



INFORME TÉCNICO ACERCA DE LAS MEJORAS AL DISEÑO DEL SISTEMA DE
EVALUACIÓN DE CORROSIVIDAD AUTOCLAVE DINÁMICA CON SISTEMAS DE
MONITOREO DE VARIABLES EN LÍNEA

AUTORES

ALBEIRO ESTEBAN ESTEBAN 1.098.787.958

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
BUCARAMANGA
26-11-2019**



**INFORME TÉCNICO ACERCA DE LAS MEJORAS AL DISEÑO DEL SISTEMA DE
EVALUACIÓN DE CORROSIVIDAD AUTOCLAVE DINÁMICA CON SISTEMAS DE
MONITOREO DE VARIABLES EN LÍNEA**

AUTORES

ALBEIRO ESTEBAN ESTEBAN 1.098.787.958

**Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

DIRECTOR

MSC. CARLOS GERARDO CÁRDENAS ARIAS

Grupo de Investigación en Diseño y materiales DIMAT

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
BUCARAMANGA
26-11-2019**

R-DC-95

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y
PRÁCTICA

VERSIÓN: 01

Nota de Aceptación

Firma del jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

A mis padres que son los principales artífices de la obtención de este gran logro, gracias a su constante apoyo que me motivó día a día a seguir en la búsqueda persistente de mi gran objetivo de ser un profesional. A Dios por guiarme y bendecirme constantemente permitiéndome superar las diferentes adversidades durante todo el proceso además de fortalecerme como persona y ser humano para los distintos retos por venir.

AGRADECIMIENTOS

Profundo y total agradecimiento a los docentes participes de mi proceso de formación, los cuales brindaron su apoyo y asesoría en los temas vistos, a mis amigos y compañeros de pregrado ya que gracias a las experiencias académicas compartidas hicieron de la universidad un espacio agradable. Agradecer a las Unidades Tecnológicas de Santander por brindarme un espacio óptimo de formación como profesional además de brindar las herramientas necesarias para una educación de calidad. A Ecopetrol y los profesionales del laboratorio ingeniería en materiales por su gran aporte de conocimiento y experiencia durante la realización de las prácticas. Gracias a todos por su aporte en mi proceso de formación, con su ayuda todo esto fue posible.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	12
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	13
1.3. OBJETIVOS	14
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	14
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	14
2. MARCOS REFERENCIALES	17
3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	21
4. RESULTADOS	22
4.1. ETAPA 1: CONCEPTUALIZACIÓN Y DOCUMENTACIÓN	22
4.2. ETAPA 2: DIAGNÓSTICO Y ALTERNATIVAS DE MEJORA	25
4.2.1. DIAGNÓSTICO	25
4.2.2. ALTERNATIVAS DE MEJORA	28
4.3. SELECCIÓN DE MEJORAS (SUSTENTACIÓN)	33
4.3.1. SELLADO AUTOCLAVES	33
4.3.2. CONEXIÓN VÁLVULAS DE ALIVIO.....	44
4.3.3. DISCOS DE RUPTURA.....	48
4.3.4. SISTEMA MONITOREO DE VARIABLES EN LÍNEA.....	55
4.3.5. PUERTOS ELECTROQUÍMICOS AUTOCLAVE CORTEST	58
4.3.6. JAULA ROTATORIA AUTOCLAVE CORTEST	61
5. CONCLUSIONES	67
6. RECOMENDACIONES.....	68
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo autoclave siglo XIX.....	18
Figura 2: Modelo Autoclave Parr.....	22
Figura 3: Agitador Magnético Parr A1120HC	23
Figura 4: Disco de ruptura A525	23
Figura 5: Controlador WATLOW	24
Figura 6: Autoclave Cortest.....	24
Figura 7: Controlador AC-12T Cortest	25
Figura 8: Válvula de alivio	27
Figura 9: Discos de ruptura.....	27
Figura 10: Vista de configuración en autoclave.....	29
Figura 11: Sello metálico 1317HCCH	30
Figura 12: Tarjeta de adquisición de datos de NI referencia USB 8451.	31
Figura 13: Arduino UNO	32
Figura 14: Agitador Parr A1180HC	34
Figura 15: Ensamble brazo Cortest.....	35
Figura 16: Acople Parr vs Cortest	35
Figura 17: Vista explosionada acople agitador.....	36
Figura 18: Rodamiento de bolas 17*26*5 mm.....	36
Figura 19: Sistema antiguo de transmisión	37
Figura 20: Vista lateral brazo	37
Figura 21: Vista frontal brazo	38
Figura 22: Vista superior brazo	39
Figura 23: Vista isométrica brazo.....	40
Figura 24: Polea transmisión	41
Figura 25: Conector de acople.....	41
Figura 26: Eje de transmisión sugerido.....	42
Figura 27: Vista superior y frontal de la instalación	46
Figura 28: Vista lateral de la instalación.....	47
Figura 29: Vista isométrica de la instalación	47
Figura 30: Cotización OPower parte1	49
Figura 31: Cotización OPower parte 2	49
Figura 32: Cotización Flexilatina parte 1	51
Figura 33: Cotización Flexilatina parte 2	54
Figura 34: Adquisición de datos.....	55
Figura 35: Transductor.....	56
Figura 36: Software de adquisición y control de datos	56
Figura 37: Dispositivo E/S multifunción modelo PCI-6143	57
Figura 38: Software National Instruments	57
Figura 39: Lazo de control cerrado	58
Figura 40: Puertos presentes equipo Cortest	58
Figura 41: Porta electrodo autoclave estática	59
Figura 42: Vista parte inferior reactor.....	59
Figura 43: Potenciostatos laboratorio de integridad e ingeniería en materiales.....	60

Figura 44: Conexión celda electroquímica	61
Figura 45: Jaula rotatoria según norma ASTM.....	61
Figura 46: Esquema jaula rotatoria	63
Figura 47: Ensamble reactor cortest con jaula rotatoria	64
Figura 48: Vista de sección volumen reactor	65
Figura 49: Vista sección volumen jaula	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Metodología	21
Tabla 2: Descripción sellado	26
Tabla 3: Composición química nominal de materiales para recipientes a presión.....	28
Tabla 4: Autoclaves Parr.....	33
Tabla 5: Recomendación sellos autoclaves	42
Tabla 6: Materiales sistema venteo válvulas de alivio	44

RESUMEN EJECUTIVO

Las autoclaves son equipos que trabajan a alta presión y alta temperatura. Estos, son usados para analizar el comportamiento de materiales frente a la corrosión bajo determinadas condiciones.

Este trabajo consiste en la búsqueda de mejoras para las autoclaves, teniendo en cuenta aspectos como el funcionamiento, operatividad y seguridad tanto para el equipo como para el personal que interviene en su operación.

Para llevar a cabo la actividad se plantearon tres etapas: primero, se realiza una revisión documental del funcionamiento de las autoclaves y sus condiciones de operación. Posteriormente, se identifican los puntos con potenciales de mejora y a su vez se proponen distintas alternativas. Por último, se seleccionaron las mejores opciones resaltando la importancia de seguridad e integridad tanto de equipos como de operarios.

La finalidad del trabajo es mejorar la funcionalidad de las autoclaves desde su operación y seguridad, guardando la integridad del equipo y personal involucrado en los diferentes procesos o pruebas realizadas. Se resalta el hecho de contar con un sistema de monitoreo en línea para las autoclaves, dada la importancia del control en tiempo real de las variables físicas presentes en el funcionamiento del equipo.

PALABRAS CLAVE. Autoclave Dinámica, Mejora, Monitoreo de Variables, Corrosión

INTRODUCCIÓN

Las autoclaves fueron inicialmente creadas para la esterilización de productos en la industria farmacéutica y han sido de gran utilidad en la industria petrolera ya que se implementaron para simular condiciones de presión y temperatura, que, sumadas a la acción de un fluido, se dimensiona y estudia el efecto ocasionado por todos los agentes en un material determinado.

Las autoclaves del laboratorio de ingeniería en materiales del ICP no están diseñadas específicamente para las condiciones requeridas, por esto, se han propuesto y realizado modificaciones a lo largo del tiempo. Las condiciones de presión y temperatura no se han llevado al límite nominal de los equipos. Se contempla la recuperación de aspectos propios de diseño además de implementar adaptaciones funcionales que mejoren la operatividad de los equipos.

El documento tiene como finalidad representar de forma clara y concisa el proceso de mejoras encontradas para el sistema y tener definidos los parámetros que se siguieron para la toma de decisiones en la elección de las alternativas.

Este documento está organizado de la siguiente manera: primero, se realiza una breve descripción de los objetivos del trabajo y se describen algunos estudios desarrollados en autoclaves. Después, se describen las fases que se llevan a cabo para el cumplimiento de los objetivos propuestos. Posteriormente, se realiza el diagnóstico del estado de los equipos y dependiendo del resultado del mismo se proponen alternativas que suplan las falencias encontradas.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Instituto Colombiano del Petróleo ICP es una entidad destinada a la investigación de procesos del sector hidrocarburos buscando siempre optimizar los procesos usados en la perforación, extracción, transporte y procesamiento de crudo para obtener los respectivos derivados el petróleo. Los equipos de los laboratorios del ICP son fundamentales en las investigaciones realizadas en pro de mejorar los procesos que se usan en todo el país en los campos petroleros y refinerías. Por tal motivo es necesario el desarrollo y avance constante a la par de la industria, esto conlleva a reevaluar los sistemas, equipos y procesos con los que se busca encontrar mejores métodos de trabajo los cuales serán implementados en la compañía alrededor del país.

La corrosión es uno de los principales problemas que afectan a los metales siendo este fenómeno el deterioro del material por un ataque electroquímico de su entorno. Los materiales buscan estar en su forma de mayor estabilidad o de menor energía interna, esto en el caso de los metales conlleva a la oxidación. La corrosión es provocada por el flujo masivo generado por las diferencias químicas entre las piezas implicadas. Una corriente de electrones se establece cuando hay una diferencia de potencial entre dos puntos. Cuando desde una especie química se ceden y migran electrones hacia otra especie, se dice que la especie que los emite se comporta como un ánodo y se verifica la oxidación, y aquella que los recibe se comporta como un cátodo y en ella se verifica la reducción.

Siendo los metales el material utilizado para el transporte del crudo además de otros procesos está expuesto a corrosión, por lo tanto, se busca evitar el máximo este fenómeno y reducir el desgaste de las piezas o materiales. En el ICP, se encuentra un equipo utilizado para evaluar la corrosión autoclave dinámica con puertos electroquímicos con sistema de monitoreo de variables en línea para el cual se desea replantear su diseño inicial. El motivo del rediseño busca mejorar el equipo en su funcionamiento y control permitiendo realizar la evaluación de corrosividad de una manera efectiva sin dejar a un lado el respectivo control de las variables presentes en el proceso. La autoclave es un dispositivo hermético que permite trabajar a alta presión para realizar reacciones industriales, su construcción debe tener en cuenta la presión y temperatura para la cual fue diseñado. Se busca analizar el margen de mejora ya sea en su construcción, accesorios o partes, control, etc.

¿Cómo es posible mejorar el diseño de la autoclave dinámica con puertos electroquímicos con sistema de monitoreo de variables en línea?

1.2. JUSTIFICACIÓN

En el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) se encuentran gran número de plantas piloto y laboratorios certificados con los cuales se llevan a cabo investigaciones destinadas al análisis de procesos, sustancias, métodos usados por Ecopetrol a lo largo y ancho del territorio nacional en sus respectivos campos petroleros. Ecopetrol busca mejorar constantemente a la par del desarrollo tecnológico gracias a los avances precedidos de las investigaciones que se llevan a cabo en el ICP. Todos los equipos del ICP están destinados al desarrollo de nuevas técnicas, métodos, procedimientos, etc. Con los cuales se empieza a evaluar las nuevas condiciones que se presentan en los campos petroleros que obligan a direccionar de una nueva manera los estándares operativos ya establecidos. Por ende, es importante dar un paso hacia el futuro e investigar constantemente las mejoras y cambios que son pertinentes realizar teniendo en cuenta las condiciones de operación, condiciones ambientales, factor humano, etc.

La industria petrolera a nivel mundial se enfrenta a diferentes retos en la actualidad, principalmente como la búsqueda de nuevas reservas petroleras, las condiciones en las que se halla el crudo en los pozos que se van encontrando con el pasar de los tiempos debido a que no son las mismas condiciones físicas y químicas. Se exploran nuevas alternativas para su extracción debido al estado geológico de la zona donde se encuentre la reserva del crudo, el transporte teniendo en cuenta las condiciones geográficas y ambientales presentes en la zona, todo esto nos lleva a la conclusión de la importancia de la constante investigación para mitigar el impacto de las condiciones cambiantes que se pueden presentar en esta industria.

El sistema de evaluación de corrosión autoclave dinámica con sistema de monitoreo de variables en línea es un equipo que se somete a condiciones de altas presiones y temperaturas el cual tiene como finalidad someter a ciertas condiciones el fluido de trabajo con el fin de esterilizar un material mediante una reacción química que interactúa de manera directa con el mismo y así mediante el análisis de determinados datos se evalúa la afectación de la corrosión en un material. Este equipo es importante para realizar este tipo de análisis debido a que la corrosión es un fenómeno químico que ataca principalmente a los metales, material que es usado en gran medida en los procesos que se involucran con el sector del petróleo.

Los equipos se fabrican para determinada función donde se proveen ciertas condiciones generales que se adaptan a las principales necesidades del mercado industrial. Los equipos pueden ser adaptados a las necesidades específicas de una empresa o institución sin dejar a un lado su funcionalidad, operatividad, confiabilidad, integridad y demás aspectos para tener en cuenta a la hora de intervenir o rediseñar un equipo o sistema. La ingeniería es de gran importancia en el campo del diseño puesto que está orientada a la constante innovación y desarrollo de alternativas que sustituyan los métodos actuales por unos más acertados o con margen de mejora con la finalidad objetiva que se tiene.

Por lo tanto, es importante analizar las oportunidades de mejora que tiene el sistema buscando evaluar las posibles falencias presentes y abordar todas las alternativas posibles desde el punto de vista de ingeniería, es importante recalcar el control y monitoreo del sistema durante su funcionamiento para evitar novedades de carácter negativo.

1.3. OBJETIVOS

A continuación, se describen los objetivos propuestos para el desarrollo del trabajo de grado:

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Definir mejoras al diseño del sistema de evaluación de corrosividad autoclave dinámica que permita monitoreo de variables en línea teniendo en cuenta sus especificaciones técnicas buscando como finalidad conservar la integridad de los equipos y del personal, la seguridad del proceso, así como la confiabilidad de los resultados arrojados por las pruebas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la respectiva documentación indagando el funcionamiento del sistema, además de los fenómenos que se producen en el mismo al momento de realizar la prueba.
- Definir equipos y adaptaciones necesarias, que permitan el monitoreo de variables en línea en los sistemas de evaluación de corrosividad autoclave dinámica.
- Seleccionar las mejores alternativas técnico-económicas, para la mejora del sistema teniendo en cuenta, las especificaciones de operación bajo las cuales serán sometidos los componentes.

