Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA

Atribución 4.0 Internacional

Esta licencia permite que otros distribuyan, mezclen, adapten y construyan sobre su trabajo, incluso comercialmente, siempre que le reconozcan la creación original. Esta es la licencia más complaciente que se ofrece. Recomendado para la máxima difusión y uso de materiales con licencia.

http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que subscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es: **Influencia de la concentración del sulfuro de hidrógeno y del dióxido de carbono en el nivel de corrosión del acero AISI 304 empleado en la construcción de la columna desmetanizadora**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Petroquímico

Presentado por: **YARASCA AQUIJE ÁNGEL JESÚS ANTONIO**

Autor del Proyecto de Tesis del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de **INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**. El Resultado obtenido es 1% (PORCENTAJE DE SIMILITUD) por lo cual, se otorga el calificativo de:

APROBADO, según Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

El porcentaje de similitud es menor del 20%, establecido como máximo por Reglamento de Evaluación de originalidad.

Ica, 21 de junio de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y PETROQUIMICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Dra. ROSA LUZ GALINDO PASACHE
DIRECTORA (e)

1-TESIS INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DEL SULFURO DE HIDRÓGENO Y DEL DIÓXIDO DE CARBONO EN EL NIVEL DE CORROSIÓN DEL ACERO AISI 304 EMPLEADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA COLUMNA DESMETANIZADORA-2024

Por ÁNGEL JESÚS ANTONIO YARASCA AQUIJE

17 JUN 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

VICTOR JESÚS ORE GALINDO
OPERADOR ANTIPLAGIO

1-TESIS INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DEL SULFURO DE HIDRÓGENO Y DEL DIÓXIDO DE CARBONO EN EL NIVEL DE CORROSIÓN DEL ACERO AISI 304 EMPLEADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA COLUMNA DESMETANIZADORA-2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

1 %

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	www.hacertutesis.com Internet	67 palabras — 1%
2	www.definicionabc.com Internet	53 palabras — < 1%

EXCLUIR CITAS	ACTIVADO	EXCLUIR FUENTES	< 40 PALABRAS
EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA	ACTIVADO	EXCLUIR COINCIDENCIAS	< 40 PALABRAS

17 JUN 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

VICTOR JESUS ORE GALINDO
OPERADOR ANTIPLAGIO

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUÍS GONZAGA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

Facultad de Ingeniería de Ingeniería Química y Petroquímica

Tesis**:**

Influencia de la concentración del sulfuro de hidrógeno y del dióxido de carbono en el nivel de corrosión del acero AISI 304 empleado en la construcción de la columna desmetanizadora

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Petroquímico

Línea de investigación: Ciencias naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles.

AUTOR: YARASCA AQUIJE ÁNGEL JESÚS ANTONIO

ASESOR: MG. TOLEDO HUAMAN JUAN

ICA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

En profundo agradecimiento a Dios y a mis padres, quienes a lo largo de sus vidas me han inculcado la cultura del trabajo y estudio. Su dedicación y esfuerzo constante para asegurarme una educación son un regalo que valoro más allá de las palabras. Esta tesis es el testimonio de su sacrificio y amor, y un recordatorio constante de la importancia del trabajo duro y la educación en nuestras vidas.

AGRADECIMIENTOS

“Son muchos los docentes que han sido parte de mi camino universitario, y a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí. Sin ustedes los conceptos serían solo palabras, y las palabras ya sabemos quién se las lleva, el viento”.

“Por último agradecer a la universidad que me ha exigido tanto, pero al mismo tiempo me ha permitido obtener mi tan ansiado título. Agradezco a cada directivo por su trabajo y por su gestión, sin lo cual no estarían las bases ni las condiciones para aprender conocimientos”.

INDICE DE CONTENIDOS

		Pág.
PORTADA		01
DEDICATORIA		02
AGRADECIMIENTO		03
ÍNDICE DE CONTENIDOS		04
ÍNDICE DE TABLAS		05
ÍNDICE DE FIGURAS		06
RESUMEN		07
ABSTRACT		08
I.	INTRODUCCIÓN	09
II.	ESTRATEGIA METODOLOGICA	12
2.1.	Antecedentes.	12
2.2.	Marco teórico.	13
2.3.	Marco conceptual.	25
2.4.	Estrategia metodológica.	26
2.3.	Desarrollo experimental.	26
III.	RESULTADOS.	32
IV.	DISCUSIÓN.	50
V.	CONCLUSIONES	51
VI.	RECOMENDACIONES.	52
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	53
VIII.	ANEXOS.	54

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Composición química del acero inoxidable AISI 304 y 304L	24
Tabla 2.2. Propiedades físicas del acero inoxidable AISI 304.	25
Tabla 3.1. Peso inicial de las cintas de acero AISI 304 (3 cm x 10 cm x 2 mm)	32
Tabla 3.2. Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 (24 hr) CO2	33
Tabla 3.3. Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 (48 hr) CO2	34
Tabla 3.4. Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 (72 hr) CO2	35
Tabla 3.5. Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 (96 hr) CO2	36
Tabla 3.6. Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 (120 hr) CO2	37
Tabla 3.7. Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 (144 hr) CO2	38
Tabla 3.8. Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 (168 hr) CO2	39
Tabla 3.9. Variación de la pérdida de peso de las muestras de acero inoxidable AISI 304 con relación al tiempo de exposición al ácido carbónico	40
Tabla 3.10. Peso inicial de las planchas de acero AISI 304 (8 cm x 8 cm x 2 mm)	41
Tabla 3.11. Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 (24 hr) H2S	42
Tabla 3.12. Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 (48 hr) H2S	43
Tabla 3.13. Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 (72 hr) H2S	44
Tabla 3.14. Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 (96 hr) H2S	45
Tabla 3.15. Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 (120 hr) H2S	46
Tabla 3.16. Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 (144 hr) H2S	47
Tabla 3.17. Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 (168 hr) H2S	48
Tabla 3.18. Variación de la pérdida de peso de las muestras de acero inoxidable AISI 304 con relación al tiempo de exposición al ácido carbónico	49

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura.1. Esquema de tratamiento general del gas natural. 14

Figura. 2. Proceso criogénico de separación del metano. 15

Figura.3. Tren de fraccionamiento del gas natural. 17

Figura.4. Columna de platos. 18

Figura. 5. Transferencia de masa en la columna de platos. 19

Figura. 6. Tipo de platos para columna de destilación. 20

Figura. 7. Corrosión generalizada 20

Figura.8. Corrosión localizada. 21

Figura. 9. Cintas de acero inoxidable AISI 304 27

Figura.10. Frasco boca ancha con cierre hermético. 27

Figura. 11. Plancha de acero inoxidable AISI 304 28

Figura. 12. Taper de vidrio. 28

Figura.13. Probeta de acero inoxidable AISI 304 antes del ensayo. 30

Figura. 14. Superficie de la probeta de acero inoxidable AISI 304 después de 7 días de prueba de corrosión. 30

Figura. 15. Grados de corrosión del acero inoxidable AISI 304. 31

RESUMEN

La tesis cuyo título es **Influencia de la concentración del sulfuro de hidrógeno y del dióxido de carbono en el nivel de corrosión del acero AISI 304 empleado en la construcción de la columna desmetanizadora, ,** es un estudio teórico experimental en el que se han desarrollado un marco teórico referido a el acero inoxidable AISI 304 y a los gases ácidos dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno y su acción corrosiva bajo las condiciones de trabajo de la torre desmetanizadora, la parte experimental ha permitido demostrar la acción corrosiva de estos compuestos químicos cuando tienen contacto con el agua. La corrosión se midió por la pérdida de peso del metal expuestos durante un determinado tiempo a los ácidos formados entre estos gases y el agua. Se ha comprobado que la concentración del ácido carbónico aumenta conforme aumenta la presión y por tanto su actividad corrosiva es mayor.

Palabras claves: Sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono, desmetanizadora.

ABSTRACT

The thesis whose title is Influence of the concentration of hydrogen sulfide and carbon dioxide on the level of corrosion of the AISI 304 steel used in the construction of the demethanizing column, is an experimental theoretical study in which a framework has been developed. theoretical reference to AISI 304 stainless steel and acid gases carbon dioxide and hydrogen sulfide and their corrosive action under the working conditions of the demethanizer tower, the experimental part has allowed demonstrating the corrosive action of these chemical compounds when in contact with Water. Corrosion was measured by the weight loss of the metal exposed for a certain time to the acids formed between these gases and water. It has been verified that the concentration of carbonic acid increases as the pressure increases and therefore its corrosive activity is greater.

Keywords: Hydrogen sulfide, carbon dioxide, demethanizer.

I. INTRODUCCIÓN

Casi la totalidad de gas natural que sale a la superficie a través de los pozos viene junto con una serie de otras sustancias gaseosas y líquidas alguna son hidrocarburos y otros se consideran impurezas ya que afecta la calidad del gas natural y de los productos que se obtienen a partir de él. Estas impurezas son las sales de metales pesados, gases corrosivos como el ácido sulfhídrico (H_2S) y el dióxido de carbono (CO_2), estos, junto con un grupo de otros gases que contienen azufre en su estructura, le dan el carácter ácido al gas natural y por tanto su presencia en este no es aceptable, por lo que hay que someterlo a acondicionamiento en donde a través de una serie de procesos se eliminan en su mayor parte, quedando en el gas natural una mínima cantidad pero que puede afectar mucho las estructuras metálicas generando corrosión.

La industria del gas natural al igual que la industria del petróleo y la industria petroquímica están sujetos a serios problemas de corrosión de incrustación que pueden ser muy críticos teniendo en cuenta los costos de equipos para esas plantas. Debido a ello se han realizado una serie de investigaciones tendientes a esclarecer las causas de la corrosión y establecer métodos para evitarla, pero aún se está lejos de poder minimizarla. En esta línea la presente investigación estudiará los efectos de la concentración de los gases ácidos dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno en el nivel de corrosión que sufre la torre desmetanizadora la cual es construida con acero inoxidable A.I.S.I. 304.

