/L-Zn	

Fecha de Análisis Conoser Ltda.: 25 de Agosto de 2017 a 3 de Septiembre de 2017

**Observaciones:**

Jefe de Laboratorio:  Fecha: Septiembre 12 de 2017

Q. Andrea Arce G. Matrícula PQ-4686 Consejo Profesional de Química

PBX: 2312699. Dir. Carrera 27B No. 70 - 10, Bogotá

Resultados validos únicamente con firma (JL) y sello seco.

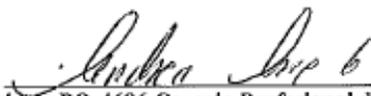
## RESULTADOS DE LABORATORIO

Muestra No.:	52024	Fecha de Recepción:	Septiembre 13 de 2017
Procedencia:	Perfiaceros de Colombia S.A.S.	Fecha de Toma:	Septiembre 13 de 2017
Dirección:	Autopista Medellín Km 2.7 Parque Industrial Los Nogales	Sitio de Toma	Muestra 7
Tipo de Muestra:	Agua / Muestreo Puntual	Tomada por:	Puesta en Laboratorio

PARAMETRO		CONC.	PARAMETRO		CONC.
Aceites y Grasas	mg/L		Hierro	mg/L-Fe	< 0,3
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>		Magnesio	mg/L-Mg	
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	16	Manganeso	mg/L-Mn	
Aluminio	mg/L-Al		Mercurio	mg/L-Hg	
Arsénico	mg/L-As		Molibdeno	mg/L-Mo	
Bario	mg/L-Ba		Nitratos	mg/L-NO <sub>3</sub>	
Calcio	mg/L-Ca		Nitritos	mg/L-NO <sub>2</sub>	
Cloro Residual	mg/L		Nitrógeno Amoniacal	mg/L	
Cloruros	mg/L Cl-		Oxígeno Disuelto	mg/L- O <sub>2</sub>	
Carbono Orgánico Total	mg/L-C		pH	Unidades	8,80
E-Coli	UFC/100cc		Plomo	mg/L-Pb	
Coliformes Totales	UFC/100cc		SAAM	mg/L	
Color	UPC	< 5	Selenio	mg/L- Se	
Conductividad	µS/cm	11	Sólidos Disueltos T.	mg/L	
Cobre	mg/L-Cu*	2,034	Sólidos Sedimentables	mL/L-h	
Cromo Total	mg/L-Cr		Sólidos Suspendidos T	mg/L	
DBO <sub>5</sub>	mg/L-O <sub>2</sub>		Sólidos Totales	mg/L	< 20
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>		Sulfatos	mg/L- SO <sub>4</sub>	< 10
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	62	Sulfuros	mg/L-S-	
Fenoles	mg/L		Temperatura	°C	
Fosfatos	mg/L-PO <sub>4</sub>		Turbiedad	NTU	3,76
Fluoruros	mg/L-F <sup>-</sup>		Zinc	mg/L-Zn	
Fecha de Análisis Conoser Ltda.: 13 de Septiembre de 2017 a 20 de Septiembre de 2017					

Observaciones:

Jefe de Laboratorio:



Fecha: Octubre 4 de 2017

Q. Andrea Arce G. Matrícula PQ-4686 Consejo Profesional de Química

PBX: 2312699. Dir. Carrera 27B No. 70 - 10, Bogotá

Resultados validos únicamente con firma (JL) y sello seco.

## RESULTADOS DE LABORATORIO

Muestra No.:	52093	Fecha de Recepción:	Septiembre 18 de 2017
Procedencia:	Perfiaceros de Colombia S.A.S.	Fecha de Toma:	Septiembre 18 de 2017
Dirección:	Autopista Medellín Km 2.7 Parque Industrial Los Nogales	Sitio de Toma	Muestra 8
Tipo de Muestra:	Agua / Muestreo Puntual	Tomada por:	Puesta en Laboratorio