1.4. ESTADO DEL ARTE

La corrosión es un fenómeno que causa el deterioro de un material debido a un ataque electroquímico causado por su entorno, esto induce al material a buscar su estado de mayor estabilidad o de menor energía interna el cual es en estado de oxidación. La industria petrolera ha sido seriamente afectada por la corrosión siendo este el causante de cerca del 80% de las fallas en sistemas de producción y transporte de crudo y sus derivados. Por tanto, en los últimos años se ha realizado constantemente investigación sobre los efectos corrosivos de agentes determinados en las diferentes aleaciones de materiales usados en la fabricación de dichas instalaciones.

En la Universidad Industrial de Santander se llevó a cabo un proyecto de grado para ingeniería metalúrgica en el año 2006, el cual consistía en evaluar la velocidad de corrosión en un acero normalizado AISI-SAE 1020. Para realizar el estudio pertinente se escogió dicho material debido a que tiene una microestructura y composición similar al acero usado en las instalaciones de procesos de producción y transporte de hidrocarburos. En la realización del proyecto de grado se empleó como gas el CO₂ ya que es una de las principales y más fuertes fuentes de corrosión. Cuando el CO₂ se diluye en agua produce

el H_2CO_3 , este es un ácido muy corrosivo que afecta a los metales produciendo picado, mesa corrosión, corrosión bajo esfuerzos y agrietamiento inducido por Hidrogeno. En el estudio se utilizó una autoclave Parr 4843 con la cual se simularon condiciones de presión y temperatura que juntadas con la solución de CO_2 Y $NaCl$ al 3% simula un ambiente propicio para el estudio de corrosión. Además de esto en la autoclave se produjo una reacción electroquímica mediante la excitación de corriente alterna o directa inducida mediante electrodos realizando pruebas de potencial de circuito abierto y de polarización electroquímica. Esto es de gran importancia para el estudio de corrosión implementado el análisis electroquímico.

Debido a la amplia gama de aplicaciones por parte de la autoclave tanto estática como dinámica su diseño y construcción no está orientada a determinada función. El diseño de las autoclaves posee rangos de operación limitando su capacidad dados los componentes que la conforman a su vez del material de construcción. En la industria petrolera se ha avanzado constantemente en el estudio de los efectos de la corrosión en los materiales y la consecuencia de ello. En el 2015 se produjo el trabajo titulado "Autoclave design for high pressure-high temperature corrosion studies" planteado por Lasebikan, Akisanya & Deans quienes hacen énfasis en el diseño exclusivo de la autoclave con fines de la industria petrolera. La autoclave se ajustaría a las cargas de servicio además de los fluidos propios de la producción petrolera los cuales son altamente corrosivos. El trabajo dio como resultado final el diseño de una autoclave dinámica. Los autores sostienen a su vez que no se deben hacer modificaciones ya que pueden afectar los resultados finales de los análisis que se efectúen en el equipo.

En la ciudad de Medellín también se han realizado trabajos sobre autoclaves tal como en la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, en donde se determinó un modelo estático y dinámico de una autoclave utilizado en la esterilización de envasados o enlatados con el fin de realizar la automatización del proceso a partir de dichos modelos, cabe resaltar la importancia de aplicar la automatización de procesos que permita el remoto del proceso. En la Universidad de la Salle se realizó un interesante trabajo en el año 2104 por Piñeros G, el cual estaba orientado al área de control de una autoclave que se encontraba en la Planta piloto de Operaciones Unitarias del programa de Ingeniería en Alimentos de la universidad. El control y supervisión de la autoclave dio como resultado la elaboración de planos de alimentación, control e instrumentación realizados a través de una interfaz gráfica siendo de esta manera más fácil y sencillo la operación para el personal que se encargue del control.

En el Instituto Colombiano del Petróleo se encuentran varias autoclaves en el área de corrosión del laboratorio de integridad e ingeniería de materiales en donde han sido identificados como los equipos de mayor criticidad en cuanto a seguridad se refiere. Es por esto que, en inicios del año 2019 durante el primer corte del convenio con las Unidades Tecnológicas de Santander, un estudiante de ingeniería electromecánica en su informe final propone un sistema de monitoreo y control de variables para las autoclaves. El principal inconveniente del monitoreo y control de estos equipos está presente en las Parr, su control se debe hacer directamente en el equipo ya que el controlador de encuentra ubicado junto a la autoclave. Por seguridad cabe recalcar que surge la alternativa de realizar el monitoreo

y control del equipo a una distancia prudente en caso de que surja una eventualidad que pueda afectar directamente al operario. La autoclave contiene el peligro latente en su operación debido a las altas presiones y temperaturas que puede alcanzar, que sumado a agentes tóxicos que puede generar durante su funcionamiento generados por la interacción química de las soluciones presentes en las pruebas pueden afectar de manera considerable la integridad de los operarios del laboratorio. Es importante retomar la iniciativa de realizar el monitoreo y control de las variables a una distancia prudente del equipo.

2. MARCOS REFERENCIALES

La corrosividad es un fenómeno natural que afecta directamente a los materiales metálicos los cuales buscan volver a su estado natural de oxidación. Este es un gran reto para la industria, evitar que los metales se deterioren por causa de la corrosión. La corrosión como tal se define como un fenómeno que deteriora un material a causa de un ataque electroquímico de su entorno. Los metales como tal buscan su forma de mayor estabilidad o de menor energía interna. La corrosión al estar originada por una reacción electroquímica (oxidación), su velocidad dependerá de la temperatura, la salinidad del fluido en contacto con el material y las propiedades de este. Es un factor importante a tener en cuenta en la industria ya que puede causar rupturas de materiales que pueden causar accidentes.

La corrosión se genera por un flujo masivo generado por las diferencias electroquímicas entre las piezas implicadas. Una corriente de electrones fluye cuando existe una diferencia de potencial entre dos puntos. En química cuando existe migración de electrones se dice que aquel que los emite se comporta como un ánodo y produce la oxidación mientras que aquel que los recibe se comporta como cátodo y presenta la reducción.

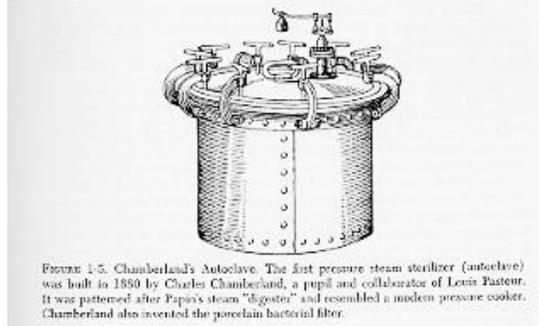
En los metales la corrosión es un fenómeno natural debido a inestabilidad termodinámica, en la Tierra los metales se encuentran en estado de óxidos, desde la prehistoria la ciencia metalúrgica ha tratado de bajar los niveles óxidos mediante diferentes técnicas y así evitar que los metales vuelvan a su estado natural. La mejor protección contra la corrosión es el aislamiento del medio ambiente que se pueden realizar con diferentes tipos de recubrimientos para así aislar sinódicas y católicas e impedir la difusión del oxígeno en el material, una capa de pintura puede ser un aislante que evite la oxidación. La elección del material es de gran importancia para evitar la corrosión bajo determinadas condiciones externas siempre teniendo en cuenta las restricciones de la aplicación como lo son: masa de la pieza, resistencia a deformación, al calor, capacidad de conducción eléctrica, etc.

En ambientes cerrados como circuitos cerrados de agua que tienen particulares características como composición química, acidez, temperatura, presión, etc. Se usan productos llamados inhibidores de corrosión que dependen del metal a proteger como del medio. Los inhibidores más usados son los molibdatos, fosfatos o etanolaminas que forman películas sobre la superficie metálica y otorgan sus electrones al medio. Las etanolaminas son usadas típicamente en combustibles para proteger tuberías y/o tanques.

La autoclave por su parte es un recipiente de presión metálico con paredes gruesas, tiene un cierre hermético para trabajar con altas presiones capaces de producir reacciones industriales. Su construcción está basada en la resistencia de presión y temperatura que va a desarrollar en su interior. Fue construido por primera vez en 1880 por microbiólogo francés Charles Chamberland, quien fuera pupilo y más tarde, colaborador de Louis Pasteur. El nombre original - y patentado - en la época, fue Chamberland, como buen científico, tuvo que recurrir a la literatura existente en la época, y encontró un instrumento creado 2 siglos antes, en 1679, por el físico francés Denis Papin, quien diseñó un equipo cerrado que trabajaba con vapor de agua a altas presiones con la finalidad de poder separar grasa y

otros tejidos desde los huesos. Papin llega a este diseño gracias a los trabajos realizados por Robert Boyle, quien estudió las propiedades termodinámicas del agua.

Figura 1: Modelo autoclave siglo XIX



Fuente: Manual básico del uso de autoclaves Universidad de Tarapacá

La autoclave funciona permitiendo la entrada o generación de vapor de agua, pero impide su salida hasta obtener determinada presión interna por encima de la presión atmosférica elevando así la temperatura del vapor. Actualmente las autoclaves pueden trabajar a 134 °C a 200 kPa durante cinco minutos para realizar el esterilizado de material metálico.

Las autoclaves deben estar provistos de equipos de instrumentación para el monitoreo de variables principalmente manómetros y termómetros con los que se verifica en tiempo real la operación del equipo. La autoclave está formada principalmente por los siguientes componentes: Válvula de seguridad encargada de evitar la salida del vapor o agua antes de la esterilización, Válvula de drenaje la cual se encarga del vapor que produce el agua cuando se alcanza la temperatura ideal de la esterilización, Manómetro y Termostato los cuales indican los niveles de presión y temperatura respectivamente, Resistencia la cual calienta el agua para la esterilización, Calderín donde se produce la reacción y tapa de cerrado hermético que cierra el sistema.

La calidad del agua para trabajar en la autoclave debe ser la siguiente:

Residuo evaporado $\leq 15\text{mg/l}$

Sílice $\leq 2\text{mg/l}$

Hierro $\leq 0.2\text{mg/l}$

Cadmio $\leq 0.005\text{mg/l}$

Plomo $\leq 0.05\text{mg/l}$

Otros metales pesados $\leq 0.1\text{mg/l}$

Cloruros $\leq 3\text{mg/l}$

Fosfatos $\leq 0.5\text{mg/l}$

Conductividad $\leq 50\mu\text{s/cm}$

pH 6.5 a 8

Aspecto incoloro, limpia y sin sedimentos

Dureza $\leq 0.1\text{mmol/l}$

El pasado 1 de marzo mediante la Resolución 00228 el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación-Colciencias le otorgó al Instituto Colombiano del Petróleo el reconocimiento como centro de investigación. Esta nueva disposición de Colciencias que a su vez está contemplada en la Ley 1286 de 2009 y la Resolución 504 de 2010, establece las condiciones para el reconocimiento de centro de investigación, centro de desarrollo tecnológico y grupos de investigación científica y tecnológica.

Con base en lo anterior, el 15 de noviembre de 2011, el ICP solicitó a Colciencias dicho reconocimiento. Para ello, debió acreditarse entre otras cosas aspectos como el objeto social de Ecopetrol constara que la investigación y desarrollo son parte de las actividades de la empresa, la gran trayectoria del Instituto en actividades I+D; la infraestructura y el recurso humano capacitado para desarrollar ejes estratégicos planteados en el programa de investigación. El reconocimiento tiene una vigencia de tres años a partir de la fecha de su otorgamiento, con esto, Ecopetrol puede participar en los mecanismos de fomento de Ciencia y Tecnología que ofrezca Colciencias.

De acuerdo con el ente rector de ciencia y tecnología en el país, "Los Centros reconocidos serán a partir de ahora los garantes de la calidad en la investigación y desarrollo tecnológico de las inversiones que realice el sector productivo". (ECOPETROL S.A., 2012)

Los laboratorios presentes en el Instituto Colombiano del Petróleo están certificados con la Norma ISO 17025 la cual está orientada a los laboratorios de ensayo y/o calibración, para garantizar la calidad y confiabilidad de sus procedimientos y resultados técnicos obtenidos mediante el respectivo análisis de datos. La implementación de la Norma ISO 17025 responde a las exigencias de organismos y entidades en pro de la credibilidad de los laboratorios contratados para los diferentes estudios e investigaciones.

En cuestiones ambientales el Instituto Colombiano del Petróleo tiene como finalidad habilitar oportunamente los proyectos y operaciones de la Empresa, para lo cual busca mejorar el proceso de obtención de autorizaciones ambientales e implementar acciones concretas para fortalecer el relacionamiento interinstitucional ambiental. Entre las principales actividades de esta línea están la implementación del proyecto de intervención anticipada, el mejoramiento en la definición y elaboración de diseños de los proyectos, el aseguramiento de la calidad de estudios que se presentan ante las autoridades ambientales y el seguimiento sistemático al avance de las autoridades ambientales liderados por la alta dirección de la Empresa. (ECOPETROL S.A., 2014).

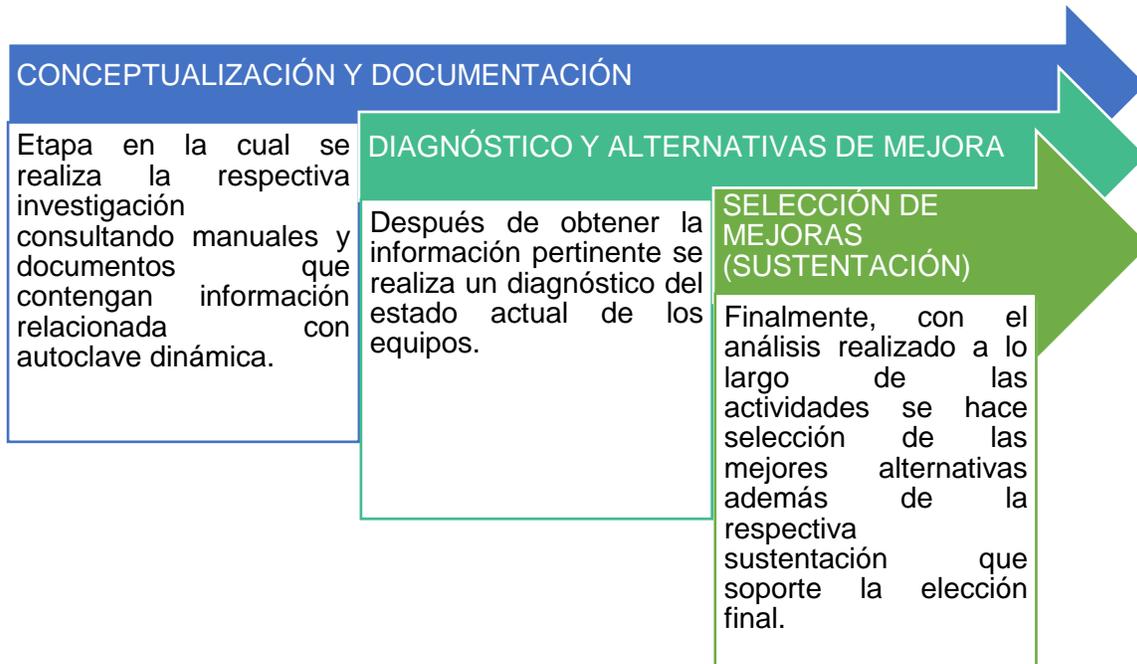
Ecopetrol S.A. tiene como objetivo principal preservar los recursos naturales durante sus actividades operativas, reconociendo el ecosistema colombiano como potencial riqueza natural para la población. La empresa tiene un marco estratégico donde prioriza la gestión ambiental durante sus operaciones para así reducir el impacto al medio ambiente y contribuir al desarrollo regional.