Situación problemática.

Una de las causas (la más importante) de la corrosión en los equipos de plantas de gas natural y de las tuberías que conforman la red de gasoductos es la presencia de los llamados gases ácidos, que incluyen al sulfuro de hidrógeno y al dióxido de carbono entre otros (sulfuro de carbonilo, mercaptanos, etc.) los cuales adquieren la habilidad para corroer metales cuando en el medio hay suficiente vapor de agua con la cual forman ácidos: ácido carbónico y ácido sulfhídrico, pasando al estado líquido donde forman otras especies reactivas como el ácido carbónico, iones bicarbonato, iones carbonato, iones hidrosulfuro, iones sulfuro y iones H^+ que intervienen en el paso de electrones en la fases intermedia entre las sustancias corrosivas y el metal. Las reacciones que se producen aquí son reacciones catódicas. La reacción anódica es la disolución del Fe para formar Fe^{++}. Estas reacciones permiten el aumento de la concentración de las sustancias que se forman en el líquido y este al tener contacto con el metal inicia el proceso corrosivo electroquímico. Inicialmente, el proceso corrosivo ocasiona una rápida disolución de la pared metálica, generándose iones ferrosos que se mueven en el líquido reaccionando con los iones carbonato o con el ácido sulfhídrico formando sulfuro de hierro. Si se forma la escama de carbonato, los reactivos tienen que difundirse por la capa protectora para poder reaccionar con la superficie metálica y se produce un retardo en las velocidades de corrosión. La velocidad global de corrosión depende de la velocidad de cada uno de estos pasos individuales que se llevan a cabo bajo las condiciones dadas. La capa protectora es una fina película de carbonato de hierro que se forma durante las reacciones del dióxido de carbono, la velocidad de la corrosión depende fundamentalmente del comportamiento de esta

capa protectora. La finalidad de esta investigación es establecer el nivel de corrosión de la columna en relación con la concentración de dióxido de carbono y de sulfuro de hidrógeno.

Problema general.

¿Cuál es la influencia de la concentración del sulfuro de hidrógeno (H_2S) y del dióxido de carbono (CO_2) en el nivel de corrosión del acero AISI 304 empleado en la construcción de la columna desmetanizadora?

Problemas específicos

- ¿Cómo influye la concentración del sulfuro de hidrógeno (H_2S) en el nivel de corrosión del acero AISI 304 empleado en la construcción de columnas desmetanizadoras?
- ¿Cómo influye la concentración del dióxido de carbono (CO_2) en el nivel de corrosión del acero AISI 304 empleado en la construcción de columnas desmetanizadoras?

Objetivo general

Determinar la influencia de la concentración del sulfuro de hidrógeno (H_2S) y del dióxido de carbono (CO_2) en el nivel de corrosión del acero AISI 304 empleado en la construcción de la columna desmetanizadora.

Objetivos específicos

- Evaluar la influencia del sulfuro de hidrógeno (H_2S) en el nivel de corrosión del acero AISI 304 empleado en la construcción de columnas desmetanizadoras?
- Evaluar la influencia de la concentración del dióxido de carbono (CO_2) en el nivel de corrosión del acero AISI 304 empleado en la construcción de columnas desmetanizadoras?

Hipótesis general.

La concentración del sulfuro de hidrógeno (H_2S) y del dióxido de carbono (CO_2) influye en el nivel de corrosión del acero AISI 304 empleado en la construcción de columnas desmetanizadoras.

Hipótesis específicas

- La concentración promedio del sulfuro de hidrógeno (H_2S) influye en el nivel de corrosión del acero AISI 304 empleado en la construcción de columnas desmetanizadoras.
- La concentración del dióxido de carbono (CO_2) influye en el nivel de corrosión del acero AISI 304 empleado en la construcción de columnas desmetanizadoras.

Variables:

Variable independiente:

Concentración de dióxido de carbono y de sulfuro de hidrógeno.

Variable dependiente.

Nivel de corrosión del acero AISI 304

Justificación e importancia de la investigación.

Justificación teórica:

Esta investigación se justifica teóricamente en tanto aborda el estudio de la corrosión en las columnas de destilación que se alimentan con gas natural que contienen una cierta cantidad residual de dióxido de carbono y de sulfuro de hidrogeno, dos gases de acción corrosiva cuando están presentes junto con el

vapor de agua y que causa severos daños a los aparatos de las plantas y a las tuberías de los gasoductos. Así mismo se estudiará el acero AISI 304 sus propiedades físicas y su resistencia a la corrosión cuando es atacado por los gases ácidos que acompañan al gas natural.

Justificación metodológica:

Esta investigación se justifica metodológicamente porque aborda el estudio desde una perspectiva experimental para buscar los datos que permitirán demostrar la hipótesis planteada.

Justificación social:

Se justifica porque busca que disminuir la corrosión se disminuye contaminación ambiental y gastos en reparación de equipos lo que conlleva a más ganancias para la empresa y una mejora económica también para los trabajadores.

Justificación práctica:

Desde el punto de vista práctico la tesis se justifica porque el estudio que se realizará permitirá conocer más sobre corrosión y sobre materiales inoxidables que pueden mejorar la vida útil de equipos que trabajan en condiciones no favorables y son atacados por compuestos corrosivos.

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. Antecedentes.

Los antecedentes internacionales y nacionales que se han revisado para desarrollar la presente tesis son los siguientes:

A nivel internacional

E. Ojeda y R. Hing [1] en su tesis sobre corrosión de la columna de destilación, sobre todo en el parte superior debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono, los cuales en un medio húmedo (es decir en presencia del agua se convierten en sustancias corrosivas ya que forman ácido, en el estudio plantean el empleo de un inhibidor de corrosión para proteger el acero al carbono con el que está construida la columna. El estudio es de tipo aplicado, de nivel explicativo y de diseño experimental los ensayos realizados fueron para determinar cuál de los dos inhibidores de marca registrada usados en la columna industrial es el que ofrece mayores ventajas de protección al metal. Los resultados obtenidos indican que ambos inhibidores no poseen la capacidad para contrarrestar los procesos corrosivos que se desarrollan en el interior de la columna bajo las condiciones de presión y temperatura del aparato. La concentración de los inhibidores se varió en un amplio rango, teniendo en consideración que el uso de este tipo de sustancias exige no emplear inhibidores en altas concentraciones por lo que seleccionaron cantidades inferiores a 2,5 ppm.

J. Chavarría [2] en su tesis sobre la determinación de la velocidad de la corrosión en una torre de destilación aborda el estudio de la seguridad en el diseño, un tema de seguridad de procesos el cual provee las fallas de los equipos por algún defecto en su construcción. La tesis de tipo teórica reúne material bibliográfico para proponer el control de los equipos desde su diseño teórico hasta su puesta en marcha. Durante el cálculo del espesor de la plancha, se debe de obligatoriamente considerar un margen de seguridad correspondiente a la corrosión interna de las planchas en un medio tan corrosivo como es el gas natural y el petróleo. En el estudio el autor analiza la corrosión de manera integral involucrando en la corrosión de los niples, los tubos de entrada y salida, las columnas despojadoras y el fondo de la columna debido a que estos sectores de la columna soportan con mayor fuerza la actividad corrosiva del dióxido de carbono y del sulfuro de hidrógeno, considerados altamente corrosivos en presencia de agua en forma de vapor.

P. Meza y col. [3] desarrollaron un trabajo experimental en el cual se estudió la velocidad de corrosión de un acero AISI SAE 1020, el cual permanece bajo una atmósfera de cloruro y los gases ácidos a elevadas presiones, la finalidad del trabajo fue determinar el efecto corrosivo del sulfuro de hidrógeno presente en pequeñísimas cantidades en el gas natural que además contiene dióxido de carbono y cloruros. Como resultado del estudio se comprobó que la corrosión bajo esas condiciones aumenta conforme se eleva la temperatura de ensayo. Y la concentración del sulfuro de hidrógeno. El acero ensayado es un acero al carbono, el cual es atacado por los ácidos

que se forman cuando reaccionan el dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno con el agua bajo condiciones normales, por lo que en el estudio presentado se reporta una velocidad de corrosión intensiva.

A nivel Nacional.

M. Acaro [4] en su tesis sobre mejora de los procesos y operaciones en el sistema de tratamiento del crudo, aborda experimentalmente el tema de la corrosión interna y externa de los equipos y tuberías por donde circula el crudo y es procesado, es decir, en los diferentes aparatos y equipos de proceso, determinando que la presencia de dióxido de carbono en un medio clorurado bajo las condiciones de presión y temperatura es lo que genera la corrosión afectando al proceso de tratamiento del crudo, debido a esto en los equipos como la columna de destilación, los intercambiadores de calor y las columna despojadoras es donde se produce una mayor corrosión, para llegar a esta conclusión y demostrar la hipótesis de la corrosión se hicieron ensayos para determinar la composición del agua, de igual manera se ensayaron los gases en los separadores encontrándose porcentajes considerables de CO_2. Conociendo los resultados sobre la corrosión intensiva que se desarrolla en estos equipos se propuso el empleo de inhibidores fílmicos para controlar la corrosión interna y para evitar que las tuberías tengan contacto directo con el agua superficial se levantaron estas en soportes tipo H, las tuberías sumergidas se controlan con cama de ánodos de sacrificio.