PARAMETRO		CONC.	PARAMETRO		CONC
Aceites y Grasas	mg/L		Hierro	mg/L-Fe	< 0,3
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>		Magnesio	mg/L-Mg	
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	10	Manganeso	mg/L-Mn	
Aluminio	mg/L-Al		Mercurio	mg/L-Hg	
Arsénico	mg/L-As		Molibdenu	mg/L-Mo	
Bario	mg/L-Ba		Nitratos	mg/L-NO <sub>3</sub>	
Calcio	mg/L-Ca		Nitritos	mg/L-NO <sub>2</sub>	
Cloro Residual	mg/L		Nitrógeno Amoniacal	mg/L	
Cloruros	mg/L Cl-		Oxígeno Disuelto	mg/L- O <sub>2</sub>	
Carbono Orgánico Total	mg/L-C		pH	Unidades	8,76
E-Coli	UFC/100cc		Plomo	mg/L-Pb	
Coliformes Totales	UFC/100cc		SAAM	mg/L	
Color	UPC	5	Selenio	mg/L- Se	
Conductividad	µS/cm	< 10	Sólidos Disueltos T.	mg/L	
Cobre	mg/L-Cu*	2,035	Sólidos Sedimentables	mL/L-h	
Cromo Total	mg/L-Cr		Sólidos Suspendidos T	mg/L	
DBO <sub>5</sub>	mg/L-O <sub>2</sub>		Sólidos Totales	mg/L	< 20
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>		Sulfatos	mg/L- SO <sub>4</sub>	< 10
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	28	Sulfuros	mg/L-S-	
Fenoles	mg/L		Temperatura	°C	
Fosfatos	mg/L-PO <sub>4</sub>		Turbiedad	NTU	3,87
Fluoruros	mg/L-F		Zinc	mg/L-Zn	

Fecha de Análisis Conoser Ltda.: 18 de Septiembre de 2017 a 25 de Septiembre de 2017

Observaciones:

Jefe de Laboratorio:

Fecha: Octubre 4 de 2017

Q. Andrea Arce G. Matrícula-PQ-4686 Consejo Profesional de Química

PBX: 2312699. Dir. Carrera 27B No. 70 - 10, Bogotá

Resultados validos únicamente con firma (JL) y sello seco.

## RESULTADOS DE LABORATORIO

Muestra No.:	52096	Fecha de Recepción:	Septiembre 18 de 2017
Procedencia:	Perfiaceros de Colombia S.A.S.	Fecha de Toma:	Septiembre 18 de 2017
Dirección:	Autopista Medellín Km 2.7 Parque Industrial Los Nogales	Sitio de Toma	Dilución 10 % v/v Muestra 8
Tipo de Muestra:	Agua / Muestreo Puntual	Tomada por:	Puesta en Laboratorio

PARAMETRO	CONC.	PARAMETRO	CONC.
Aceites y Grasas	mg/L	Hierro	mg/L-Fe < 0,3
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Magnesio	mg/L-Mg
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub> < 7	Manganeso	mg/L-Mn
Aluminio	mg/L-Al	Mercurio	mg/L-Hg
Arsénico	mg/L-As	Molibdeno	mg/L-Mo
Bario	mg/L-Ba	Nitratos	mg/L-NO <sub>3</sub>
Calcio	mg/L-Ca	Nitritos	mg/L-NO <sub>2</sub>
Cloro Residual	mg/L	Nitrógeno Amoniacal	mg/L
Cloruros	mg/L Cl-	Oxígeno Disuelto	mg/L- O <sub>2</sub>
Carbono Orgánico Total	mg/L-C	pH	Unidades
E-Coli	UFC/100cc	Plomo	mg/L-Pb
Coliformes Totales	UFC/100cc	SAAM	mg/L
Color	UPC < 5	Selenio	mg/L- Se
Conductividad	µS/cm < 10	Sólidos Disueltos T.	mg/L
Cobre	mg/L-Cu* 0,191	Sólidos Sedimentables	mL/L-h
Cromo Total	mg/L-Cr	Sólidos Suspendidos T	mg/L
DBO <sub>5</sub>	mg/L-O <sub>2</sub>	Sólidos Totales	mg/L < 20
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>	Sulfatos	mg/L- SO <sub>4</sub> < 10
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub> < 5	Sulfuros	mg/L-S-
Fenoles	mg/L	Temperatura	°C
Fosfatos	mg/L-PO <sub>4</sub>	Turbiedad	NTU < 1,0
Fluoruros	mg/L-F	Zinc	mg/L-Zn

Fecha de Análisis Conoser Ltda.: 18 de Septiembre de 2017 a 25 de Septiembre de 2017

Observaciones:

Jefe de Laboratorio:

Q. Andrea Arce G. Matrícula-PQ-4686 Consejo Profesional de Química  
PBX: 2312699. Dir. Carrera 27B No. 70 - 10, Bogotá  
Resultados validos únicamente con firma (JL) y sello seco.

Fecha: Octubre 4 de 2017

Recibido a conformidad:

Nota: La muestra ha sido preservada según lo establecido en el método estándar para análisis de aguas y aguas residuales.  
Una vez expire el periodo de preservación, la muestra será desechada. resultados validos para la muestra analizada solamente  
\*Realizado por convenio interlaboratorios.