FUENTE: (Ecopetrol S.A, 2014)

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Tabla 1: Metodología



CONCEPTUALIZACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

En la etapa inicial se tuvo como objetivo principal recolectar la información existente en el área de trabajo y diferentes fuentes de información tales como páginas web, manuales, catálogos, etc. acerca de las autoclaves dinámicas. Todo esto con el fin de comprender claramente su funcionamiento.

DIAGNÓSTICO Y ALTERNATIVAS DE MEJORA

Se realizó un monitoreo en el laboratorio de Ingeniería de Materiales específicamente en el área de corrosión (donde se encuentran las autoclaves), esto con el fin de conocer el estado actual de los equipos. Se consultó al personal del laboratorio acerca del funcionamiento de las autoclaves a fin de encontrar puntos de mejora. Con esto se identificaron las opciones existentes que apliquen a la funcionalidad del equipo sin dejar a un lado la seguridad e integridad del personal y del equipo.

SELECCIÓN DE MEJORAS (SUSTENTACIÓN)

En la etapa final se realizó la selección de las mejores alternativas identificadas anteriormente. La selección se hizo teniendo en cuenta las especificaciones técnicas, funcionalidad, seguridad además de su impacto a la hora de realizar las pruebas de corrosión ya que se evita perder la confiabilidad de los resultados arrojados por la prueba.

4. RESULTADOS

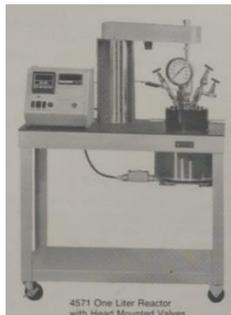
4.1. ETAPA 1: CONCEPTUALIZACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

Para desarrollar la actividad establecida se realizó el proceso de conceptualización y documentación de información de las autoclaves dinámicas con el fin de profundizar y entender de manera detallada el funcionamiento, además de los procedimientos a seguir a la hora de realizar las pruebas de corrosión con los pares electroquímicos presentes para producir la reacción química.

Primero se hizo la revisión técnica de los manuales presentes en el laboratorio de Ingeniería de Materiales específicamente el área de corrosión. Los manuales existentes corresponden a modelos Parr y Costest. Existen un total de cuatro equipos (Tres del fabricante Parr y uno Cortest), los equipos Parr son: 4572, 4581 y 4582. El equipo Cortest es de referencia AC12T.

En primer lugar, se consultaron manuales del fabricante Parr Instrument Company disponibles en el archivo del laboratorio de Ingeniería de Materiales además de otros disponibles en la página web del fabricante. (ver figura 1)

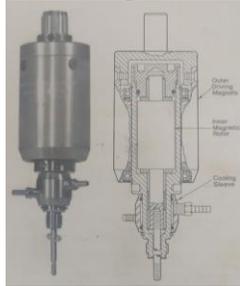
Figura 2: Modelo Autoclave Parr



Fuente: Parr Operating Instructions for series 4570/80

En los manuales se puede observar diferentes aspectos importantes como los diferentes modelos de autoclaves que maneja el fabricante además de sus características de operación. Los manuales también hablan acerca de los diferentes modelos de agitadores y sus respectivas capacidades, sus condiciones de trabajo, planos de sus partes y estructura, así como instrucciones de correcta instalación y operación. (ver figura 2).

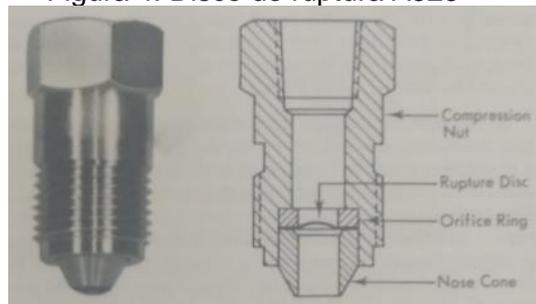
Figura 3: Agitador Magnético Parr A1120HC



Fuente: Operating Instructions for Parr Magnetic Drives

Se consultan manuales de Parr en los que se encontraban las diferentes medidas de seguridad como: válvulas de alivio de presión y los discos de ruptura. El documento contiene información sobre los tipos de válvulas de alivio y discos de ruptura haciendo énfasis en las características de trabajo de cada uno de ellos, su correcta instalación y mantenimiento con el fin de mantener la confiabilidad de su accionar en caso de falla producido por altas presiones. (ver figura 3).

Figura 4: Disco de ruptura A525



Fuente: Operating Instructions for Parr
Safety Rupture Discs

También se estudia el manual del controlador de temperatura usado en una autoclave Parr de la compañía Watlow. En este se encuentra el instructivo de su instalación, funciones, operación, etc., las diferentes opciones de monitoreo de variables que tiene el controlador, así como su correcta programación. (ver figura 4).

Figura 5: Controlador WATLOW



Fuente: Series 988 Watlow Controller

Por consiguiente, en el laboratorio hay una autoclave de diferente fabricante mencionado anteriormente, se consulta el manual existente con el fin de documentar el equipo debido a las variaciones que se encuentran en el modelo. En el manual se presentan diferentes aspectos de importancia a la hora del manejo del mismo. Se hace referencia las partes que forman el equipo, la manera de hacer el desempaque para posteriormente realizar el ensamble. El manual hace parte del fabricante CORTEST (ver figura 5), en la que se indican las precauciones de seguridad con el equipo, el sistema de embalaje, como se deben encontrar los componentes además de la manera como se debe desempacar el equipo.

Figura 6: Autoclave Cortest



Posteriormente se indica como se arma el vaso, lugar donde se insertan los cupones o muestras que serán efecto de estudio después de realizar la prueba. Se detalla en el manual las especificaciones del vaso, instalación y desarmado del mismo para futura limpieza, se indica el torque aplicado a la tornillería que realizará el sellado del equipo.

A continuación, el manual brinda información sobre las válvulas de control, sus características, su instalación y funcionamiento. Después se habla del transductor de presión que entrega la señal al tablero de control, se habla acerca del disco de ruptura que es un elemento de seguridad que se acciona en caso de sobrepresión. El manual contiene información importante acerca del control de la autoclave cortest, el cuál consta de una

touch screen (ver figura 6) en la que se pueden observar y operar parámetros tales como la temperatura de operación de la autoclave, la configuración del temporizador y el generador de alarma en caso de alcanzarse o presentarse alguna situación imprevista en el funcionamiento de la autoclave. Adicionalmente se obtiene el control de las RPM del agitador y el proceso a seguir para la calibración del transductor de presión a condiciones de presión atmosférica.

Figura 7: Controlador AC-12T Cortest



Fuente: Página web fabricante: www.cortest.com/products/autoclaves

Es importante recalcar la búsqueda de diferentes fuentes de información como libros, artículos, catálogos de fabricantes, etc., Todo con el fin de consultar información acerca de corrosión y electroquímica, con el propósito de tener los conceptos teórico-prácticos en el funcionamiento de autoclaves y entender las posibles mejoras funcionales y operacionales.

4.2. ETAPA 2: DIAGNÓSTICO Y ALTERNATIVAS DE MEJORA

4.2.1. Diagnóstico

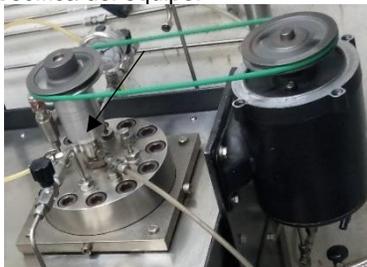
Durante la etapa se realiza el análisis del estado actual de los equipos presentes en el laboratorio. Se hace reconocimiento de sus partes, la función de cada una de ellas en el funcionamiento. Después se realiza el ensamble de los equipos, accesorios como: válvulas, manómetro, termocupla etc., instalados en las tapas de sellado del reactor. El sellado del reactor se realiza mediante pernos o en el caso de equipos Parr se utiliza el sistema de anillo partido. El torque aplicado a los pernos está indicado en los manuales y se distingue el orden ascendente hasta lograr llegar al ajuste nominal.

El sistema de monitoreo de los equipos Parr se encuentran junto a los respectivos reactores, representando un riesgo para el operario en caso de presentarse una falla. Al verificar el sellado se conectan las fuentes de gas con las que se presurizan los equipos dependiendo de las condiciones a emplear durante las pruebas.

Al realizar el proceso de identificación, armado y puesta en marcha de los equipos para realizar los estudios de corrosión se logra obtener una mayor visión para encontrar opciones de mejora.

4.2.1.1 Sellado autoclaves

Tabla 2: Descripción sellado

	AUTOCLAVES PARR	AUTOCLAVE CORTEST
<p>Se realiza el alistado de los sellos y herramienta necesaria para sellar los equipos. Posteriormente se presuriza con N₂(gas que bajo las condiciones ambiente no representa un alto peligro). Se procede a sellar los reactores y finalmente se hace el análisis de lo observado.</p>	<p>Al verificar se hace necesario usar teflón alrededor de los sellos metálicos a causa de porosidad en el material causado por el uso a lo largo de la operación. Las autoclaves no mostraron falencias en su sistema de sellado por lo que se dio el visto bueno para el montaje de pruebas correspondientes al análisis de corrosión.</p>	<p>La autoclave modelo Cortest fue sometida a mantenimiento debido a un juego en la parte superior del agitador, esto causado por la fatiga ocasionada por el sistema de transmisión de movimiento. La trasmisión de movimiento es efectuada por una polea acoplada directamente en el agitador lo cual aplicaba carga tangencial al eje y ejercía esfuerzos que deterioran esa parte específica del equipo.</p>  <p>Posteriormente se realiza el sellado de la autoclave y esta demuestra fallas en su sistema de sellado ya que al iniciar la inyección de presión con nitrógeno se hacía evidente fuga en la parte superior de la tapa exactamente de la unión de la tapa con el soporte del agitador que a su vez acopla el eje que llevara acoplado la hélice agitadora y la porta cupones.</p>

4.2.1.2 Direccionamiento válvulas de alivio de presión

“La válvula de seguridad de resorte es el dispositivo más empleado para el alivio de presión. También se la conoce con los nombres de válvula de alivio, válvula de alivio de seguridad, válvula de alivio de presión y válvula de seguridad de presión. Ciertas normativas como la API RP 520 y ANSI B-95.1-1977 presentan una terminología que establece algunas diferencias según sea la apertura, repentina, total, o proporcional al aumento de presión. Se puede definir como un dispositivo que automáticamente sin otra asistencia de energía que la del propio fluido implicado, descarga fluido para evitar que se exceda una presión predeterminada y que está diseñada para que vuelva a cerrar y se evite el flujo adicional de fluido después de haberse restablecido las condiciones normales de presión.” (Turmo Sierra, 1999)

Las autoclaves del laboratorio de integridad e ingeniería de materiales del ICP cuentan con válvulas de alivio calibradas a 3.500 psi (ver figura 7), esto dadas las condiciones operativas a las que son expuestos lo equipos.

Figura 8: Válvula de alivio



Las válvulas de presión presentan el inconveniente que en caso de accionar en operación debido a condiciones de alta presión su escape se hace directamente en el lugar de trabajo. Esto podría causar graves consecuencias al operador si llegase a encontrarse junto al equipo en caso de falla.

4.2.1.3 Discos de ruptura

Se realizó la consulta sobre los discos de ruptura como dispositivos de alivio de presión. Estos son la última barrera ante situaciones de sobrepresión que se puedan presentar en las autoclaves. Los sellos de ruptura tienen distintas configuraciones en su construcción.

Figura 9: Discos de ruptura



Fuente: <https://www.rembe.es/products/process-safety/customised-compact-rupture-discs/high-pressure-rupture-discs/>

Los discos de ruptura tienen distintas configuraciones geométricas ya que, dependiendo de distintos factores correspondientes a sus condiciones de operación, puede variar su forma. Por ello se indaga si existe una nueva tecnología desarrollada en discos de ruptura para el alivio de presión además de su compatibilidad con las autoclaves.

4.2.1.4 Monitoreo de variables

El monitoreo de variables en línea es de gran importancia en procesos industriales debido al control en tiempo real que ayuda a la toma de decisiones si llegase a ocurrir una eventualidad que ponga en peligro ya sea al personal, al equipo o medio ambiente. En el proceso de evaluación de corrosión en materiales presente en las autoclaves se debe tener en cuenta la importancia a nivel de seguridad de los equipos que están catalogados en el Instituto Colombiano del Petróleo como los más críticos en el laboratorio de integridad e ingeniería de materiales.

Las variables presentes en la operación del equipo son presión, temperatura y velocidad angular del motor. Además de esto si se busca implementar reacciones electroquímicas en las autoclaves dinámicas, por ello se hace necesario el control de corriente inducida en los electrodos presentes en la reacción con la solución y los cupones.

4.2.1.5 Electroquímica

La electroquímica estudia las reacciones químicas producidas por efectos eléctricos y fenómenos químicos producidos por efectos de corrientes o voltajes. La corrosión como tal es un proceso químico que presenta zona anódica (la que presenta corrosión), una zona catódica y un electrolito. Es indispensable la existencia de los tres elementos además de una buena unión eléctrica para que se presente este tipo de corrosión. Las autoclaves no presentan diseño el cuál implemente puertos electroquímicos para el estudio de este fenómeno por lo que es innovadora la posibilidad de añadir estos accesorios para el estudio de corrosión.

4.2.2. Alternativas de mejora

Durante esta etapa se proponen alternativas que solucionen las falencias encontradas anteriormente, las mismas deben asegurar y mantener la eficiencia del equipo.

4.2.2.1 Agitador autoclave Cortest y plan de mantenimiento en sellos

El material presente en la transmisión magnética del agitador es aleación T316 Stainless Steel. Este dispone de poca composición de Níquel y no otorga suficientes propiedades ante los efectos de la corrosión.