Cl. Guerra [5], en su tesis sobre corrosión atmosférica sobre dos tipos de acero de bajo carbono que se emplea en la construcción de equipos y tuberías de instalaciones industriales, hace un estudio experimental con el fin de determinar la velocidad de corrosión atmosférica en aceros de dos tipos, ambos al carbono y con un alto contenido de cromo. Las muestras se tomaron de diferentes lugares, concretamente en 10 estaciones El lugar donde se colocaron los dispositivos muestreadores fue elegido después de considerar la distancia al mar, altitud, topografía del terreno e impactos industriales, entre otros aspectos. La velocidad de corrosión y el grado de corrosividad atmosférica fueron determinadas por el método gravimétrico. Se han caracterizado los productos de corrosión por difracción de rayos X, fluorescencia de rayos X y microscopia electrónica. También se estudió el impacto de las siguientes variables ambientales: humedad, cloruros, SO_2, NO_2, H_2S y velocidad del viento.

A nivel local.

No existe registro alguno sobre investigaciones relacionadas con el tema que se desarrolla en el presente proyecto en las Universidades locales.

2.2. Marco teórico.

2.2.1. Proceso de separación del gas natural.

Después de haber pasado por una serie de procesos en los cuales se eliminan el agua, el vapor de agua y los compuestos de azufre gaseosos que en la práctica industrial se denominan gases ácidos (es necesario remarcar que en estos procesos no se logra eliminar la totalidad de

las impurezas quedando una cantidad residual de ellos, que van a permanecer incluso en los productos finales que salen al mercado para comercializarse), el gas natural ingresa a la planta separadora (figura 1) con una composición promedio distribuida de la siguiente manera: 85% de metano, 5,5% de etano, 2,5% de propano, 1,0% de butano, pentano e hidrocarburos de mayor número de átomos de Carbonos (hexano, heptano y octano), además están presentes las impurezas gaseosas conformadas por: nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y vapor de agua. El gas natural con esa composición ingresa a las siguientes condiciones de estado: A una temperatura de 20 ºC y a una presión de 35 kg/cm^2. [2]

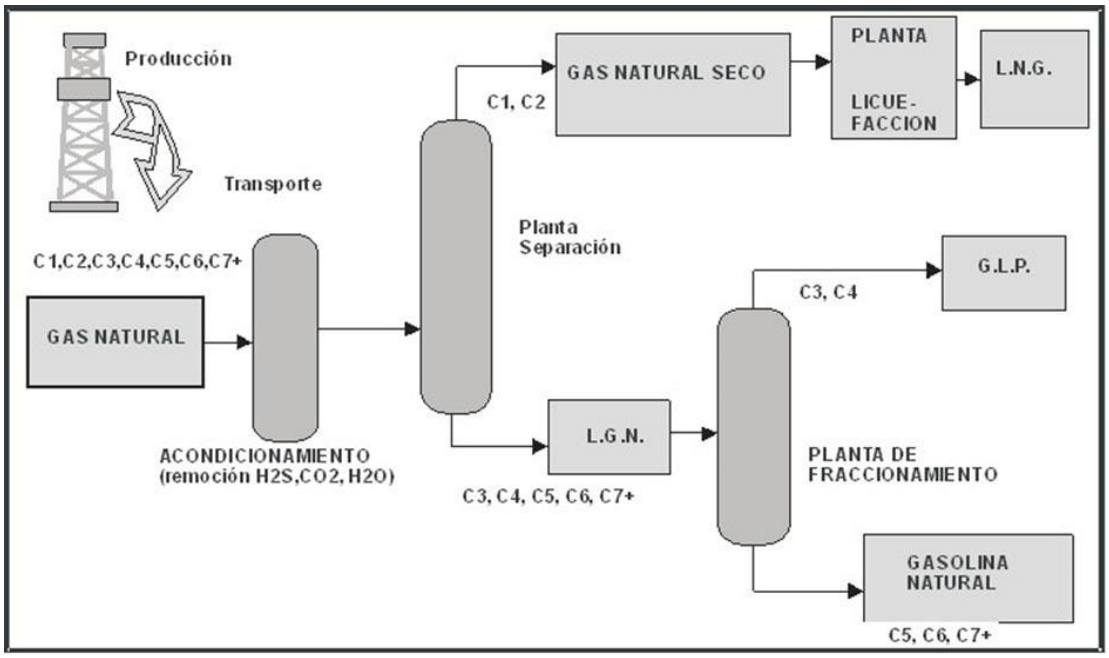


Fig.1. Esquema de tratamiento general del gas natural [5]

El flujo de gas ingresante (figura 2) se somete previamente a un filtrado con el fin de eliminar cualquier partícula sólida que pueda ser arrastrada, seguidamente pasa por los intercambiadores de calor calentándose hasta los 39°C. El fluido térmico en este caso es el gas natural residual. La concentración del dióxido de carbono no debe superar el 1,5% para evitar de que se solidifique a la presión y temperatura a las que trabaja la planta, formando los hidratos del gas natural y tapone las tuberías. La eliminación del exceso de dióxido de carbono se elimina por medio de la absorción gas-líquido empleando aceites en los cuales se disuelve el dióxido de carbono [4]. De igual manera el agua debe de ser reducida para evitar los mismos efectos. Seguidamente el gas se comprime hasta 60 kg/cm^2, y luego se enfría con ayuda de los enfriadores de aire forzado hasta los 49ºC, para luego llevarlo a deshidratación con ayuda de tamices moleculares. El sistema de deshidratación por absorción posee torres de deshidratación. El gas que las atraviesa sale de ellas, con un punto de rocío de – 100ºC. Las otras dos torres, se encuentran en el período de regeneración [1]

Del gas deshidratado una parte se dirige a las compresoras para comprimirla y hacerla circular a través de la torre recién regenerada y enfriarla. Posteriormente el gas se calienta hasta los 300 ºC y atraviesa el segundo lecho. Al pasar el gas por el lecho se carga de agua, quedando hidratado requiriendo enfriamiento. Este gas hidratado se enfría en un intercambiador de aire de circulación forzada donde el agua se condensa y se separa, luego este gas se une con el gas que ingresa a las columnas de deshidratación. El gas deshidratado se divide a la salida de las columnas de secado en dos derivaciones, que ingresan a dos trenes idénticos, en cada tren circula la mitad del caudal total. Casi las dos tercias partes del caudal que corresponde a cada tren se calienta con el gas residual que sale por el tope de la columna desmetanizadora, aquí se enfría la corriente principal desde 49 a –59 ºC. El tercio del caudal de gas que resta de cada línea se va

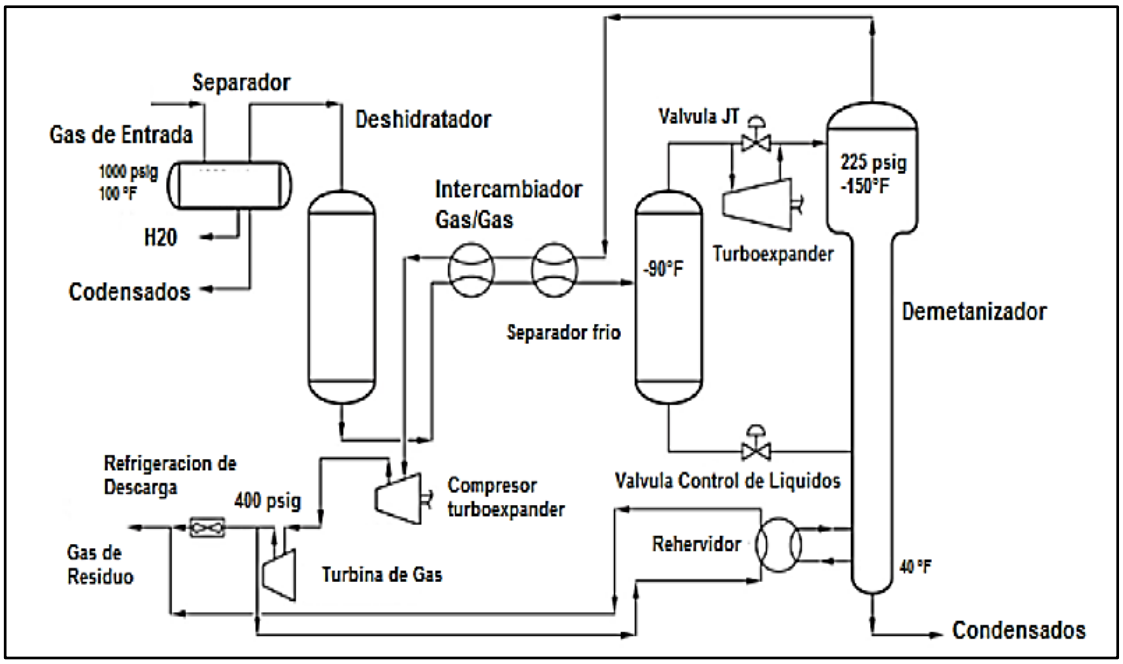


Fig. 2. Proceso criogénico de separación del metano [3]

enfriando con el el residuo que sale por la parte inferior de la columna desmetanizadora y después en los hervidores de fondo y laterales hasta alcanzar también –59 ºC. Al retornar este gas a la torre provee el calor necesario a los hervidores para la operación de la columna. Ambas corrientes, a – 59 ºC y 58 kg/cm^2 se reúnen e ingresan a un tanque separador. Cuando se enfría hasta -59°C se logra la condensación de aproximadamente el 30% del gas natural que inicialmente ingresó a la planta. [2] Del tanque separador salen dos corrientes:

- Una Corriente Gaseosa:

La que se conduce al turbo expansor. Aquí se reduce la presión hasta 20 kg/cm^2 lo que origina un descenso de la temperatura desde –59ºC, a – 94ºC que produce una condensación adicional del flujo que se envía a la parte superior de la columna desmetanizadora.