SGC-AP-LRL-16

## RESULTADOS DE LABORATORIO

Muestra No.:	52095	Fecha de Recepción:	Septiembre 18 de 2017
Procedencia:	Perfiaceros de Colombia S.A.S.	Fecha de Toma:	Septiembre 18 de 2017
Dirección:	Autopista Medellín Km 2.7 Parque Industrial Los Nogales	Síto de Toma	Dilución 20 % v/v Muestra 8
Tipo de Muestra:	Agua / Muestreo Puntual	Tomada por:	Puesta en Laboratorio

PARAMETRO	CONC.	PARAMETRO	CONC
Aceites y Grasas	mg/L	Hierro	mg/L-Fe < 0,3
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Magnesio	mg/L-Mg
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Manganeso	mg/L-Mn
Aluminio	mg/L-Al	Mercurio	mg/L-Hg
Arsénico	mg/L-As	Molibdeno	mg/L-Mo
Bario	mg/L-Ba	Nitratos	mg/L-NO <sub>3</sub>
Calcio	mg/L-Ca	Nitritos	mg/L-NO <sub>2</sub>
Cloro Residual	mg/L	Nitrógeno Amoniacal	mg/L
Cloruros	mg/L Cl-	Oxígeno Disuelto	mg/L- O <sub>2</sub>
Carbono Orgánico Total	mg/L-C	pH	Unidades
E-Coli	UFC/100cc	Plomo	mg/L-Pb
Coliformes Totales	UFC/100cc	SAAM	mg/L
Color	UPC	Selenio	mg/L- Se
Conductividad	µS/cm	Sólidos Disueltos T.	mg/L
Cobre	mg/L-Cu*	Sólidos Sedimentables	mL/L-h
Cromo Total	mg/L-Cr	Sólidos Suspendidos T	mg/L
DBO <sub>5</sub>	mg/L-O <sub>2</sub>	Sólidos Totales	mg/L < 20
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>	Sulfatos	mg/L- SO <sub>4</sub> < 10
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Sulfuros	mg/L-S-
Fenoles	mg/L	Temperatura	°C
Fosfatos	mg/L-PO <sub>4</sub>	Turbiedad	NTU < 1,0
Fluoruros	mg/L-F	Zinc	mg/L-Zn

Fecha de Análisis Conoser Ltda.: 18 de Septiembre de 2017 a 25 de Septiembre de 2017

Observaciones:

Jefe de Laboratorio:

Fecha: Octubre 4 de 2017

Q. Andrea Arce G. Matrícula-PQ-4686 Consejo Profesional de Química

PBX: 2312699. Dir. Carrera 27B No. 70 - 10, Bogotá

Resultados validos únicamente con firma (JL) y sello seco.

Recibido a conformidad:

Nota: La muestra ha sido preservada según lo establecido en el método estándar para análisis de aguas y aguas residuales.  
Una vez expiro el periodo de preservación, la muestra será desechada. resultados validos para la muestra analizada solamente  
\*Resultados por consumo interlaboratorio.

## RESULTADOS DE LABORATORIO

Muestra No.:	52094	Fecha de Recepción:	Septiembre 18 de 2017
Procedencia:	Perfiaceros de Colombia S.A.S.	Fecha de Toma:	Septiembre 18 de 2017
Dirección:	Autopista Medellín Km 2.7 Parque Industrial Los Nogales	Sitio de Toma	Dilución 40% v/v Muestra 8
Tipo de Muestra:	Agua / Muestreo Puntual	Tomada por:	Puesta en Laboratorio

PARAMETRO	CONC.	PARAMETRO	CONC.
Aceites y Grasas	mg/L	Hierro	mg/L-Fe < 0,3
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Magnesio	mg/L-Mg
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub> < 7	Manganeso	mg/L-Mn
Aluminio	mg/L-Al	Mercurio	mg/L-Hg
Arsénico	mg/L-As	Molibdeno	mg/L-Mo
Bario	mg/L-Ba	Nitratos	mg/L-NO <sub>3</sub>
Calcio	mg/L-Ca	Nitritos	mg/L-NO <sub>2</sub>
Cloro Residual	mg/L	Nitrógeno Amoniacal	mg/L
Cloruros	mg/L Cl-	Oxígeno Disuelto	mg/L- O <sub>2</sub>
Carbono Orgánico Total	mg/L-C	pH	Unidades
E-Coli	UFC/100cc	Plomo	mg/L-Pb
Coliformes Totales	UFC/100cc	SAAM	mg/L
Color	UPC < 5	Selenio	mg/L- Se
Conductividad	µS/cm < 10	Sólidos Disueltos T.	mg/L
Cobre	mg/L-Cu <sup>0</sup> 0,798	Sólidos Sedimentables	mL/L-h
Cromo Total	mg/L-Cr	Sólidos Suspendidos T	mg/L
DBO <sub>2</sub>	mg/L-O <sub>2</sub>	Sólidos Totales	mg/L < 20
DQO	mg/L-O <sub>2</sub>	Sulfatos	mg/L- SO <sub>4</sub> < 10
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub> 10	Sulfuros	mg/L-S-
Fenoles	mg/L	Temperatura	°C
Fosfatos	mg/L-PO <sub>4</sub>	Turbiedad	NTU 1,46
Fluoruros	mg/L-F	Zinc	mg/L-Zn