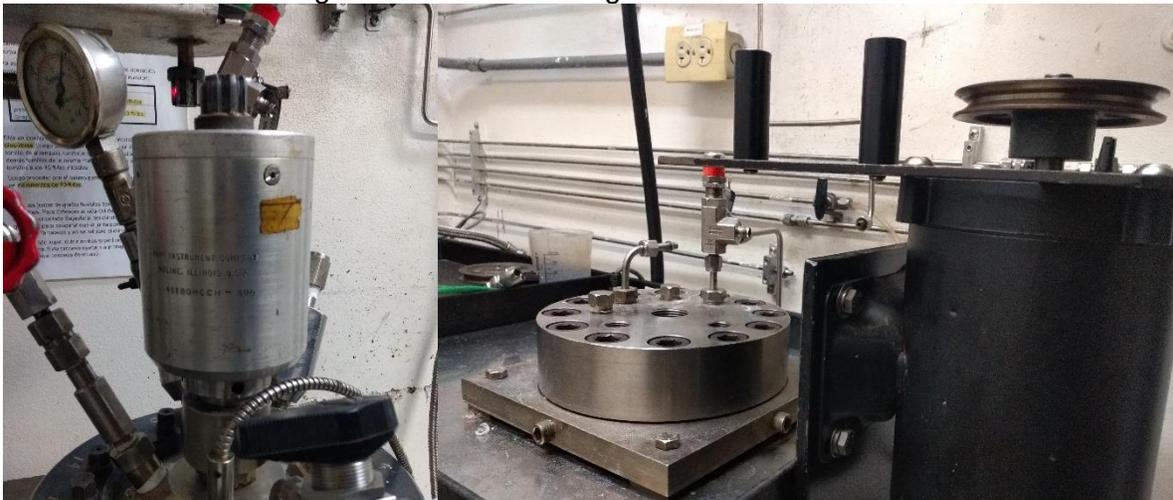
Tabla 3: Composición química nominal de materiales para recipientes a presión

MATERIAL	Major Elements — Percent					
	Fe	Ni	Cr	Mo	Mn	Other
T316 Stainless Steel	65	12	17	2.5	2.0	Si 1.0
Alloy 20Cb-3	35	34	20	2.5	2.0	Cu 3.5, Cb 1.0 max
Ally 400	1.2	66				Cu 31.5
Alloy 600	8	76	15.5			
Alloy B-2	2	66	1	28	1	Co 1.0
Alloy C-276	6.5	53	15.5	16	1	W 4.0, Co 2.5
Alloy C-2000	3.0	54	23	16	0.5	Co 2.0, Cu. 6
Nickel 200		99				
Titanium Grade 2						Commercially pure titanium
Titanium Grade 4						Commercially pure titanium
Zirconium Grade 702						Zr + Hf 99.2 min Hf 4.5 max
Zirconium Grade 705						Zr 95.5 min, Hf 4.5 max, Co 2.5

Fuente: Safety In The Operating Of Laboratory Reactors And Pressure Vessels

Además de lo anteriormente mencionado el agitador es de referencia A1120HC5 está diseñado para agitar volúmenes de 250 a 500 ml. Para lo mencionado se consultó el manual de Parr que contiene información de dicho dispositivo. En los documentos se relaciona que el agitador indicado para la capacidad de la autoclave Cortest (5 litros=1.32086 galones) es de referencia A1180HC el cual cuenta con capacidad suficiente para el volumen indicado. El problema surge en el tamaño del agitador y la limitación de la base de la autoclave dado que el motor este situado a una distancia específica. (ver figura 9).

Figura 10: Vista de configuración en autoclave



Por lo tanto, se plantean diferentes opciones para corregir el problema mencionado.

- Seleccionar y adaptar el Magnetic Drives A1180HC a la autoclave Cortest y modificar la ubicación del motor y demás accesorios para dar espacio suficiente al tamaño de esta parte del equipo.
- Seleccionar el mismo Magnetic Drives cambiando la aleación de fabricación permitiendo otorgar a la parte del equipo mayor resistencia a la corrosión.
- Adaptar el brazo de transmisión mecánica presente en las autoclaves Parr para disminuir el deterioro por fatiga ocasionado por las fuerzas tangenciales presentes a la hora del funcionamiento debido al acople directo de la polea.

En la operación de las autoclaves fue evidente el deterioro de algunos sellos que permiten en correcto sellado de los equipos y así evitar fugas durante la operación. Los mismos pueden ser metálicos, de teflón o incluso de grafito dependiendo de las condiciones en las cuales se va a operar el equipo.

Figura 11: Sello metálico 1317HCCH



En la figura 10, se observa el sello metálico usado en la autoclave Parr 4572, el cuál debido a su deterioro debe ser envuelto en teflón para que así cuando el equipo se proceda a sellar con su camisa con tornillos se seguridad con el torque indicado impida la fuga de la solución o el gas presurizado en su interior. En el laboratorio se debe contar con unidades en stock para realizar el cambio cuando el que viene siendo usado empiece a demostrar fallas a la hora de sellar el equipo. Para solucionar el deterioro de los sellos se propone:

- Consultar con el fabricante Parr y Cortest acerca del plan de mantenimiento o cambio sugerido para los sellos ya sean metálicos, PTFE o grafito flexible dependiendo de la operación.
- Realizar un plan de cambio de sellos en las autoclaves basado en el historial de operación dadas las cambiantes condiciones a las que son sometidos los sellos.

4.2.2.2 Direccionamiento de válvulas de alivio

Es importante brindar seguridad al personal del laboratorio por ello se debe considerar direccionar el escape de las válvulas de alivio presentes en los equipos.

Por lo tanto, se tienen las siguientes opciones de mejora:

- Adaptar un dispositivo de almacenamiento que albergue el fluido cuando la válvula de alivio se accione debido a alta presión de funcionamiento adaptable a la autoclave que se encuentre en operación.
- Realizar el diseño de una línea de tubing adicional adaptable a las instalaciones existentes del laboratorio que permita conectar las válvulas de alivio al sistema de venteo ya presente en el laboratorio. Cabe resaltar la importancia de una conexión suficiente en caso de que los 4 equipos estén funcionando.

4.2.2.3 Discos de ruptura

Se consulta las diferentes opciones aplicables dadas las capacidades de las autoclaves, el rango de operación al que han sido sometidas y determinar la posibilidad del reajuste en la selección de los discos de ruptura en conjunto con la calibración de las válvulas de alivio de presión.

- Determinar si es necesario un ajuste en la selección de los discos de ruptura debido a posibles innovaciones en la tecnología de desarrollo.

- Seleccionar un nuevo proveedor de discos de ruptura para las autoclaves el cual cumpla con los parámetros establecidos de seguridad y operación del equipo en el aspecto de costo-beneficio.

4.2.2.4 Monitoreo de variables

Para el monitoreo de variables en línea se busca retomar el trabajo realizado por un estudiante de ingeniería electromecánica en el primer corte del convenio. El estudiante planteó las opciones de realizar el monitoreo con aplicaciones electrónicas de recolección de datos tales como Arduino y una tarjeta de National Instruments.

- **National Instruments** es una compañía encargada del desarrollo de dispositivos orientados a la adquisición de datos, control de instrumentos y variables, instrumentación virtual y demás. Por tanto, dispone en el mercado de una gran variedad de dispositivos entre los que se encuentran tarjetas electrónicas con diferentes interfaces de comunicación y conexión útiles a la hora del monitoreo de variables y control de las mismas aplicable a las autoclaves. Un ejemplo claro de ello es el dispositivo de interfaz I2C/SPI que cumple con las características mencionadas además de que su programación por medio de LabVIEW ofrece una interfaz gráfica de programación y simulación útil para probar el sistema de monitoreo.

Figura 12: Tarjeta de adquisición de datos de NI referencia USB 8451.



Fuente: <http://www.ni.com/es-co/shop/select/i2c-spi-interface-device>

- **Arduino** es un desarrollador de hardware y software libre aplicable en la construcción de dispositivos electrónicos que pueden detectar y controlar objetos en tiempo real. Las placas de Arduino se componen de diferentes microprocesadores y microcontroladores que ofrecen múltiples aplicaciones debido a la adaptabilidad de los diferentes modelos y referencias existentes. La principal ventaja de Arduino es el costo, ya que es muy asequible debido al potencial que ofrece el dispositivo en comparación con otros elementos electrónicos de mayor costo económico.

Figura 13: Arduino UNO



Fuente: <https://www.robotistan.com/arduino-uno-r3-clone-with-usb-cable-usb-chip-ch340>

4.2.2.5 Electroquímica

La autoclave Cortest presenta diferentes puertos en la tapa y parte inferior del reactor que podrían ser usados para acoplar electrodos. Se debe tener disponibilidad de tres puertos ya que se introducen dentro del reactor ánodo, cátodo y electrodo de referencia. Se puede inducir un voltaje o corriente lo que hace que el flujo de energía se comporte de manera característica dependiendo de la electronegatividad de los materiales siendo el ánodo el más electronegativo mientras que el cátodo es aquel con menor electronegatividad, mientras tanto el de referencia sirve como patrón para medir el potencial eléctrico respecto al ánodo y cátodo. Por lo tanto, la oportunidad de mejora es implementar electrodos en las autoclaves para simular las condiciones de energía eléctrica y química para evaluar la corrosión.

4.3. SELECCIÓN DE MEJORAS (SUSTENTACIÓN)

A continuación, se realiza la selección de las mejores oportunidades de mejora para las autoclaves del laboratorio de integridad e ingeniería de materiales del ICP. Su selección de basa en análisis de condiciones de operación y funcionamiento.

4.3.1. Sellado autoclaves

- Cortest:** Se realizó el pedido del agitador correspondiente al equipo con las mismas características del que estaba instalado anteriormente. Se establece que posteriormente cuando el agitador cumpla con su vida útil se efectúe el cambio y se seleccione el modelo propuesto, este fue escogido bajo condiciones de operación propias del equipo. Las principales características que fueron tenidas en cuenta para su selección fue el material de construcción, así como la capacidad de agitación. Los agitadores magnéticos usados en autoclaves son del fabricante Parr quien tiene actualmente la patente de dichos elementos.

Tabla 4: Autoclaves Parr

HP/HT Reactors						
Model Number	Nominal Size	Maximum Pressure Rating T316 Stainless Steel	Maximum Working Capacity	Bomb Dimensions		Valve Mounting
				Inside Diameter Inches	Inside Depth Inches	
4571	1000 ml	5000 psig 500°C	750 ml	3.75	6.12	On Head
4572	1800 ml	5000 psig 500°C	1350 ml	3.75	10.50	On Head
4573	1000 ml	5000 psig 500°C	750 ml	3.75	6.12	On Remote Panel
4574	1800 ml	5000 psig 500°C	1350 ml	3.75	10.50	On Remote Panel
4575	500 ml	5000 psig 500°C	375 ml	2.50	6.63	On Head
4576	250 ml	5000 psig 500°C	187 ml	2.50	3.25	On Head
4581	1 gallon	3000 psig 500°C	3000 ml	5.50	9.75	On Head
4582	1.5 gal.	3000 psig 500°C	4500 ml	5.50	15.00	On Head

Fuente: Operating intructions for series 4570/80 high pressure/high temperature reactors

Basado en la tabla 4 donde se observa los modelos de autoclaves Parr y sus valores operacionales se concluye que el volumen a agitar por parte del modelo Cortest es el siguiente:

$$Volumen Efectivo = \frac{3}{4} * Volumen total reactor$$

Fuente: Manuales operación Parr y Cortest

$$Volumen efectivo = \frac{3}{4} * 5000 ml$$

$$Volumen efectivo = 3750 ml$$

Por lo tanto, el volumen máximo de trabajo para el reactor del equipo Cortest es de 3750 ml, este volumen se encuentra entre el rango de trabajo de los modelos 4581 y 4582. Para los modelos mencionados Parr sugiere un agitador magnético de referencia A1180HC cuya capacidad de agitación va desde los 3.000 ml hasta los 4.500 ml rango en el cual se encuentra el volumen efectivo del reactor Cortest.

Figura 14: Agitador Parr A1180HC

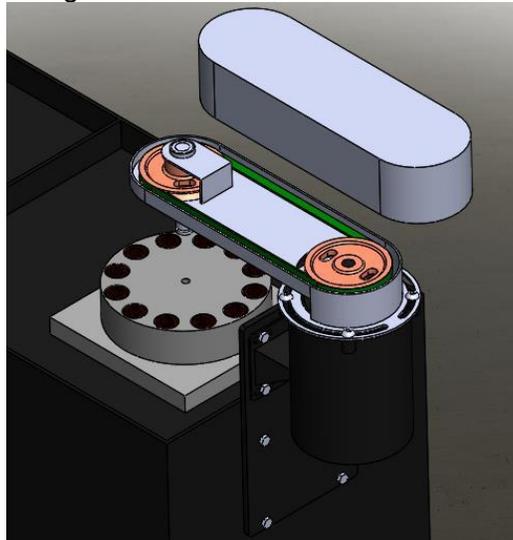


Fuente: https://www.parrinst.com/es/wp-content/uploads/2011/06/magdrive_family_2.jpg

El material de construcción del agitador también mejora notoriamente la resistencia a la corrosión ya que su composición mayormente de níquel ofrece estas propiedades, el material corresponde al Hastelloy C-276 que en comparación con el acero inoxidable T316 el cual ofrece buenas condiciones frente a la corrosión bajo condiciones normales de temperatura, pero cuando esta aumenta es fácilmente atacado por ácidos como el sulfúrico, fosfórico y nítrico. También es afectado por corrosión cuando se somete a sustancias como cloruros y cáusticos con presiones considerables mientras que la aleación Hastelloy C276 ofrece la resistencia a la corrosión más alta de todas las aleaciones de uso común. Tiene una alta resistencia a efectos de oxidantes fuertes como cloruros cúpricos y férricos, además de a una gran variedad de compuestos de cloro o materiales contaminados con cloro. El material ofrece gran resistencia a la corrosión incluso a condiciones de alta presión y temperatura, razones por las que es muy usado en aplicaciones de perforación de depósitos de petróleo agrio y en ampos petroleros.

Además de esto se diseñó un brazo que soporte la transmisión del movimiento del motor eléctrico al agitador. Este brazo se basa en el diseño de Parr que ofrece estabilidad al movimiento además de evitar el efecto de las fuerzas tangenciales que producen fatiga al material y deterioran su accionar. El diseño tuvo en cuenta las condiciones actuales de la autoclave, se tomaron las dimensiones del carro, así como de las placas que sostienen el motor eléctrico debido al cambio de altura previsto cuando se realice el reemplazo del agitador.

Figura 15: Ensamble brazo Cortest



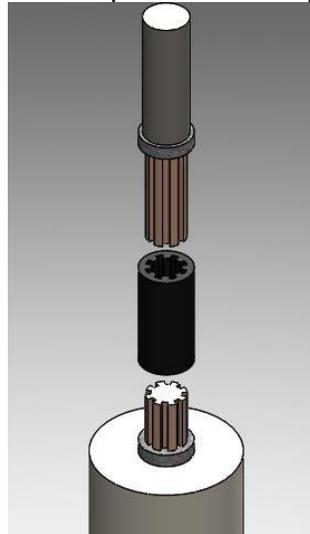
En la figura 14 se puede observar el resultado final del diseño del brazo para la transmisión de potencia del motor al agitador, se puede observar el cambio propuesto debido a que anteriormente el acople de la polea sobre la parte superior del agitador se hacía de manera directa como se observa en la figura 15. Además de esto el brazo dispone de dos rodamientos los cuales limitan el movimiento axial del eje de transmisión y conserva la línea longitudinal sobre la cual debe trabajar la polea y evitar fuerzas tangenciales que generen fatiga de bajo ciclaje sobre el agitador.

Figura 16: Acople Parr vs Cortest



El acople tiene como finalidad imitar al presente en los modelos Parr y evitar que la polea se instale directamente sobre el agitador por lo que se hace el modelado CAD en el cual se obtiene el resultado que se observa en la figura 16.

Figura 17: Vista explosionada acople agitador



A continuación, se adjuntan los planos bajo los cuales se logra dimensionar los elementos que componen el brazo, cabe resaltar la importancia asumir las medidas de los rodamientos ya que se asumen de medidas de 17*26*5mm debido a la baja carga a la que será sometido el eje.

Figura 18: Rodamiento de bolas 17*26*5 mm



Fuente: <https://sumatec.co/wp-content/uploads/2019/08/510503100.png>

Las medidas con las cuales fue modelado el brazo se adaptan de manera que puede acoplarse fácilmente al motor como lo hacía el sistema anterior, el cual solo cumplía con función de ocultar la transmisión de movimiento para evitar atascamiento o interrupción de agitación.