- Una corriente Líquida:

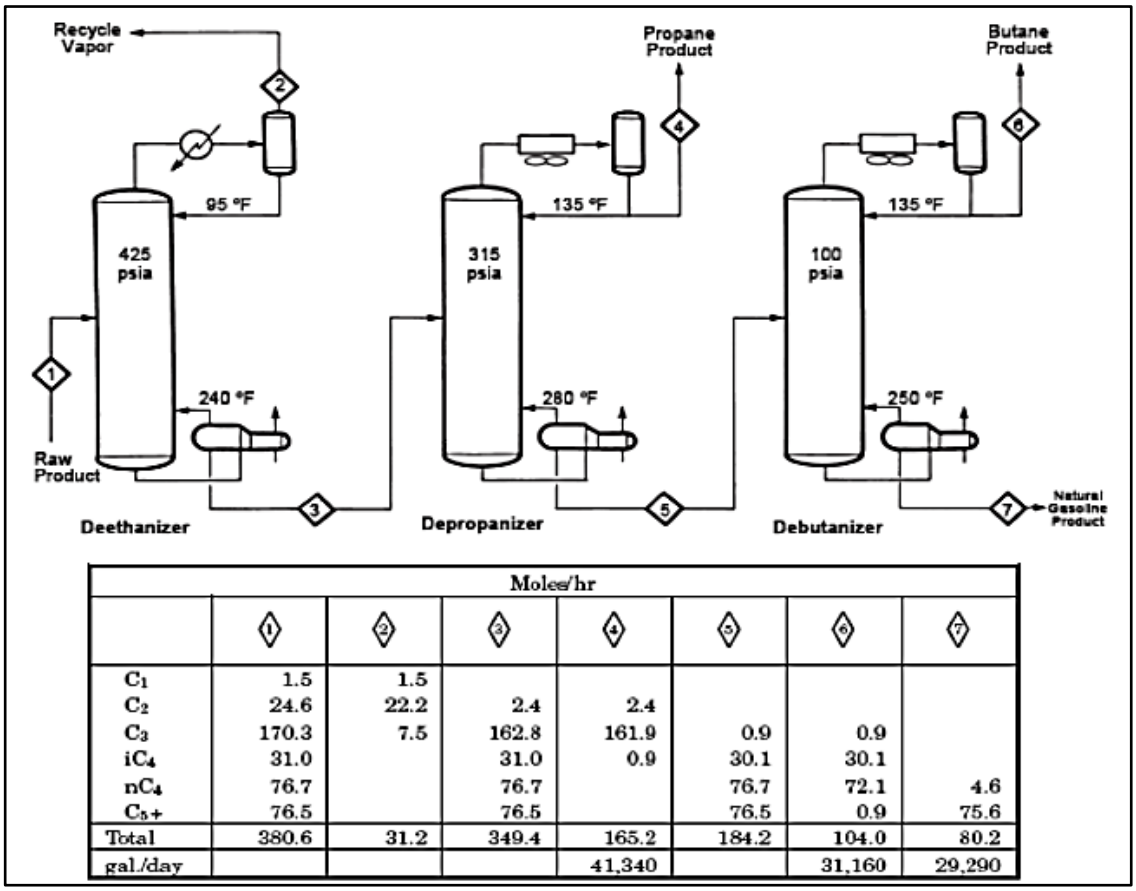
  Que pasa por una válvula reductora de presión, produciéndose vapor que ingresa por la parte inferior de la columna desmetanizadora a una temperatura de –91ºC.

La columna desmetanizadora es una columna de platos en donde se produce el fraccionamiento (separación) del metano que sale por la parte la parte superior de esta columna y el etano que sale por la parte inferior junto con los hidrocarburos de mayor peso molecular (C3, C4, C5, C6, C7, C8). Junto con el metano por la parte superior de la columna sale nitrógeno y dióxido de carbono en un 25% del total de este gas que se encuentra en el gas tratado, también sale pequeña cantidad de etano y una mucho más pequeña cantidad de propano y de butano. Por otro lado, los pesados que salen por el fondo de la columna también arrastran dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno [1].

La columna desmetanizadora es alimentada por una corriente constituida por dos fases: una líquida y otra en estado de vapor proveniente del proceso que se lleva a cabo en el turbo expander. La mezcla líquido-vapor se separa en el topping de la columna y el vapor que se produce es una fracción importante del gas residual. El calor que se requiere para vaporizar parcialmente el líquido que circula hacia abajo lo proporciona el gas natural calentado en los intercambiadores antes de su ingreso al separador. El gas residual que sale de la torre a – 94 ºC, en un intercambiador de calor se calienta con el gas natural ingresante hasta 43 ºC, y se dirige al compresor accionado por el turbo expansor, en donde se aumenta su presión hasta 22,5 kg/cm^2, y se enfría con aire forzado (enfriador), luego se comprime en compresoras accionados por turbinas de gas hasta una presión de 42,5 kg/cm^2 y es enfriado posteriormente en un enfriador con aire forzado, por intercambio de gas que ingresa a la planta y en un refrigerante final con propano hasta una temperatura de 20ºC, condición en la que el metano sale de planta. Previamente se controla el poder calorífico del gas residual, reinyectándose en la cañería gasolina si dicho valor es menor que el establecido como mínimo [5]

El producto de fondo de la desmetanizadora después de intercambiar calor con el gas natural es enviado a la planta de fraccionamiento, que constituye un tren único, y que se compone de tres columnas de destilación. La primera columna recibe como alimentación el producto de fondo de la torre desmetanizadora, y tiene como función separar componentes del etano al propano. La columna desetanizadora opera a 32 kg/cm^2, empleando como fluido calefactor vapor a 2,8 kg/cm2, y propano como fluido refrigerante para producir el reflujo. Por cabeza se extrae etano (un 99% respecto de la alimentación) con algo de propano (3% respecto del etano) y la totalidad del CO_2 y CH_4. Antes de ser enviado a depósito el etano se trata con una solución al 10% de monoetanolamina (MEA), que absorbe la totalidad del CO_2, y luego con trietilenglicol que absorbe el agua que pasa al etano en la eliminación del CO_2. El producto de fondo de la desetanizadora contiene una pequeña cantidad de etano e hidrocarburos más pesados de bajo peso molecular a éste separados en la desmetanizadora. Esta mezcla es la alimentación a la

despropanizadora, columna a plato de válvulas que opera a 20kg/cm^2, que separa componentes del propano al butano. El fluido calefactor es vapor a 2,8 kg/cm^2 y el enfriamiento necesario para el reflujo se realiza en refrigerantes a aire forzado. El producto destilado se envía a un tanque depósito. El producto de fondo de la columna se envía a la desbutanizadora, que separa componentes de C4 y C5. La columna es a platos de válvula, opera a 6 kg/cm^2, emplea el mismo vapor a 2,8 kg/cm^2 y refrigerantes de aire para el reflujo. Por cabeza, sale butano, que después de comprimido y enfriado se envía al almacén. Por el fondo, se obtiene gasolina que se enfría, se estabiliza y se almacena [3].



Moles/hr	◇1	◇2	◇3	◇4	◇5	◇6	◇7
C_1	1.5	1.5					
C_2	24.6	22.2	2.4	2.4			
C_3	170.3	7.5	162.8	161.9	0.9	0.9	
iC_4	31.0		31.0	0.9	30.1	30.1	
nC_4	76.7		76.7		76.7	72.1	4.6
C_5+	76.5		76.5		76.5	0.9	75.6
Total	380.6	31.2	349.4	165.2	184.2	104.0	80.2
gal./day				41,340		31,160	29,290

Fig.3. Tren de fraccionamiento del gas natural [5]

En este esquema del fraccionamiento del gas natural (Figura 3) se muestra la separación del etano, propano y butano, lo importante del esquema es que en el se muestran las condiciones del proceso y las líneas o flujos de entrada y salida donde podemos observar que los componentes del gas natural que se separan no lo hacen con una alta pureza, en la planta estos componentes como por ejemplo el etano (línea 2) en el cuadro de la parte inferior se lee que contiene metano, etano en mayor proporción y propano. Lo mismo sucede con los otros componentes [5]

Estructuralmente la columna desmetanizadora (figura 4) es un recipiente cilíndrico donde internamente están distribuidas estructuras circulares denominadas platos, cuyos elementos

tienen diferentes formas y cuya función es dejar pasar los vapores calientes que suben desde el fondo de la columna, para que tengan contacto con el reflujo frío que cae desde la parte superior. En los platos tienen contacto íntimo el vapor y el reflujo produciéndose la transferencia de masa, los vapores de las sustancias de menor punto de ebullición (metano) sube hasta el tope y sale como gas seco, mientras que por la parte inferior salen los hidrocarburos de mayor punto de ebullición en este caso serían el etano, propano, butano, pentano, hexano, heptano, que en conjunto se les denomina líquidos del gas natural.