Fecha de Análisis Conoser Ltda.: 18 de Septiembre de 2017 a 25 de Septiembre de 2017

Observaciones:

Jefe de Laboratorio:

Fecha: Octubre 4 de 2017

Q. Andrea Aree G. Matrienla PQ-4686 Consejo Profesional de Química

PBX: 2312699. Dir. Carrera 27B No. 70 - 10, Bogotá

Resultados validos únicamente con firma (JL) y sello seco.

Recibido a conformidad:

Nota: La muestra ha sido preservada según lo establecido en el método estándar para análisis de aguas y aguas residuales.

Una vez avante el método de conservación, la muestra será desechada, resultados válidos para la muestra analizada solamente

## ANEXO E

### FORMATO MANTENIMIENTO FÍSICO DE UNIDAD DE SOLDADURA Y EQUIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

Equipo	Objetivo	Acciones	Metas	Indicadores	Intervalo de tiempo	Responsable
Torre de enfriamiento .	Disminuir la corrosión en la estructura	Limpiar con agua potable interna y externamente la torre.	Conservar el buen aspecto de la torre	Numero de limpiezas respecto a las realizadas antes de la implementación de plan de mejora	anualmente	Auxiliar de operación de YODER
		Cubrir la superficie con pintura anticorrosiva			Cada 18 meses	Contratista
		Cambiar la bandeja de recepción de agua en la base de la torre.			anualmente	Auxiliar de operación de YODER
Intercambiador de placas.	Mejorar la transferencia de calor entre los fluidos involucrados	Limpiar con agentes químicos la capa de corrosión e incrustaciones	Aumentar la transferencia de calor en un 60%	Medición de temperaturas a la entrada y salida del equipo	Diariamente	Ingeniera química de la empresa y operario auxiliar de la Yoder

## LISTA DE CHEQUEO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS

Formato de seguimiento al mantenimiento de equipos de línea de refrigeración.					
Responsable				Cargo	
Fecha	Equipo	Actividad a evaluar	Rango de indicador	Valor medido	Observaciones
	Torre de enfriamiento	Disminuir la corrosión en la estructura	Numero de limpiezas		
		Cubrir la superficie con pintura anticorrosiva			
		Disminuir las pérdidas de agua durante la caída por la torre	10-20%		
	Intercambiador de placas	Mejorar la transferencia de calor entre los fluidos involucrados	10-20%		
	Tanque de almacenamiento	Eliminar la capa de óxido de las paredes			

## CONTROL DE LAS PROPIEDADES DEL AGUA DE REFRIGERACIÓN

Objetivo	Acciones	Metas	Indicadores	Intervalo de tiempo	Responsable
Disminuir los niveles de concentración de contaminantes precursores de dureza, conductividad, pH,	Medir alcalinidad	Estabilizar el sistema a la mínima concentración de sales y carbonatos a los valores reportados en la muestra 4 del monitoreo del agua	21(mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Cada 4 meses	Auxiliar de operación de YODER, Ingeniera química de la empresa y
	Medir pH		6.73-7		
	Medir dureza		16 (mg CaCO <sub>3</sub> /L)		
	Medir conductividad		14 µs/cm		

## FORMATO DE SEGUIMIENTO DE PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA DE REFRIGERACIÓN.

Fecha:	Responsable:	Cargo:	
Fecha de última purga de agua		Fecha de último seguimiento	
Volumen inicial	Porcentaje a purgar	44%	volumen final
Parámetro	Resultado	rango permitido	Observaciones
Alcalinidad		9.0 - 11.0 mg/L CaCO <sub>3</sub>	
Conductividad		10.0 - 14.0 µs/cm	
Dureza		16.0 - 20.0 mg/L CaCO <sub>3</sub>	
pH		6.0 - 7.0	