Figura 19: Sistema antiguo de transmisión



Figura 20: Vista lateral brazo

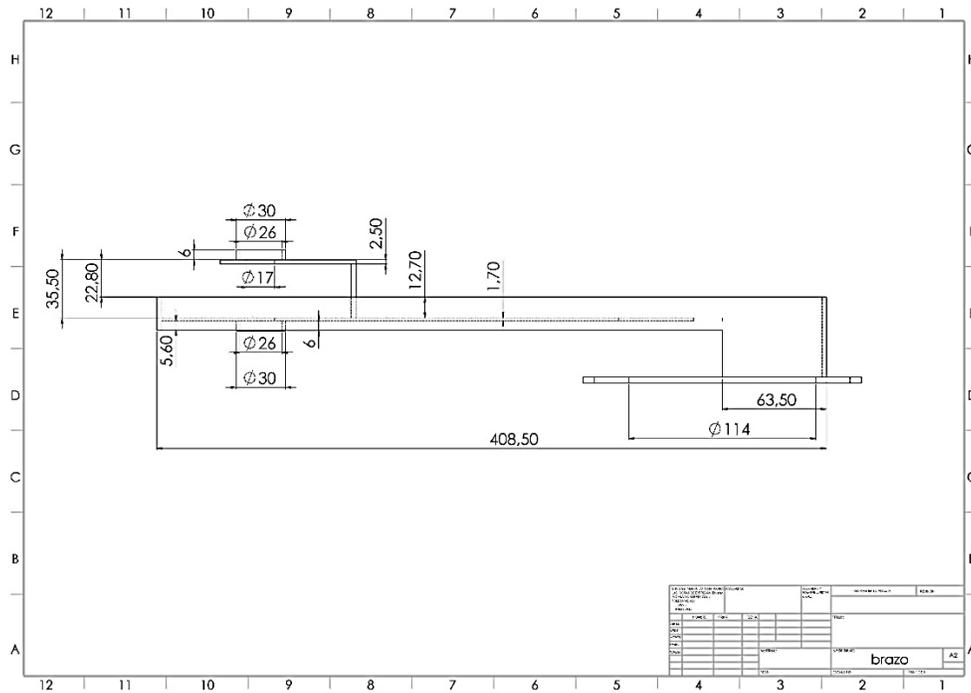
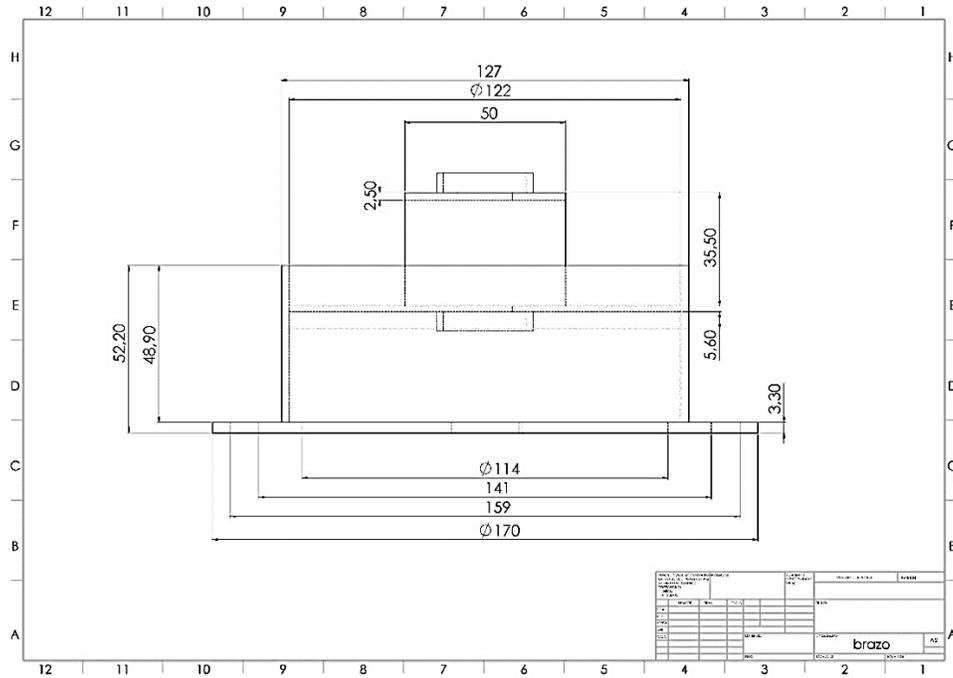


Figura 21: Vista frontal brazo

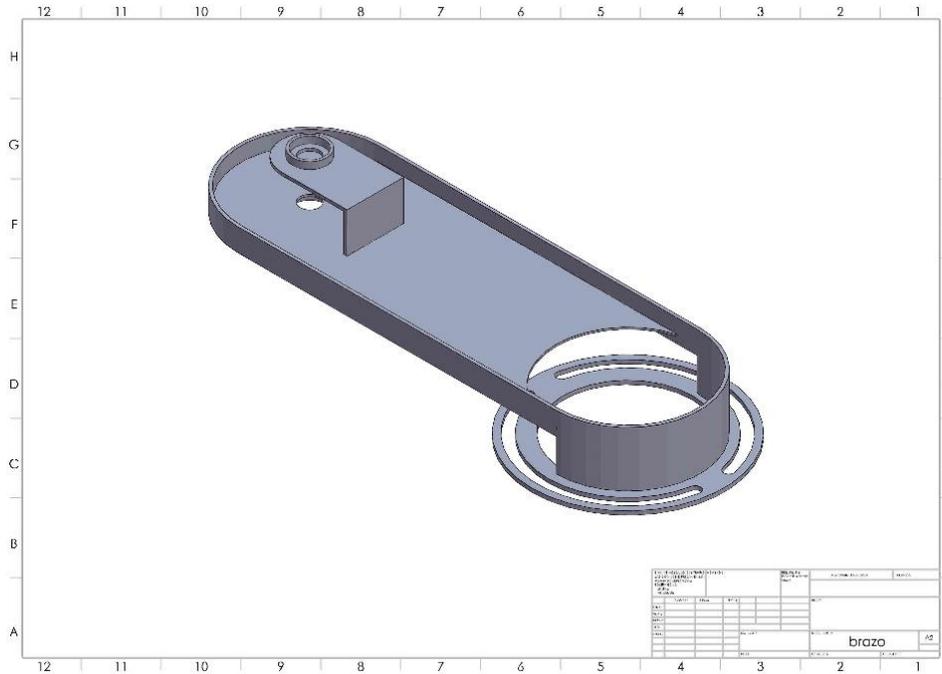


ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

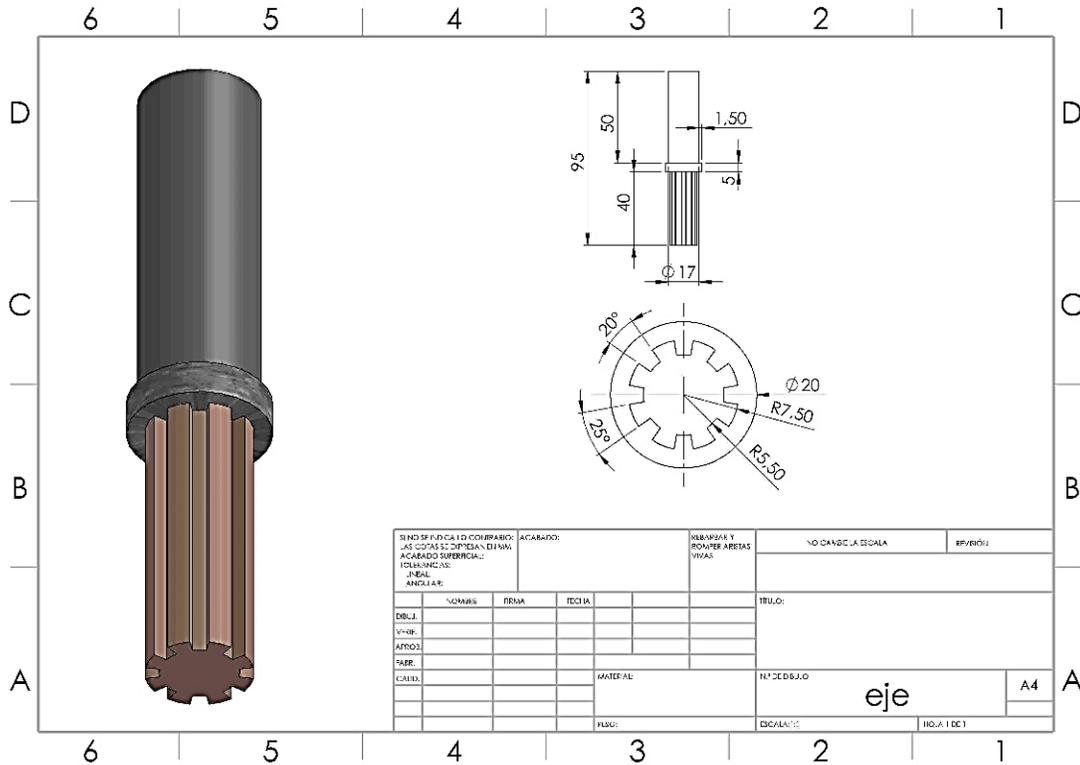
APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Figura 23: Vista isométrica brazo



La polea usada para acoplar el eje cumple con las mismas medidas de las poleas actuales, pero con el cambio de diámetro interno debido a las dimensiones de los rodamientos encontrados en el mercado.

Figura 26: Eje de transmisión sugerido



- **Sellos metálicos, PTFE y grafito:** Los equipos para evitar fuga de fluidos y retener de manera correcta la presión a la cual se efectúan las pruebas disponen sellos de los cuales varía el material de construcción según el modelo. Los sellos son considerados como consumibles por parte de los fabricantes por lo que se propone un plan de cambio basado en las condiciones de operación a los que serán sometidos bajo determinadas pruebas.

Tabla 5: Recomendación sellos autoclaves

PARR 4572	PARR 4581	PARR 4582	CORTEST
Sello metálico de referencia 1317HC	Sello flexible grafito de referencia 1812HCKL y sello de PTFE fluoro polímero	Sello flexible grafito de referencia 1812HCKL y sello de PTFE fluoro polímero	Sello metálico hastelloy C276
Uso universal para todo tipo de ensayos, su rango de operación	Se recomienda usar sello de PTFE para ensayos en los cuales la temperatura no	Se recomienda usar sello de PTFE para ensayos en los cuales la temperatura no	Uso universal para todo tipo de ensayos, su rango de operación

<p>alcanza los 500°C y 5000 psi.</p>	<p>exceda los 350°C, si el valor es mayor se deben usar sellos de grafito que alcanzan los 500°C. La presión de trabajo de ambos materiales alcanza los 3000 psi.</p>	<p>exceda los 350°C, si el valor es mayor se deben usar sellos de grafito que alcanzan los 500°C. La presión de trabajo de ambos materiales alcanza los 3000 psi.</p>	<p>alcanza los 350°C y los 25 MPa.</p>
<p>Se recomienda realizar el cambio del sello cada año o antes en caso de evidenciar pérdida de presión que no sea producida por la absorción de los materiales dispuestos en los ensayos. Se debe tener en cuenta los torques de apriete recomendados por el fabricante según la presión de trabajo. Es importante que este tipo de sellos sea lubricado con la misma solución de trabajo, así como la hendidura en el reactor para así asegurar su buen posicionamiento al momento de sellar el equipo. Se debe tener en stock al menos 2 sellos de repuesto para su cambio al cumplir el ciclo de trabajo o mostrar falencias en el cumplimiento de su función.</p>	<p>Se recomienda realizar el cambio de sellos de PTFE cada 6 meses o antes en caso de observar fuga no producida por absorción de materiales dispuestos en los ensayos, en el caso de los sellos de grafito usados a altas temperaturas se recomienda reemplazar el sello una vez finalizado el ensayo debido al deterioro causado por la temperatura además de ser común que se adhiera a la tapa o al mismo reactor y se destruya al momento de abrir el reactor. Se debe tener en stock dos sellos de PTFE y al menos 10 sellos de grafito ya que estos últimos son de mayor deterioro gracias a su capacidad térmica.</p>	<p>Se recomienda realizar el cambio de sellos de PTFE cada 6 meses o antes en caso de observar fuga no producida por absorción de materiales dispuestos en los ensayos, en el caso de los sellos de grafito usados a altas temperaturas se recomienda reemplazar el sello una vez finalizado el ensayo debido al deterioro causado por la temperatura además de ser común que se adhiera a la tapa o al mismo reactor y se destruya al momento de abrir el reactor. Se debe tener en stock dos sellos de PTFE y al menos 10 sellos de grafito ya que estos últimos son de mayor deterioro gracias a su capacidad térmica.</p>	<p>Se recomienda realizar el cambio del sello cada año o antes en caso de evidenciar pérdida de presión que no sea producida por la absorción de los materiales dispuestos en los ensayos. Se debe tener en cuenta los torques de apriete recomendados por el fabricante según la presión de trabajo. Es importante que este tipo de sellos sea lubricado con la misma solución de trabajo, así como la hendidura en el reactor para así asegurar su buen posicionamiento al momento de sellar el equipo. Se debe tener en stock al menos 2 sellos de repuesto para su cambio al cumplir el ciclo de trabajo o mostrar falencias en el cumplimiento de su función.</p>

4.3.2. Conexión válvulas de alivio

Se identificó el problema de seguridad presente en el laboratorio debido a la puesta en marcha de los equipos y no conectar las válvulas de alivio a un sistema de venteo o de evacuación de fluidos en caso de que la presión del reactor se incremente por fenómenos no previstos o anormales al ensayo que se realiza. Es por ello que se realiza el diseño de una línea de tubing la cual tiene como objetivo asegurar la conexión del escape de las válvulas de alivio en caso de su accionar por sobrepresión.

Para el sistema de venteo para las válvulas de alivio se usa tubing que requiere de poco espacio y la facilidad de su instalación, a continuación de describe los materiales dispuestos para la instalación.