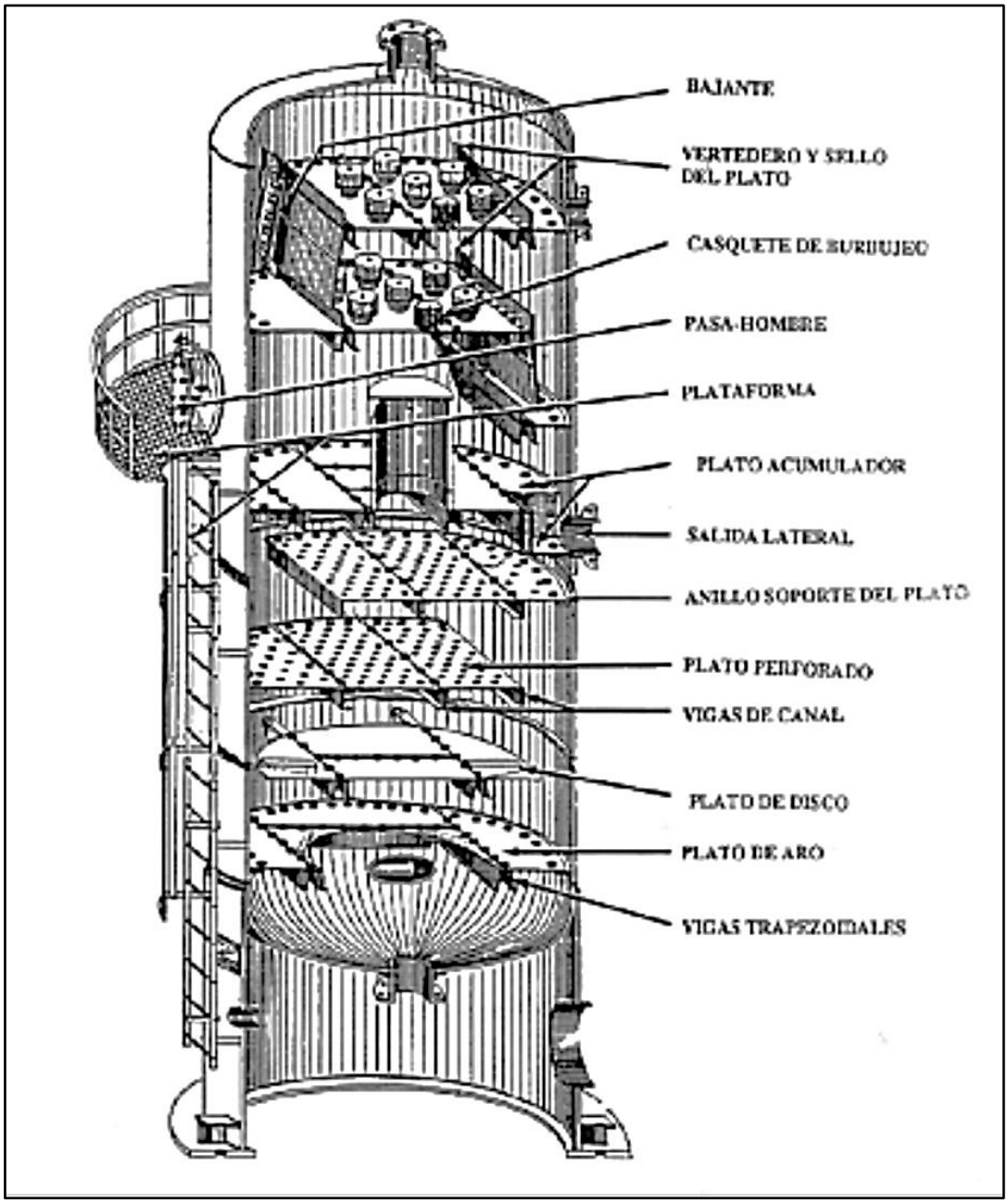


Fig.4. Columna de platos [4]

Dentro de la columna (figura 5) el contacto entre el componente líquido y los vapores en contracorriente permite un buen intercambio de fases, permitiendo la efectiva transferencia de

la parte líquida que baja y la fase gaseosa que asciende. Este mecanismo de trasferencia se optimiza al maximizar la superficie de contacto entre ambas fases [3].

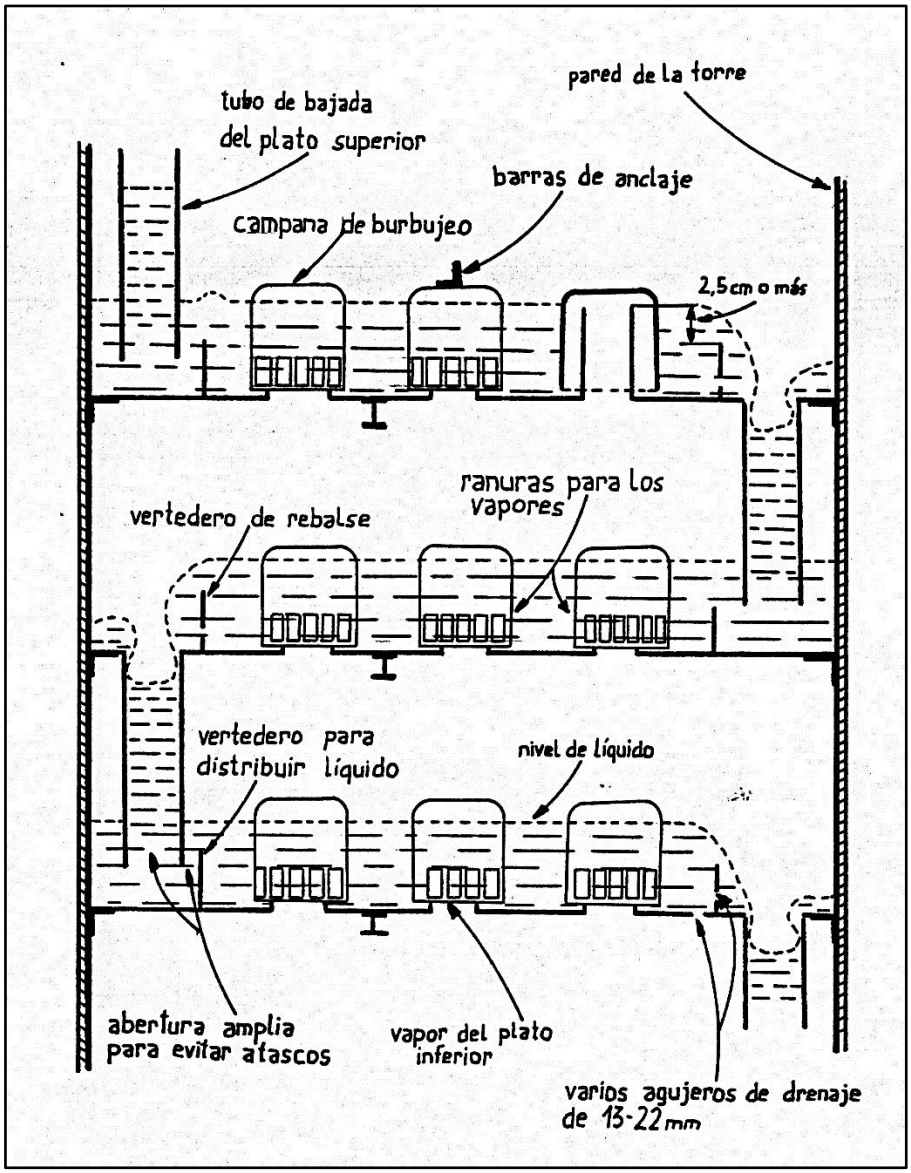


Fig. 5. Transferencia de masa en la columna de platos [7]

Los platos (figura 5) se colocan de manera alternada para uno y otro lado de la columna de tal forma que el líquido discurre sin ningún problema evitado que se inunden los platos. El gas se desplaza hacia arriba gracias a la presión de los vapores que lo obliga a pasar a través de las perforaciones del plato y burbujear en el líquido del reflujo que desciende. Las perforaciones del plato (figura 6) pueden ser simples orificios o estructuras más complejas, las cuales facilitan el transporte del gas hacia arriba forzando el contacto del líquido gas sobre la parte activa del plato. Existe una gran variedad de platos

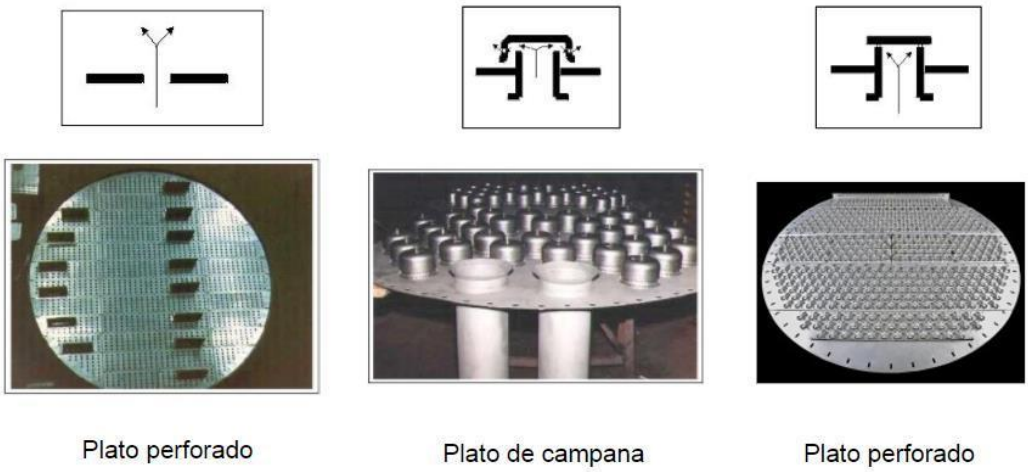


Fig. 6. Tipo de platos para columna de destilación [7]

.

2.2.2. Corrosión.

Desde el punto de vista de la ingeniería la corrosión se define como el deterioro de una sustancia (el metal, por ejemplo, que generalmente se toma como referencia) o de sus propiedades a causa de una reacción con el ambiente. Esta reacción puede ser química o electroquímica y dependiendo del material la corrosión se produce de diferente manera y con diferente intensidad, pero siempre se va a producir, incluso en el acero inoxidable, sobre el cual se forma una finísima capa de óxido de cromo que impide que el oxígeno de aire penetre al interior del metal y continue corroyéndolo (figura 7).

Fig. 7. Corrosión generalizada [8]

El acero AISI 304 como todos los aceros inoxidables contiene cromo y níquel en proporciones altas (18 de cromo y 8 de níquel), elementos que le dan una mayor resistencia a la corrosión, pero de igual manera es atacado por ácidos, bases y el oxígeno bajo ciertas condiciones de presión, temperatura, concentración y tiempo de exposición. En este caso en la presente investigación se estudiará el efecto de corrosivo del dióxido de carbono y del sulfuro de hidrógeno en el acero inoxidable empleado en la construcción de la columna desmetanizadora de una plata de separación del gas natural (Figura 8).

Fig.8. Corrosión localizada [10]

Corrosión por dióxido de carbono.

El dióxido de carbono es un gas que en condiciones secas es totalmente inerte, sin embargo, en presencia de la humedad del aire o del agua, reacciona con está formando ácido carbónico, el cual es corrosivo, produce corrosión generalizada o localizada principalmente en aceros al carbono, pero también sus soluciones acuosas afectan o atacan al acero inoxidable entre ellos al acero inoxidable austenítico AISI 304 con el que se construyen ciertos equipos para plantas procesadoras de gas natural [4]. La corrosión producida por el CO_2 en la técnica se denomina corrosión dulce, esta se genera en el interior de los equipos cuando existe una cantidad de agua o vapor de agua capas de permitir la disolución de este gas para ello es indispensable una cierta presión y temperatura. El comportamiento corrosivo de esta sustancia depende del nivel de la presión y el grado de temperatura, así por ejemplo a una presión tan baja como 3 psi y a la

temperatura ambiente puede generar corrosión generalizada en el metal y el adelgazamiento de los espesores.

El gas natural que alimenta la planta de separación y la columna desmetanizadora a pesar de haber pasado por el acondicionamiento, esto es, el endulzamiento, donde se retiran los gases ácidos (dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno) y por la deshidratación donde se retira el agua, aun contienen cantidades residuales de estos componentes indeseables y ellos de todas maneras van a interactuar con el metal generando corrosión, al producirse reacciones que generan hidrógeno y iones, además, el CO_2 puede reaccionar con el hierro formando carbonato ferroso ($FeCO_3$) [5]

El dióxido de carbono al reaccionar con el agua forma ácido carbónico que reacciona con el hierro formando carbonato de hierro u óxidos de hierro los cuales precipitan Las reacciones involucradas son las siguientes:

$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$

$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

$H_2CO_3 + e^- \rightarrow HCO_3 + H^+$

$2H_2CO_3 + Fe \rightarrow Fe^{2+} + HCO_3 + H^+$

$Fe^{2+} + 2HCO_3 \rightarrow FeCO_3 + CO_2 + H_2O$

La solubilidad en agua del dióxido de carbono aumenta conforme aumenta la presión y disminuye la temperatura, de esta manera la severidad del daño que se produzca depende fuertemente de estos factores. Conforme aumenta la generación de ácido carbónico el pH del agua disminuye y la acción corrosiva, así como el daño producido es mayor. Según la norma API 571 se considera que los materiales más afectados por este tipo de corrosión son: aceros al carbono y aceros de baja aleación, sin embargo, se ha podido comprobar que los aceros que según esta norma son más resistentes a la corrosión por dióxido de carbono también se ven afectados cuando se trabaja a temperaturas elevadas y a altas presiones [5]

La corrosión por dióxido de carbono en el acero inoxidable generalmente se presenta como una corrosión localizada formando cráteres en el metal y la magnitud del daño depende de la concentración no solo del dióxido de carbono, sino además de otros agentes corrosivos como los cloruros y el sulfuro de hidrógeno y además de las condiciones en la que se encuentre el metal. En la columna desmetanizadora a las temperaturas de trabajo y las presiones se genera una corrosión generalizada y también localizada. Durante el proceso de corrosión el ácido carbónico inicialmente se reduce sobre la superficie del acero, según la ecuación:

$H_2CO_3 + e^- \rightarrow H^0 + HCO_3^-$

Esta reacción es extremadamente lenta.

Sobre la superficie del acero el hidrógeno atómico tiende a combinarse con otro átomo de hidrógeno dando como resultado una molécula de hidrógeno molecular, la reacción es la siguiente:

$2H^0 \rightarrow H_2$

Esta reacción es muy rápida, casi instantánea.

Luego el carbonato ácido reacciona con los protones de hidrógeno (H^+) regenerándose nuevamente el ácido carbónico, de acuerdo con la siguiente reacción:

$HCO_3^- + H^+ \rightarrow H_2CO_3$

El proceso de corrosión por dióxido de carbono, como anteriormente se manifestó, la corrosión y la morfología del daño no son iguales a diferentes condiciones, así por ejemplo a temperaturas menores a 60°C la corrosión es homogénea, el hierro se solubiliza muy poco y por este motivo la sustancia que se genera debido a la corrosión no cubre toda la superficie del acero, la película de carbonato de hierro ($FeCO_3$) que se forma es fina y no se adsorbe en el acero. Los carbonatos a esta temperatura poseen un pH crítico superior a 5,0 a un menor pH no se forma la película estable sobre el metal. Sin embargo, el material resultante del proceso de corrosión es grueso pero falto de cohesión. A 60°C la capa de carbonato de hierro empieza a crecer sobre la superficie del acero creando sitios de alta y baja densidad electrónica, con temperatura no muy alta el crecimiento de los cristales de este material es lento y no igual, lo que da como resultado una capa gruesa y porosa de $FeCO_3$, donde los poros actúan como sitios anódicos en el proceso de corrosión, lo que inicia la formación de las picaduras [4]

Conforme aumenta la temperatura a casi 100°C se produce una máxima dilución del hierro y por lo tanto la velocidad de corrosión aumenta y la formación de picaduras se acelera haciéndose más profundas. A esta temperatura la difusión del ácido carbónico es mucho más rápida.

Corrosión por sulfuro de hidrógeno.

El sulfuro de hidrógeno (H_2S) es otro de los componentes que se presenta con frecuencia, aunque en concentraciones menores. Posee un olor desagradable y es incoloro; químicamente es más activo que el CO_2 y cuando se encuentra en altas concentraciones, al gas natural se le denomina gas agrio. Cuando en el gas natural hay tanto dióxido de carbono como sulfuro de hidrógeno, el CO_2 es predominante en las reacciones de corrosión. El sulfuro de hidrógeno al disolverse en agua forma el ácido sulfhídrico, el cual cuando reacciona con el hierro forma sulfuro de hierro. El hierro se oxida a la forma ferrosa en el ánodo y el H_2S en el cátodo, sucediéndose una disociación de dos pasos, de acuerdo con las siguientes reacciones químicas que se muestran a continuación [5]

En el ánodo se produce la siguiente reacción:

$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

Mientras que en el cátodo se producen las siguientes reacciones:

$H_2S + H_2O \rightarrow H^+ + HS^- + H_2O$

$HS^- + H_2O \rightarrow H^+ + S^{2-} + H_2O$

La reacción combinada se representa en la ecuación:

$Fe^{2+} + 2e^- + 2H^+ + S^{2-} \rightarrow 2H^0 + FeS$

La reacción neta es:

$Fe + H_2S \rightarrow 2H^0 + FeS$

Como se observa en las ecuaciones anteriores durante el proceso corrosivo se forma sulfuro de hierro (FeS), también puede existir en forma de pirita (FeS_2), piorita (Fe_7S_8) y kansita (Fe_9S_8). Una vez que se ha formado el sulfuro de hierro, este se adhiere a la superficie del acero como una película de color negro que causa corrosión localizada y el daño producido depende más que de la concentración, de las condiciones de operación del equipo: temperatura, presión concentración de sulfuro de hidrógeno y cloruros [5].

Acero inoxidable 304

También conocido como acero 18/8 o A2, es un acero inoxidable austenítico que estructuralmente está conformado por una aleación de hierro, manganeso, carbono, fósforo, silicio, sulfuro, níquel y un alto contenido en cromo (18%). Su composición permite una alta resistencia a la corrosión. Este acero además de níquel también puede contener manganeso lo que le da mayor estabilidad a altas temperaturas y también tienen buen comportamiento en condiciones criogénicas. La composición química y las propiedades físicas de este acero inoxidable se dan en las tablas siguientes [2]:

Tabla 2.1

Composición química del acero inoxidable AISI 304 y 304L

Elemento	Tipo 304	Tipo 304L
Carbón	0.07 máx.	0.030 máx.
Manganeso	2.00 máx.	2.00 máx.
Azufre	0.030 máx.	0.030 máx.
Fósforo	0.045 máx.	0.045 máx.
Silicio	0.75 máx.	0.75 máx.
Cromo	17.5 a 19.5	18,0 a 20,0
Níquel	8.0 a 10.5	8.0 a 12.0
Nitrógeno	0.10 máx.	0.10 máx.

Fuente: [6]

Tabla 2.2

Propiedades físicas del acero inoxidable AISI 304

Propiedades del Acero INOX 304	
Densidad	7.93 g/cm3
Punto de fusión	1398-1454 ℃
Calor especifico (Capacidad calorífica específica)	500 J/(Kg • K) a 20℃
Resistividad eléctrica	0.73 μΩ • m (20℃)
Permeabilidad magnética	1.02 (Aproximado)
Modulo elástico	193 GPa (28×106 psi)
Difusividad térmica	3.84 mm2/s
Coeficiente de conductividad termica	16.3 (100 ℃) 21.5 (500 ℃)
Coeficiente de dilatacion lineal	17.2 (0-100 ℃) 17.8 (0-300 ℃) 18.4 (0-500 ℃)

Fuente: [6]

2.3. Marco conceptual.

Acero:

El acero es una aleación de hierro y carbono en el cual el carbono se encuentra en concentraciones que van desde 0,008% hasta 2,11% en peso.