Tabla 6: Materiales sistema venteo válvulas de alivio

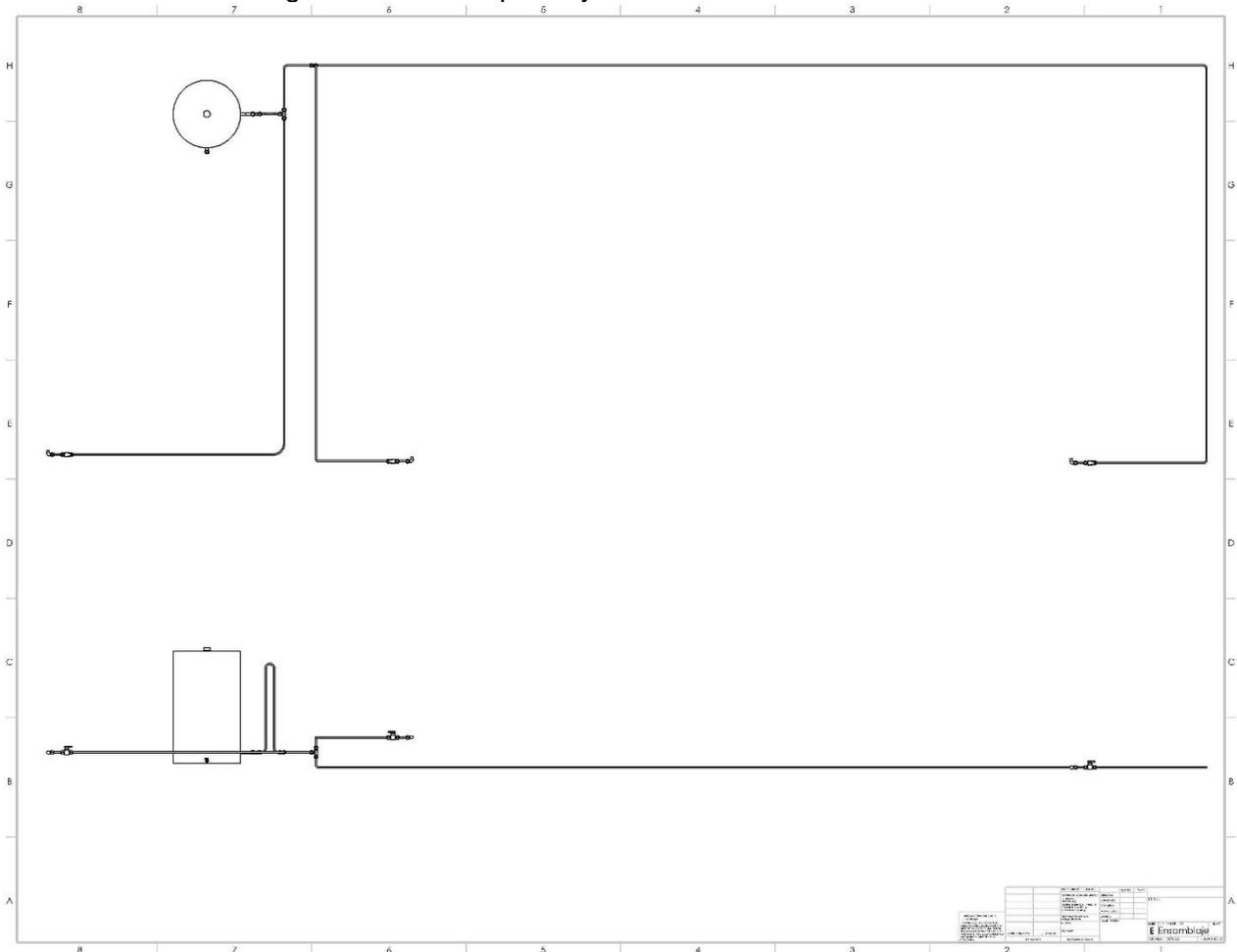
MATERIAL	CANTIDAD	IMAGEN
Tubing acero inox. 316/316L, 1/4 pulg. OD x 0.035 pulg. de pared x 20 ft	3 tramos de 20 ft	
Manguera metálica corrugada (FM) de acero inox. 316L, 1/4 pulg., malla de acero inox. 316L, 1/4 pulg. NPT macho, 91,4 cm (36 pulg.) de longitud	3 unidades	
Unión te acero inox., 1/4 pulg. OD Tubo	2 unidades	
Válvula de macho cilíndrico de un cuarto de vuelta para instrumentación, 1/4 pulg Cv 1.6	3 unidades	

<p>Codo macho de Acero inox., 1/4 pulg. OD Tubo x 1/4 pulg. NPT macho</p>	<p>3 unidades</p>	
<p>Unión recta de Acero inox., 1/4 pulg. OD Tubo</p>	<p>4 unidades</p>	
<p>Dobladora de tubo manual para tubo de 1/4 pulg. OD, 3/4 pulg. de Radio de curvatura</p>	<p>1 unidad</p>	
<p>Conjunto soporte de plástico para tubo, 1/4 pulg. tamaño de tubo, cuerpo de polipropileno, Grupo 1</p>	<p>14 unidades</p>	
<p>Cortatubos para tubo de Acero inox., Cobre blando y Aluminio de 3/16 a 1 pulg. OD</p>	<p>1 unidad</p>	

Cabe resaltar que el material predominante en los materiales es acero inoxidable T316 ya que sus propiedades ante la corrosión son aceptables debido a las condiciones al que será expuesta la instalación. Las mangueras flexibles son el componente crítico debido a que su presión máxima de trabajo alcanza los 3100 psi, por lo tanto, se sugiere cambiar la presión de accionamiento en las válvulas de alivio a 3000 psi para que así se proteja la integridad de la instalación.

A continuación, se observa las vistas de la instalación aproximada a la realidad gracias al modelado 3D realizado en software CAD.

Figura 27: Vista superior y frontal de la instalación



En los planos se puede observar un recipiente cilíndrico que tiene como objetivo disponer de una solución que interactúe con el fluido liberado por las válvulas de alivio y disminuya los efectos como olor, afectaciones por inhalación, etc. Esto se sugiere ya que se tiene en cuenta que evacuar los fluidos del reactor al accionarse las válvulas de alivio al ambiente puede producir riesgos al ambiente, personal o infraestructura. El serpentín que se visualiza en las vistas frontal e isométrica funciona para evitar la descarga de la solución al sistema de tubing y hace que la misma interactúe directamente el fluido de descarga de las válvulas.

Figura 28: Vista lateral de la instalación

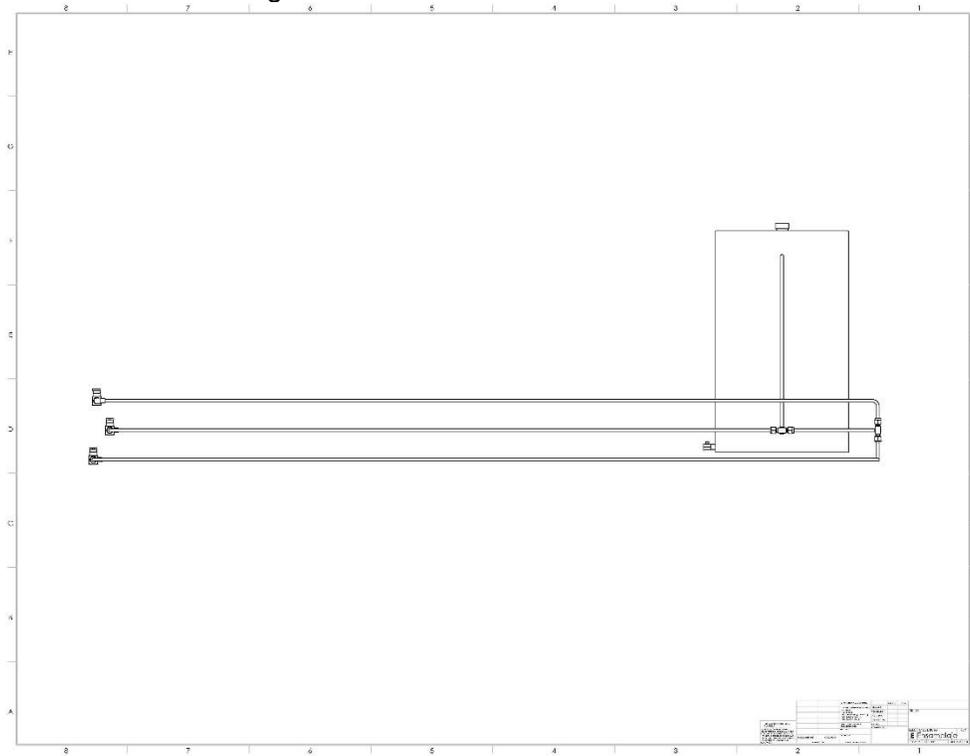
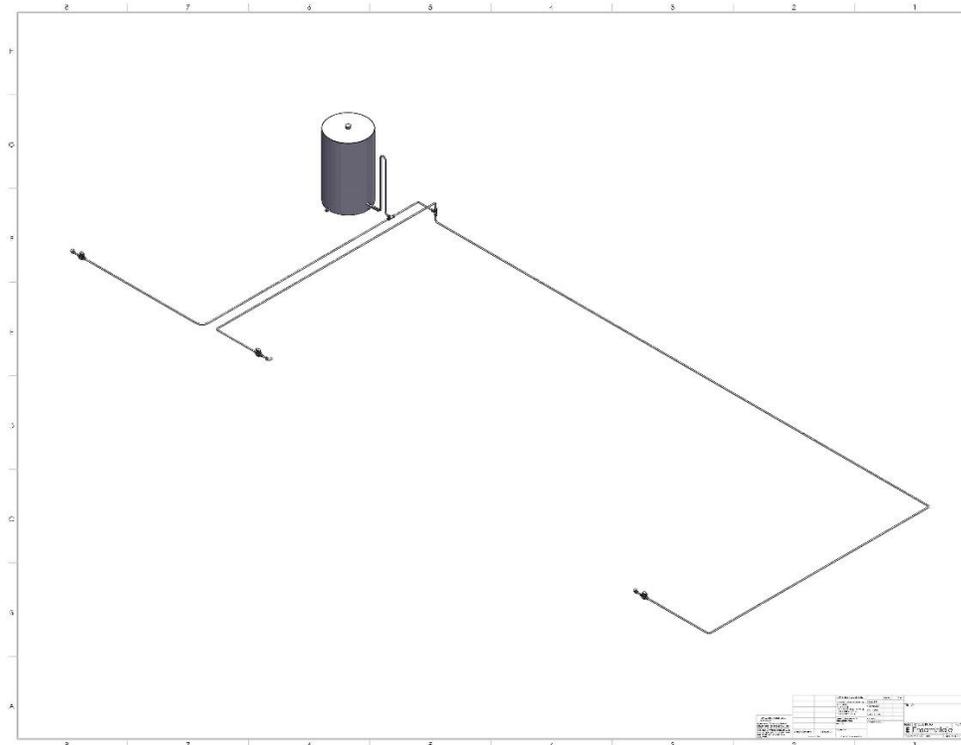


Figura 29: Vista isométrica de la instalación



4.3.3. Discos de Ruptura

A continuación, se detallan las diferentes cotizaciones obtenidas de dos diferentes proveedores de discos de ruptura los cuales dadas las condiciones de operación ofrecen su producto. Se cotizaron tres tipos de discos correspondientes a los cuatro equipos presentes en el laboratorio. Por tanto, la elección corresponde a Flexilatina que ofrece la construcción en Hastelloy C276, material de construcción de los reactores además de la trayectoria del fabricante Fike del cual ya se han usado sus discos en los equipos.

Figura 30: Cotización OPower parte1



Bogotá D.C. Noviembre 14, 2019

Atención

Albeiro Esteban
Unidad Tecnológica de Santander
albeiro.esteban96@gmail.com

Referencia: Cotización Discos de Ruptura.

Apreciado Albeiro,

A continuación presentamos la [Revisión #0](#) de la cotización [OP-19-345-CDC](#) de los discos de ruptura CONTINENTAL DISC solicitados.

TAG

Equipment:
Manufacturer:
It Includes:
Rupture Disc Information:
Size:
Model:
For:
Disc:
RATED:
SPEC. MFG. RNG.:
Temperature Test per:
Maximum Recommended Operating Pressure:

Disc Holder Information:

Size:
Model:
Max.:
Outlet:
Ring:
Inlet:
Comply with:
Delivery:
PRECIO NETO:
Cantidad:

RD-01

Rupture Disc Assembly
Continental Disc
Main Rupture Disc (1) + Disc Holder (1) + Spare Disc (1)

1/2" (13mm)
STD (FS)
(FS) Screw Type Holder
Alloy 600
5000 psig @ 500 Deg C
4925 To 5150 psig @ 500 Deg C
ASME Section VIII Div 1
3448 psig @ 500 Deg C

1/2" (13mm)
Screw Type (FS)
10000 Psig
316 SS 1/4 MPT
316 SS
316 SS 1/4 MPT
ASME Section VIII Division 1

10 weeks
\$1,450.00 USD/ EA
1

Cra.13 A No. 28-38 Of. 256
Parque Central Bavaria
Bogotá, D.C. Colombia
Móvil: (57) 311 532 2157
sales@oppog.com
www.oppog.com

Figura 31: Cotización OPower parte 2

R-DC-95

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y
PRÁCTICA

VERSIÓN: 01



Cra.13 A No. 28-38 Of. 256
Parque Central Bavaria
Bogotá, D.C. Colombia
Móvil: (57) 311 522 2157
sales@oppog.com
www.oppog.com

TAG

Equipment:
Manufacturer:
It includes:
Rupture Disc Information:
Size:
Model:
For:
Disc:
RATED:
SPEC. MFG. RNG.:
Temperature Test per:
Maximum Recommended Operating Pressure:
Disc Holder Information:
Size:
Model:
Max.:
Outlet:
Ring:
Inlet:
Comply with:
Delivery:
PRECIO NETO:
Cantidad:

RD-02

Rupture Disc Assembly
Continental Disc
Main Rupture Disc(1)+ Disc Holder (1) + Spare Disc (1)
1/2" (13mm)
STD (FS)
(FS) Screw Type Holder
Alloy 600
3000 psig @ 500 Deg C
2955 To 3090 psig @ 500 Deg C
ASME Section VIII Div 1
2069 psig @ 500 Deg C

1/2" (13mm)
Screw Type (FS)
10000 Psig
316 SS 1/2 MPT
316 SS
316 SS 1/2 MPT
ASME Section VIII Division 1
10 weeks
\$1,450.00 USD/ EA
1

TAG

Equipment:
Manufacturer:
It includes:
Rupture Disc Information:
Size:
Model:
For:
Disc:
RATED:
SPEC. MFG. RNG.:
Temperature Test per:
Maximum Recommended Operating Pressure:
Disc Holder Information:
Size:
Model:
Max.:
Outlet:
Ring:
Inlet:
Comply with:
Delivery:
PRECIO NETO:
Cantidad:

RD-03

Rupture Disc Assembly
Continental Disc
Main Rupture Disc(1)+ Disc Holder (1) + Spare Disc (1)
1/2" (13mm)
STD (FS)
(FS) Screw Type Holder
Alloy 600
5000 psig @ 350 Deg C
4925 To 5150 psig @ 350 Deg C
ASME Section VIII Div 1
3448 psig @ 350 Deg C

1/2" (13mm)
Screw Type (FS)
10000 Psig
316 SS 1/4 MPT
316 SS
316 SS 1/4 MPT
ASME Section VIII Division 1
10 weeks
\$1,450.00 USD/ EA
1

TOTAL COTIZADO:

\$4,350.00 USD

Figura 32: Cotización Flexilatina parte 1

R-DC-95

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y
PRÁCTICA

VERSIÓN: 01



FLEXILATINA DE COLOMBIA LTDA
INGENIERIA Y REPRESENTACIONES
MIT. 800009127-1

REF SOLICITUD DE COTIZACIÓN

Bogotá D.C - 22/11/2019 08:45 AM

CT-31197

Moneda: COP

DATOS DE CLIENTE			
Nombre de Contacto:	Ingeniero ALBEIRO ESTEBAN	Cargo:	Ingeniero Pasante
Nombre de Empresa:	UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER	Ciudad:	BUÇARAMANGA

Atendiendo su amable solicitud, nos permitimos cotizar:

ITEM	CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1.	3	P RUPTURE DISC Size: .50" (DN15) Flange Rating: 10000# Screw type (FS) Connection Type: Screw type Flat seat Requested BP or Max: 3000 PSIG Requested Temperature: 500 C Manufacturing Range: Zero Seal Material: Hastelloy C-276 Certification 1: Burst/ Mat/ Origin Certs Language - Tag and Instructions: Spanish Tag: 300 Series SST	\$ 630.000,00	\$ 1.890.000,00
2.	3	P RUPTURE DISC Size: .50" (DN15) Flange Rating: 10000# Screw type (FS) Connection Type: Screw type Flat seat Requested BP or Max: 5000 PSIG Requested Temperature: 500 C Manufacturing Range: Zero Seal Material: Hastelloy C-276 Certification 1: Burst Certification Language - Tag and Instructions: Spanish Tag: Aluminum	\$ 630.000,00	\$ 1.890.000,00
3.	3	P RUPTURE DISC Size: .50" (DN15) Flange Rating: 10000# Screw type (FS) Connection Type: Screw type Flat seat Requested BP or Max: 5000 PSIG Requested Temperature: 350 C Manufacturing Range: Zero Seal Material: Hastelloy C-276 Certification 1: Burst Certification Language - Tag and Instructions: Spanish Tag: 300 Series SST	\$ 630.000,00	\$ 1.890.000,00
4.	1	ST HOLDER Assembly Model: 1/2 NPT X Free Outlet 10000# (FS) Size: 0.5" (DN15) Base/Inlet Material: Hastelloy C276 Ring Material: Hastelloy C276 Holddown/Outlet Material: 316 SST Cleaning: Standard Cleaning Process Packaging: Standard Packaging Tag Option: Permanent Tag	\$ 2.990.000,00	\$ 2.990.000,00

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

R-DC-95

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y
PRÁCTICA**

VERSIÓN: 01

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR : Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Figura 33: Cotización Flexilatina parte 2

5.	1	ST HOLDER Assembly Model: 1/4 NPT X Free Outlet 10000# (FS) Size: 0.5" (DN15) Base/Inlet Material: Hastelloy C276 Ring Material: Hastelloy C276 Holddown/Outlet Material: 316 SST Cleaning: Standard Cleaning Process Packaging: Standard Packaging Tag Option: Permanent Tag	\$ 2.990.000,00	\$ 2.990.000,00
6.	1	ST HOLDER Assembly Model: 1/4 NPT X Free Outlet 10000# (FS) Size: 0.5" (DN15) Base/Inlet Material: Hastelloy C276 Ring Material: Hastelloy C276 Holddown/Outlet Material: 316 SST Cleaning: Standard Cleaning Process Packaging: Standard Packaging Tag Option: Permanent Tag	\$ 2.990.000,00	\$ 2.990.000,00
			SUBTOTAL	\$ 14.640.000,00
			IVA (19%)	\$ 2.781.600,00
			TOTAL	\$ 17.421.600,00

NOTAS	
<p>1. Los precios han sido calculados para la cantidad especificada por el cliente. Si el número de discos es diferente, se debe recalcular la oferta (aplica para DISCOS DE RUPTURA).</p> <p>2. Garantía de un año por defectos de fabricación y/o materiales.</p> <p>3. Por ser material de importación bajo pedido, no se aceptan devoluciones ni cambios.</p>	

CONDICIONES COMERCIALES

Marca de las piezas: FIKE- USA
Plazo de entrega: 6 Semanas ARO.
Forma de pago: Anticipado con la orden de compra.
Validez de la oferta: 30 Días
Lugar de entrega: Bucaramanga- Colombia.

Cordialmente,

ING. Manuel Higuera
manuelhiguera@flexilatina.com
Departamento Técnico Comercial

FLEXILATINA La nueva opción para la calibración de Manómetros con Acreditación No. 09-LAB-031 por ONAC

Bogotá D.C. - Colombia Av. Carrera 40 # 20A-53 PBX: 2690950 FAX: 3440107
www.flexilatina.com



4.3.4. Sistema monitoreo de variables en línea

Las pruebas gravimétricas como las realizadas en el laboratorio de integridad e ingeniería de materiales del Instituto Colombiano del Petróleo pueden producir afectaciones a personal, instalaciones y medio ambiente si no se tiene el control total del ensayo, por ello, es importante el monitoreo de variables en línea. Se escoge un modelo de National Instruments es una compañía líder en el mercado de la automatización industrial desarrollando equipos que se adaptan a las diferentes situaciones encontradas tanto en industria como en laboratorios. El principal criterio escoger este tipo de sistema es el control que se puede realizar desde este dispositivo en un futuro. Para los equipos presentes en el laboratorio las principales variables a tener en cuenta son la presión, temperatura y velocidad de agitación. Las lecturas de presión y temperatura se realizan mediante manómetros y termopares respectivamente. La velocidad de agitación se toma con sensores infrarrojos que emiten pulsos que envían la señal e indica los rpm en una pantalla dispuesta para ello. La velocidad se varía gracias a una perilla que regula un potenciómetro. La presión solo se indica ya que la instalación que induce la presión en el reactor es independiente al equipo. La temperatura del reactor se eleva por medio de resistencias eléctricas ubicadas en las chaquetas que rodean la ubicación del reactor en los bancos de trabajo. Para elaborar un monitoreo de variables se sugiere un módulo basado en PC que consiste en un sistema que proporciona las mediciones de variables físicas y eléctricas a un ordenador al cuál se conectan los diferentes equipos usados para la adquisición de datos y señales de respuesta. (Ver figura 33)

Figura 34: Adquisición de datos



Fuente: <https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>

Un sistema integrado de adquisición de datos y control recibe señales de los sensores instalados en los equipos que permiten obtener datos en tiempo real acerca del comportamiento de los componentes y variables físicas que ellos implican. El acondicionamiento de señales medidas se hace mediante un dispositivo que interpreta una variable física y entrega una señal eléctrica como respuesta.

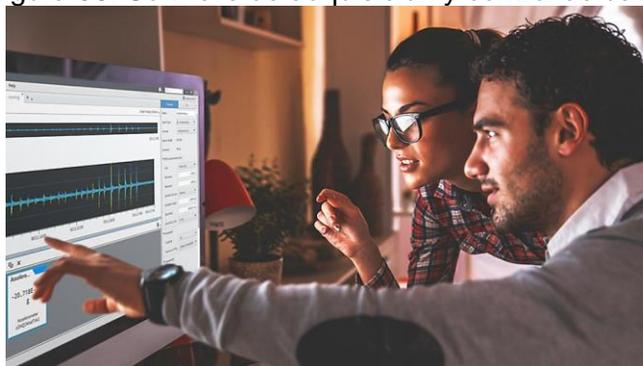
Figura 35: Transductor



Fuente: <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/images/transductores-esbozo.gif>

Las señales eléctricas son entregadas por transductores que interpretan las magnitudes físicas y las convierten en señales eléctricas que entregan a un convertidor de señal. La señal eléctrica entregada por el transductor es normalizada por lo que tiene ciertos rangos de entrega en milivoltios o miliamperios. La señal se entrega a un dispositivo que sirve como plataforma de entradas y salidas tanto análogas como digitales. Las medidas son interpretadas por el software desde un PC (ver figura 35), previamente programado ya que necesitamos indicar los rangos de operación de la variable que estamos observando durante el funcionamiento.

Figura 36: Software de adquisición y control de datos



Fuente: <http://www.ni.com/es-co/shop/pc-based-measurement-and-control-system.html>

Este sistema permite ajustar las diferentes variables de entrada y salida dependiendo de la lectura durante el funcionamiento permitiendo cortar alimentación, suspender funcionamiento, producir un aviso o alerta, etc.

Las condiciones del ensayo deben ser ingresadas al software mediante programación con lo cual se busca el sistema que mejor se adapte a los equipos y determinar los límites de las variables monitoreadas y la acción a seguir en caso de valores anormales.

La recolección de datos es importante para observar el comportamiento del equipo a lo largo de las pruebas realizadas y en caso de una anomalía ver el comportamiento de las variables en función del tiempo.

Los equipos donde se conectan las señales de entrada y salida ofrecidos para el sistema basado en Pc por parte de NI ofrecen diferentes alternativas desde el número de entradas y salidas ya sean análogas o digitales, la velocidad de muestreo, la versatilidad de realizar un muestreo simultaneo de diferentes variables o equipos, etc.

Figura 37: Dispositivo E/S multifunción modelo PCI-6143



Fuente: <http://www.ni.com/es-co/shop/select/multifunction-io-device>

El monitoreo de variables se puede almacenar en bases de datos gracias a la facilidad ofrecida por el software de National Instruments como LabVIEW y DAQExpress además de observar el comportamiento en gráficas en tiempo real. La programación debe por ende tener set points para evitar fallas en el equipo. El set point se programa ingresando valores de operación los cuales tienen un margen ya que se debe tener en cuenta los factores que puedan afectar aquellas magnitudes, en caso de la presión, la absorción por parte de muestras como los egos disminuye la presión en un valor mínimo. Los sets points tiene como objetivo cortar alimentación ya sea de la chaqueta de calentamiento, el motor eléctrico, etc.

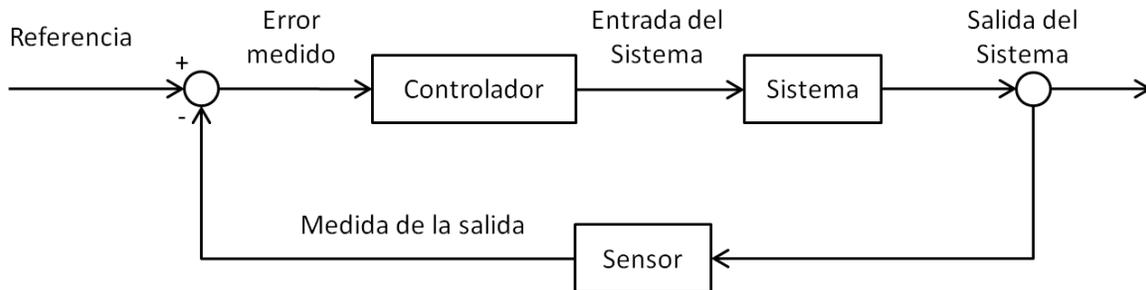
Figura 38: Software National Instruments



Fuente: <http://www.ni.com/es-co/shop/select/labview?skuld=76509>

El sistema propuesto tiene como objetivo ser utilizado aparte del monitoreo en un posible control del equipo. Esto se realiza mediante la adecuación de los equipos, para ello, se debe tener en cuenta un sistema de lazo cerrado ya que se tiene en cuenta la señal de salida para realizar la acción de control. En este tipo de sistema se tiene una retroalimentación comparando la señal de salida y entrada y así tomar la acción de control más oportuna. Este tipo de sistema para el control tiene características tales como ser complejos y con soporte para amplia cantidad de variables, comparar la señal de entrada y salida para realizar la acción además es muy estable a perturbaciones y/o variaciones internas.

Figura 39: Lazo de control cerrado



Fuente: Lazo de control realimentado Wikipedia.

4.3.5. Puertos electroquímicos autoclave Cortest

Los equipos dinámicos presente en el laboratorio no disponen de accesorios para realizar pruebas electroquímicas. Los equipos Parr se descartan de manera inicial por la imposibilidad de adaptar electrodos en su tapa ya que se deben disponer de 3 puertos. Por otra parte, el equipo Cortest cuenta con amplia variedad de puertos que se puede usar para la implementación de prueba electroquímica, la mayor referencia para ello son las autoclaves estáticas que cuentan con puertos para la realización de estos ensayos.

Figura 40: Puertos presentes esquipo Cortest



Observando la adaptabilidad del equipo Cortest se sugiere emplear en este equipo las pruebas electroquímicas. Para ello se debe tener en cuenta los porta electrodos que deben estar sujetos a la tapa y a su vez permitir el correcto sellado y evitar fugas de presión. Es importante recalcar que deben estar aislados del cuerpo de la tapa, ya que está fabricado de material conductor. Basado en el diseño de la porta electrodos de los equipos estáticos se decide de usar el mismo tipo de acople, que cuenta con una chaqueta interna de PTFE el cual aísla térmica y eléctricamente la porta electrodo.

Figura 41: Porta electrodo autoclave estática



La porta electrodos deben estar fabricados en acero inoxidable T316 que finalmente realizará el apriete de la pieza a la tapa del reactor y evitará el desgaste del PTFE que ocasione caídas de presión durante el ensayo. Se deben disponer de tres portas electrodos y electrodos. Son electrodos de referencia, auxiliar y de trabajo el cual presentará la corrosión. El material de fabricación de los electrodos de referencia y auxiliar debe ser inoxidable ya que no debe aportar electrones a la reacción.

Para llevar a cabo la instalación de la prueba electroquímica de hace necesario conectar la entrada y salida de gas al reactor junto con la válvula de alivio en la parte inferior del mismo.

Figura 42: Vista parte inferior reactor



En la figura 41, se observa dos conexiones correspondientes al termopar encargado de la señal de temperatura y un tubing que sirve como válvula de purga para extraer la solución presente en el reactor. Se debe resaltar que el tubing que se introduce en el puerto que tiene como finalidad la entrada del gas, con el que se dispone a presurizar, debe tener una longitud no mayor a 3 cm dentro del reactor ya que normalmente en los ensayos, se produce burbujeo con hidrógeno en caso de ser necesario extraer el oxígeno presente en el reactor, o CO₂ en caso de enriquecer el fluido de la solución. El tubing que ingrese para extraer el gas después del ensayo debe tener una distancia de 2 a 4 cm de la tapa del reactor para asegurar que se extrae el gas y no fluido de la solución a la hora de despresurizar.

En el laboratorio actualmente se cuenta con dos equipos para realizar pruebas electroquímicas de los cuales se dispone para realizar la conexión y análisis del comportamiento de los electrodos en conjunto a la solución dispuesta en el ensayo. Uno de ellos es el Field Machine de ACM Instruments es un equipo fabricado para uso en campo ya que posee una construcción robusta y resistente al agua sin dejar a un lado la precisión de sus medidas ya que cuenta con el potencioestado, ZRA, el analizador de respuesta de frecuencia integral y el generador de barrido de la calidad de equipos previstos en un laboratorio. Por otra parte, tenemos el PARSTAT MC Multichannel Potentiostat el cual es uno de los equipos más robustos del mercado ya que cuenta con un entorno de trabajo de 10 módulos y hasta 20 canales superando al Field machine que cuenta con un máximo de 12 canales. El PARSTAT tiene la característica de que sus canales pueden funcionar de manera asíncrona para realizar pruebas en diferentes celdas o incluso en una matriz compleja de electrodos de un mismo entorno de prueba. Se pueden adicionar canales incluso con el equipo corriendo alguna prueba.