Acero inoxidable:

El acero inoxidable es una aleación de acero con otros elementos metálicos la cual contiene como mínimo 10,5% de cromo. Estos aceros contienen como máximo 1,2% en peso de carbono.

Corrosión

Es un proceso de degradación de ciertos materiales, como consecuencia de una reacción química o electroquímica con el medio ambiente.

Corrosión química.

Se produce cuando un material reacciona con un fluido corrosivo, hasta disolverse por completo o hasta saturar el líquido.

Corrosión intergranular:

Corrosión que ocurre de preferencia en las fronteras de los granos.

Metano

El metano es uno de los gases que conforman el gas natural, de fórmula química CH_4, físicamente es un gas incoloro e inodoro; químicamente es un combustible muy inflamable.

Columna de destilación.

Las torres o columnas de destilación son recipientes sometidos a presión en donde se produce la separación de los diversos componentes que conforman la corriente de alimentación. El

principio de funcionamiento se basa en la diferencia entre las temperaturas de evaporación de cada una de las sustancias y su volatilidad.

Fraccionamiento

Operación unitaria de separación a la que es sometida las sustancia multicomponentes para en función a su temperatura de ebullición de cada uno de los componentes poder separarlas.

2.4. Estrategia metodológica.

La presente investigación por su tipo es aplicada ya que busca una solución al problema de la corrosión que se genera en las columnas desmetanizadoras debido a la presencia de dióxido de carbono y de sulfuro de hidrógeno que cuando están en presencia de agua se combinan con ella y se vuelven corrosivos, atacando las estructuras metálicas de las pantas procesadoras de gas natural. Por su nivel es una investigación explicativa, ya que busca la relación entre ambas variables de estudio. Por su diseño es una investigación experimental donde se manipula la variable independiente: concentración del dióxido de carbono y del sulfuro de hidrógeno. La población del estudio estuvo conformada por todas las columnas desmetanizadoras de las plantas de separación del gas natural; mientras que la muestra estuvo conformada por probetas de acero representadas por unas planchas de acero inoxidable AISI 304 de 10 x 10 cm, las cuales serán sometidas a las condiciones a las cuales trabaja la columna desmetanizadora para estudiar el efecto corrosivo de ambos gases (dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno).

Las técnicas empleadas son las analíticas y los instrumentos los ensayos de laboratorio. Los datos obtenidos serán clasificados, tabulados, interpretados y discutidos de acuerdo con resultados obtenidas por otras investigaciones.

2.5. Desarrollo experimental.

2.5.1. Generalidades.

Para el desarrollo experimental de esta tesis se ha tomado en cuenta ciertas características de las sustancias que son empleadas para determinar la velocidad de corrosión del acero inoxidable AISI 304, las cuales son el dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno. Químicamente hablando ambos gases no ejercen acción corrosiva si están totalmente anhidras, su actividad corrosiva se da cuando ellas tienen contacto con el agua o la humedad en la cual se disuelven formando los respectivos ácidos: ácido carbónico y ácido sulfhídrico.

Respecto al dióxido de carbono (CO_2) este gas se disuelve con mayor facilidad y en mayor cantidad cuando la presión es mayor a la presión atmosférica, por tal motivo se ha optado por emplear agua carbonatada, la cual tiene este gas inyectado a una presión de 2 a 6 bares, que son presiones que permiten una mayor disolución del gas.

Ensayos con el dióxido de carbono (ácido carbónico)

En este caso se empleó un frasco boca ancha (Figura 10) de cierre hermético en el cual se colocó siete cintas de acero inoxidable AISI 304 (figura 9) cuyas dimensiones son: 3 cm de ancho x 10

cm de largo x 2 mm de espesor. Estas placas estuvieron inmersas en el agua carbonatada durante 168 horas (7 días).

Cada una de las láminas de acero inoxidable, tenían pesos diferentes los cuales fueron debidamente registrados. Previamente a las pesadas el metal se limpia de tal forma que quede su superficie totalmente reluciente, después de lo cual se coge con una pinza y se coloca dentro del frasco, de tal forma que las cuatro cintas estén separadas adecuadamente y luego se vierte el agua carbonatada y se tapa herméticamente.

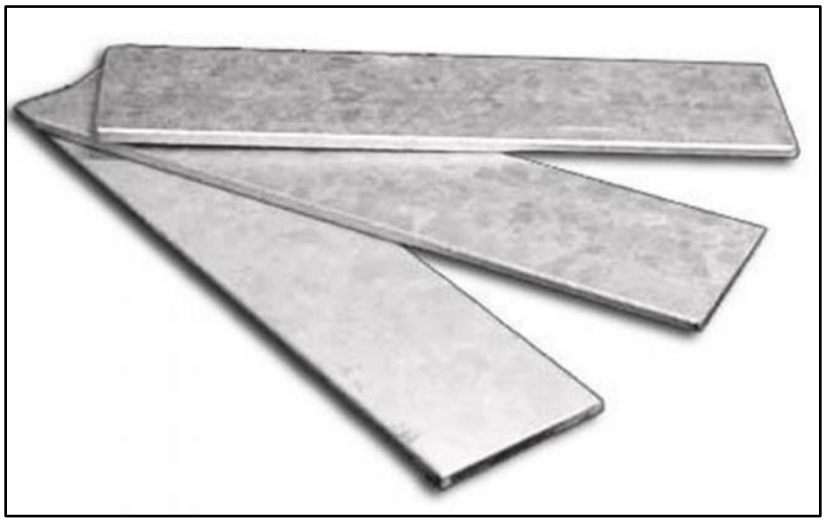


Fig. 9. Cintas de acero inoxidable AISI 304 [4]

Fig.10. Frasco boca ancha con cierre hermético [5]

Ensayos con el sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico)

Para el ensayo con este gas previamente se prepararon dos tapers de vidrio con tapa plástica (figura 12) segura, cuadrados de 500 mL de capacidad donde se puede poner cuatro planchas de metal (figura 11) de 8cm x 8cm x 2 mm suspendidas por tabiques plásticos a fin de que las dos superficies tengan contacto directo con el ácido. En otro taper similar se ponen tres planchas más. Después de limpiarlas y dejar su superficie reluciente, se pesaron en balanza analítica y se registraron los pesos, luego de poner los tabiques en los tapers se colocan las planchas de acero inoxidable AISI 304 con una pinza, se vierte el ácido hasta que las planchas estén totalmente cubiertas por el ácido y se tapa, dejándolos en reposo por 168 horas (7 días).

Fig. 11. Plancha de acero inoxidable AISI 304 [4]

Fig. 12. Taper de vidrio [4]

Para generar el ácido sulfhídrico se procedió de la siguiente manera: en un tubo de ensayo de 1,5 cm x 20 cm con tapón mono horadado con tubo de desprendimiento se colocó 3 gramos de sulfuro de hierro y se echó en el 10 mL de ácido clorhídrico luego se tapó y el extremo del tubo de desprendimiento se coloca dentro del taper que contiene 500 mL de agua de tal manera que durante la reacción del ácido con el sulfuro de hierro, el gas resultante (sulfuro de hidrógeno burbujeo en el agua formando el ácido sulfhídrico, según la reacción:

$FeS + 2HCl \rightarrow H_2S + FeCl_2$

Las pruebas experimentales consistieron en ir evaluando diariamente la pérdida de peso en las probetas de acero inoxidable que se pusieron dentro de los recipientes con los ácidos correspondientes, para ello cada 24 horas se retiraba una muestra, se lavaba, se limpiaba la herrumbre y se secaba para finalmente pesar la muestra y determinar por diferencia de peso la pérdida de material.

Determinación de la velocidad de corrosión

(Método gravimétrico)

Preparación de los materiales.

De una plancha de acero inoxidable comercial, con una cizalla se corta en las dimensiones requeridas para los ensayos (figura 13). Cuatro muestras (probetas) para cada tipo de prueba (con cada uno de los ácidos).

Limpieza inicial.

Con el fin de eliminar cualquier tipo de suciedad, especialmente con la finalidad de eliminar las manchas de grasa y el óxido, se lleva a cabo una exhaustiva limpieza hasta dejar la superficie del metal brillante, para ello se emplea lija, trapos con solventes, agua con jabón líquido, etc. Luego se secan en el desecador o frotando papel toalla sobre su superficie.

Pesada.

Las muestras secan se retiran del desecador donde han permanecido por 30 minutos como mínimo, y se pesan en balanza analítica, con una aproximación de 0,0001 g. Para colocar las muestras en la balanza se debe de emplear pinzas. El peso de cada una de las muestras debe de registrarse en el cuaderno de anotaciones de laboratorio.

Inmersión.

Las muestras limpias se sumergen en los ácidos tal como se ha descrito anteriormente y se dejan allí por 7 días para ambos casos (figura 14).

Limpieza final

Concluidos los días de prueba se retiran las muestras de los baños y se observa que ha sucedido en las superficies, se lavan luego, se lijan si se forma óxido y se secan muy bien en desecador.

Pesada final.

Las muestras limpias y secas se vuelven a secar para calcular la diferencia y luego con la fórmula siguiente hacer el cálculo de la velocidad de corrosión (VC):

$VC = (K \times W)/(AxTxD)$,

Donde:

$K = 3{,}45 \times 10^6$

W - Pérdida de masa, g

A – Área de la probeta, cm^2

T – Tiempo en horas

D – Densidad del acero, g/mL.