Figura 43: Potencioestatos laboratorio de integridad e ingeniería en materiales



Las principales pruebas que se realizan en estos equipos son:

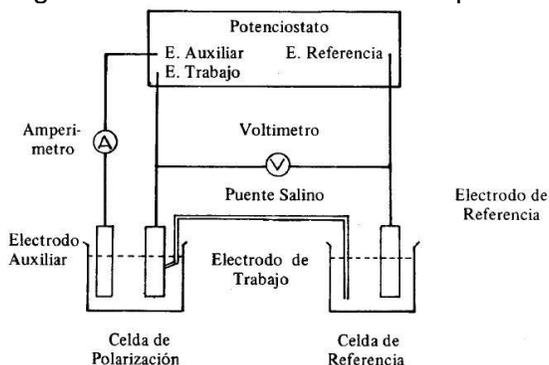
- Resistencia a la polarización
- Extrapolación o curva de Tafel
- Impedancia electroquímica

Los métodos mencionados anteriormente se basan en la medida de magnitudes eléctricas básicas como intensidad de corriente, diferencia de potencial, resistencia, conductancia, impedancia, etc. los cuales representan las reacciones reducción y oxidación que presente el electrodo. La norma G 59 – 97 indica el método experimental para la realización de pruebas de resistencia a la polarización, muestra los equipos que se usan, el método de preparación, y la técnica experimental usada para obtener los resultados esperados.

Por otra parte, tenemos la norma ASTM G106 – 89 que indica el método usado y el correcto procedimiento a seguir para obtener la medida de impedancia en determinado material y su potencial de corrosión usando materiales estándar especificados en el documento.

La conexión de los electrodos es de forma sencilla, se debe emular la conexión de una celda electroquímica la cual tiene como objetivo simular de manera rápida la velocidad de corrosión en un material.

Figura 44: Conexión celda electroquímica



Fuente: Revista de Química. Vol. II. NO I. junio de 1988, Universidad Pontificia católica del Perú

4.3.6. Jaula rotatoria autoclave Cortest

En las pruebas realizadas en autoclaves existe un procedimiento llamado la jaula rotatoria, es usado como una de las metodologías más prometedoras en el campo de evaluación de inhibidores de corrosión ya que se evalúan condiciones de alta presión y temperatura, así como los esfuerzos de corte. Este método consiste en montar los cupones a evaluar sobre dos placas circulares que posteriormente irá acoplada al eje de agitación, las dimensiones dadas para la jaula indican una directriz de usar 8 cupones dadas las dimensiones del reactor utilizado. Se genera un movimiento centrifugo de la jaula y por ende los cupones. La norma usada para seguir el procedimiento sugerido es la ASTM 184-06. Teniendo en cuenta que la norma predice un recipiente de 7500 ml, se analizaron los equipos presentes en el laboratorio, se decide proponer la implementación de la jaula en el reactor Cortest. Dicho reactor tiene una capacidad de 5000 ml, se calcula el volumen efectivo.

Figura 45: Jaula rotatoria según norma ASTM



Fuente: ASTM G184 – 06

$$Volumen Efectivo = \frac{3}{4} * Volumen total reactor$$

$$Volumen efectivo = \frac{3}{4} * 5000 ml$$

$$Volumen efectivo = 3750 ml$$

La norma indica que la relación $\frac{Volumen efectivo}{Área Expuesta} \cong 30$

Además de esto se debe tener en cuenta que los cupones a utilizar son de lata por lo tanto las dimensiones específicas son 75 mm de altura, 19 mm de ancho y 3 mm de espesor. Teniendo en cuenta lo anterior se calcula el área expuesta por cada cupón de alta.

$$Área expuesta = Altura * Ancho * Espesor$$

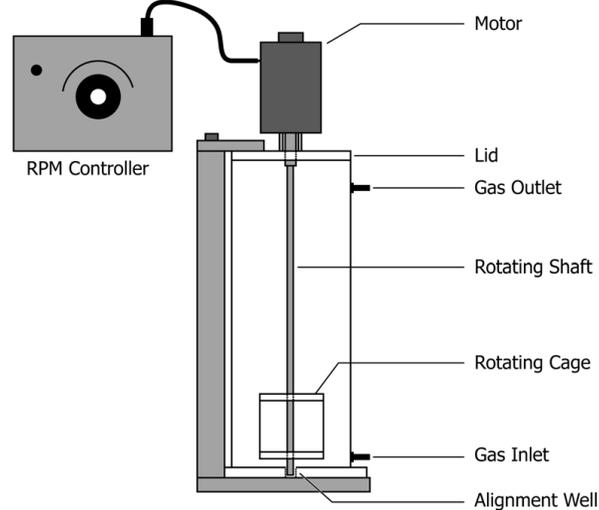
$$Área expuesta = 75 mm * 19 mm * 3 mm$$

$$Área expuesta = 34,14 cm^2$$

$$30 \cong \frac{3750 cm^3}{x} \quad x = 125 cm^2 \quad \frac{125 cm^2}{34,14 cm^2} = 3,6614 cupones$$

Se obtiene como resultado para evaluar los inhibidores de corrosión en la autoclave cortest el total de 3,66 cupones. Se debe buscar la forma de no modificar las dimensiones de la jaula y no afectar el Gap que indica la distancia sugerida por la cual estarán separados los cupones en la jaula. El gap debe mantenerse en 0,85 cm \pm 0,01 cm.

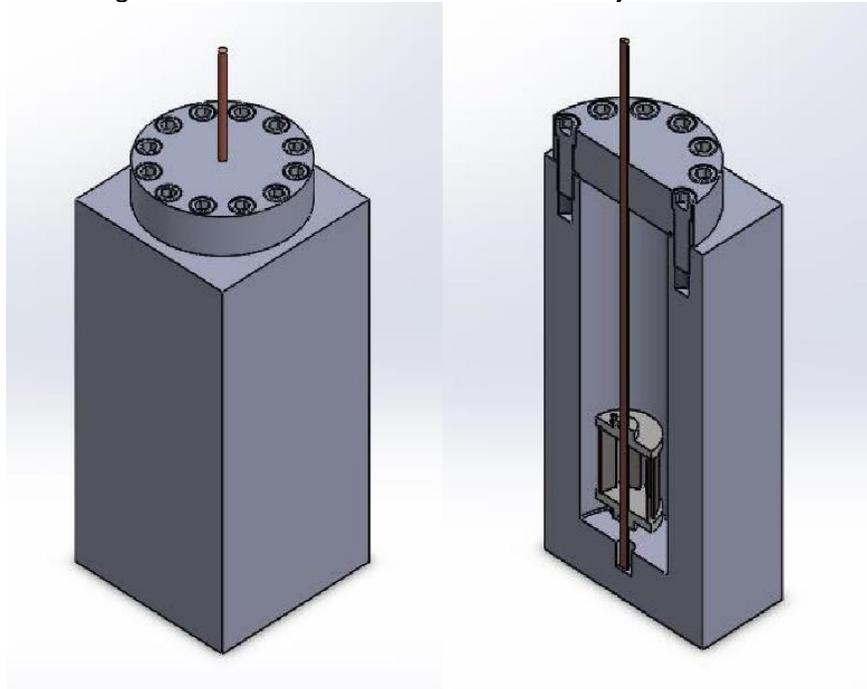
Figura 46: Esquema jaula rotatoria



Fuente: ASTM G184 – 06

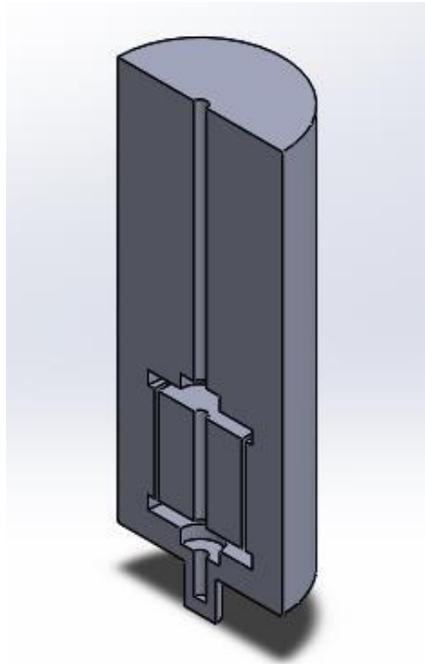
Para implementación de la jaula en el modelo cortest se realiza el esquema del reactor mediante el CAD además del volumen efectivo dispuesto para realizar una prueba de inhibidor de corrosión. Cabe resaltar que se utilizarán solo 4 cupones para analizar los efectos y los otros 4 restantes serán fabricados de un material que no afecte los procesos de corrosión que experimentará el material a evaluar. Por lo tanto, se sugiere que el material de fabricación de los cupones que no aportarán a la reacción sea Hastelloy C276 del cual está fabricado el reactor.

Figura 47: Ensamble reactor cortest con jaula rotatoria



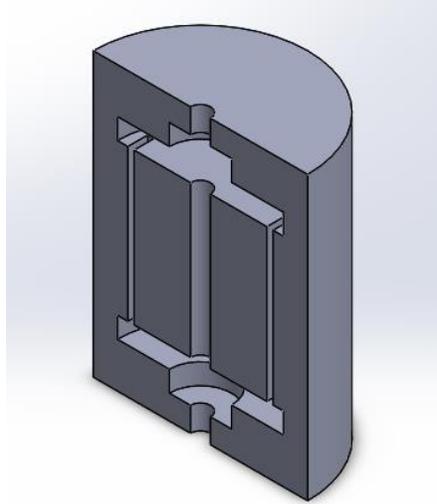
Las dimensiones del ensamble son 1:1 de manera que se visualice en el software lo que se tiene presente en el laboratorio. Posteriormente cuando se tiene el reactor con sus componentes se procede a recrear el volumen que estará presente para realizar el ensayo.

Figura 48: Vista de sección volumen reactor



Para obtener una predicción de la eficiencia del uso de la jaula en el equipo dispuesto en el laboratorio, se procede a simular el comportamiento de los esfuerzos de corte que se presentan en los cupones ya que están directamente relacionados con la corrosión del material. Se definió en 2001 mediante comparaciones cuantitativas, que la jaula es el mejor método para evaluar los inhibidores de corrosión y, por lo tanto, se definió en la norma ASTM G170-01a “Evaluación y clasificación de inhibidores de corrosión para pozos petrolíferos y refinerías en el laboratorio”. La jaula simula las condiciones de flujo en tuberías. La simulación se realiza gracias al software ANSYS por parte de Ecopetrol usando los sólidos que representan los volúmenes del reactor y la jaula.

Figura 49: Vista sección volumen jaula



5. CONCLUSIONES

- Las autoclaves son equipos de gran utilidad en el estudio del efecto de la corrosión en materiales usados en la industria petrolera ya que simula ambientes de alta presión y temperatura además de ser considerados los equipos críticos debido a las condiciones de presión y temperatura alcanzadas durante su operación.
- El proceso de documentación y conceptualización fue de gran importancia para la intervención de equipos y/o procesos debido a la recopilación de información útil para realizar un análisis y posterior diagnóstico.
- El monitoreo de variables para autoclave es de gran importancia ya que nos indica el estado y comportamiento del proceso en tiempo real, además de la utilidad de analizar los datos recolectados después de realizar un ensayo y observar el comportamiento de variables físicas a lo largo del tiempo.
- La búsqueda de alternativas de mejora en autoclaves es un proceso crítico ya que se deben respetar parámetros de operación que están directamente relacionados con las variables de diseño, por lo tanto, es de suma importancia tener en cuenta todos los aspectos para evitar afectar de forma negativa la confiabilidad del equipo o sistema.
- Los estudios gravimétricos y electroquímicos usados para el análisis de corrosión son de gran utilidad en la industria petrolera para afrontar los diferentes desafíos que se presentan bajo las diferentes condiciones físicas, ambientales, geológicas y químicas en las distintas ubicaciones de trabajo.

6. RECOMENDACIONES

- Adecuar un sistema de alerta en caso de detección de gases peligrosos como el H₂S, el uso de las autoclaves y la reacción presente en el reactor puede producir este tipo de gases por lo que es importante la alerta en caso de que la ppm superen los niveles máximos de concentración dentro del laboratorio.
- Adecuar los equipos en posiciones fijas en el laboratorio, ya que esto permite la operación en estaciones de trabajo por autoclave. La importancia de tener los equipos fijos radica en la seguridad a la hora de presionar el reactor y realizar el montaje de pruebas. El sistema de tubing también facilita despresurizar el reactor cuando finalice el ensayo. El transporte del reactor debe realizarse mediante un dispositivo con ruedas para evitar lesiones fisiológicas al operador.
- El sistema de monitoreo de variable propuesto para los equipos debe estar ubicado en la parte de afuera del área de corrosión donde actualmente se encuentra el controlador del equipo Cortest para asegurar la seguridad del operario en caso de falla cuando esté controlando el equipo de manera remota.
- Llevar un registro de intervención a los equipos documentando los cambios de discos de ruptura, discos de sellado, cambio de válvulas o accesorios en donde se indique el profesional que realiza la labor y la fecha en la que se realizó.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abate Garrido, N. (2015). Manual Básico Del Uso De Autoclaves. *Apuntes Básico Uso de Autoclave*. Arica, Chile.
- B, V., & Schorr, M. (2013). Corrosión y preservación de la infraestructura industrial.
- Berrio, L. (2013). Modelo estático y dinámico de un reactor industrial utilizado en el proceso de pasteurización de envases. *Scientia et technica*, 132-138.
- Cabrera, B. J. (2016). *Estudio de la corrosión de acero al carbono AISI 1020 en soluciones cloradas y su dependencia con la rugosidad del material*. Santiago de Chile.
- De Lucio, M. D., & Licona, S. A. (2015). *Efecto de la velocidad de rotación en la determinación de la eficiencia de un inhibidor de corrosión utilizando jaula rotatoria*. Ciudad de México: Escuela superior de ingeniería química e industrias extractivas.
- G184-06. (2016). Standard practice for evaluating and qualifying oil field and refinery corrosion inhibitors using rotating cage. *ASTM*, 1-4.
- G5-13. (2013). Standard reference test method for making potentiodynamic anodic polarization measurements. *ASTM*, 1-4.
- G59-97. (2009). Standard test method for conducting potentiodynamic polarization resistance measurements. *ASMT*, 1-4.
- Lasebikan, B. &. (2015). Autoclave desing for high pressure-high temperature corrosion studies. *Journal of engineering, desing and technology*, 539-555.
- López, G., Rodríguez, L., Avila, M., & Genescá, L. (1991). *Tres métodos para evaluar una velocidad de corrosión*. Ciudad de México.
- Lorandi Medina, A. P., Hermida Saba, G., Hernández Silva, J., & Guevara Durán, E. L. (2011). Los laboratorios virtuales y laboratorios remotos en la enseñanza de la ingeniería. *Revista internacional de educación en ingeniería*, 4, 24.
- Piñeros, G. (2014). *Diseño de un sistema automático para el control y supervisión de una autoclave*. Bogotá.
- Robles Salazar, J. L., & Ortiz López, F. J. (1 de Octubre de 2014). *Repositorio Digital Universidad Israel*. Obtenido de <http://190.11.245.244/handle/47000/1150>
- Rodelo, C. &. (2006). *Evaluación de la corrosión por CO2-Salmunera de un acero AISI-SAE 1020 en una autoclave dinámica mediante técnicas electroquímicas*. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- Turmo Sierra, E. (1999). NTP 510: Válvulas de seguridad: selección. *Mministerio de trabajo y asuntos sociales España*, 12.
- Ugaz, L. A., & Díaz, T. I. (1988). Principios de las técnicas electroquímicas en estudios de procesos de corrosión. *Revista de Química*, 2-5.