Otra fórmula para el calculo de la velocidad de corrosión (VC)es la siguiente:

VC = (Mi – Mf) / (d x A x T)

Donde: VC – Velocidad de corrosión

Mi – Peso inicial, mg

Mf - Peso final, mg

D – Densidad del material, mg/mm^3

A – Área de exposición, mm^2

T - Tiempo de exposición (años)

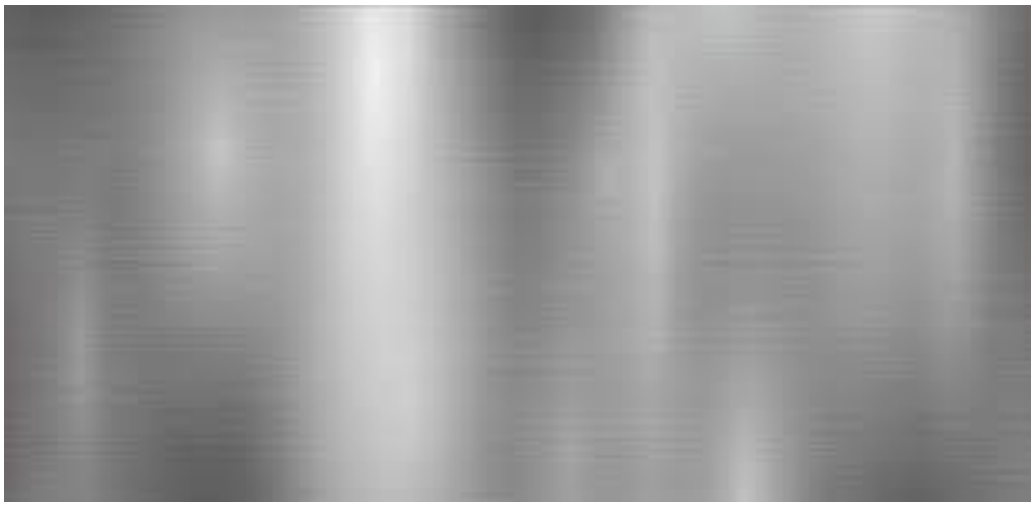
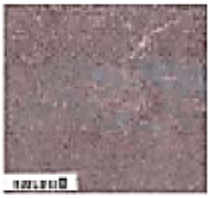


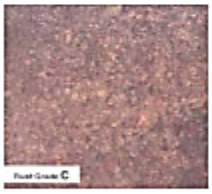
Fig.13. Probeta de acero inoxidable AISI 304 antes del ensayo [7]

Fig. 14. Superficie de la probeta de acero inoxidable AISI 304 después de 7 días de prueba de corrosión [7]

Grado A Superficie de acero con la capa de laminación intacta en toda la superficie y prácticamente sin corrosión.

Grado B Superficie de acero con principio de corrosión y en la cual la capa de laminación comienza a despegarse.





Grado C Superficie de acero en donde la capa de laminación ha sido eliminada por la corrosión o la capa de laminación puede ser eliminada por raspado, pero en la cual no se han formado en gran escala cavidades visibles.

Grado D Superficie de acero en donde la capa de laminación ha sido eliminada por la corrosión y se han formado en gran escala cavidades visibles.

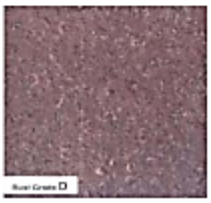


Fig. 15. Grados de corrosión del acero inoxidable AISI 304 [4]

III. RESULTADOS

3.1. Resultados obtenidos de los ensayos con el acero inoxidable AISI 304 y el ácido carbónico.

Tabla 3.1

Peso inicial de las cintas de acero AISI 304

(3 cm x 10 cm x 2 mm)

N° de la probeta	Peso registrado, g
01	49,5485
02	49,5527
03	49,5563
04	49,5425
05	49,5552
06	49,5581
07	49,5474

Fuente: Datos experimentales

La tabla 3.1. muestra el resultado del pesaje de las probetas o muestras de acero inoxidable AISI 304 que tienen la forma de cintas con dimensiones de 3 cm de ancho por 10 cm de largo y 2 mm de espesor, usadas para llevar a cabo los ensayos de corrosión con ácido carbónico, como se puede observar estas cintas de acero tienen un peso variado que va desde 49,5425 g hasta 49,5581 g.

Tabla 3.2

Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304

después de 24 horas de exposición al ácido carbónico

N° de probeta	Peso inicial, g	Peso final, g	Peso perdido, g
01	49,5485	49,5484	0,0001
02	49,5527	49,5526	0,0001
03	49,5563	49,5562	0,0001
04	49,5425	49,5424	0,0001
05	49,5552	49,5550	0,0002
06	49,5581	49,5579	0,0002
07	49,5474	49,5473	0,0001
Promedio semanal, g			0,0001

Fuente: Datos experimentales

La tabla 3.2 muestra la variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 sumergidas en ácido carbónico durante 24 horas, como se observa la variación del peso en promedio semanal es de 0,0001 g.

Tabla 3.3

Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304

después de 48 horas de exposición al ácido carbónico

N° de probeta	Peso inicial, g	Peso final, g	Peso perdido, g
01	49,5485	49,5482	0,0003
02	49,5527	49,5525	0,0002
03	49,5563	49,5560	0,0003
04	49,5425	49,5422	0,0003
05	49,5552	49,5549	0,0003
06	49,5581	49,5578	0,0003
07	49,5474	49,5471	0,0003
Promedio semanal, g			0,0003

Fuente: Datos experimentales

La tabla 3.3 muestra la variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 sumergidas en ácido carbónico durante 48 horas, como se observa la variación del peso en promedio semanal es de 0,0003 g.

Tabla 3.4

Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304

después de 72 horas de exposición al ácido carbónico

N° de probeta	Peso inicial, g	Peso final, g	Peso perdido, g
01	49,5485	49,5480	0,0005
02	49,5527	49,5522	0,0005
03	49,5563	49,5559	0,0004
04	49,5425	49,5421	0,0004
05	49,5552	49,5547	0,0005
06	49,5581	49,5576	0,0005
07	49,5474	49,5469	0,0005
Promedio semanal, g			0,0005

Fuente: Datos experimentales

La tabla 3.4 muestra la variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 sumergidas en ácido carbónico durante 72 horas, como se observa la variación del peso en promedio semanal es de 0,0005 g.

Tabla 3.5

Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304

después de 96 horas de exposición al ácido carbónico

N° de probeta	Peso inicial, g	Peso final, g	Peso perdido, g
01	49,5485	49,5478	0,0007
02	49,5527	49,5521	0,0006
03	49,5563	49,5556	0,0007
04	49,5425	49,5418	0,0007
05	49,5552	49,5544	0,0008
06	49,5581	49,5574	0,0007
07	49,5474	49,5466	0,0008
Promedio semanal, g			0,0007

Fuente: Datos experimentales

La tabla 3.5 muestra la variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 sumergidas en ácido carbónico durante 96 horas, como se observa la variación del peso en promedio semanal es de 0,0007 g.

Tabla 3.6

Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304

después de 120 horas de exposición al ácido carbónico

N° de probeta	Peso inicial, g	Peso final, g	Peso perdido, g
01	49,5485	49,5475	0,0010
02	49,5527	49,5518	0,0009
03	49,5563	49,5552	0,0009
04	49,5425	49,5414	0,0011
05	49,5552	49,5542	0,0010
06	49,5581	49,5572	0,0009
07	49,5474	49,5462	0,0012
Promedio semanal, g			0,0010

Fuente: Datos experimentales

La tabla 3.6 muestra la variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 sumergidas en ácido carbónico durante 120 horas, como se observa la variación del peso en promedio semanal es de 0,0010 g.

Tabla 3.7

Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304

después de 144 horas de exposición al ácido carbónico

N° de probeta	Peso inicial, g	Peso final, g	Peso perdido, g
01	49,5485	49,5471	0,0014
02	49,5527	49,5515	0,0012
03	49,5563	49,5549	0,0014
04	49,5425	49,5410	0,0015
05	49,5552	49,5539	0,0013
06	49,5581	49,5568	0,0013
07	49,5474	49,5459	0,0015
Promedio semanal, g			0,0014

Fuente: Datos experimentales

La tabla 3.7 muestra la variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 sumergidas en ácido carbónico durante 144 horas, como se observa la variación del peso en promedio semanal es de 0,0014 g.

Tabla 3.8

Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304

después de 168 horas de exposición al ácido carbónico

N° de probeta	Peso inicial, g	Peso final, g	Peso perdido, g
01	49,5485	49,5466	0,0019
02	49,5527	49,5511	0,0016
03	49,5563	49,5544	0,0019
04	49,5425	49,5406	0,0019
05	49,5552	49,5532	0,0019
06	49,5581	49,5563	0,0018
07	49,5474	49,5454	0,0020
Promedio semanal, g			0,0019

Fuente: Datos experimentales

La tabla 3.8 muestra la variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 sumergidas en ácido carbónico durante 168 horas, como se observa la variación del peso en promedio semanal es de 0,0018 g.

Tabla 3.9

Variación de la pérdida de peso de las muestras de acero inoxidable AISI 304 con relación al tiempo de exposición al ácido carbónico

Tiempo, horas	Peso perdido, g
24	0,0001
48	0,0003
72	0,0005
96	0,0007
120	0,0010
144	0,0014
168	0,0019

Fuente: Datos de las tablas 3.3 – 3.8

La tabla 3.9 muestra los resultados comparativos de la variación del peso de las muestras de acero inoxidable AISI 304 con relación a las horas de exposición al ácido carbónico, como se observa conforme aumentan las horas de exposición es mayor la pérdida de peso, hay una variación que va desde 0,0001 g en 24 horas hasta 0,0019 g en 168 horas (7 días)

3.2. Resultados obtenidos de los ensayos con el acero inoxidable AISI 304 y el ácido sulfhídrico.

Tabla 3.10

Peso inicial de las planchas de acero AISI 304

(8 cm x 8 cm x 2 mm)

N° de la probeta	Peso registrado, g
01	106,6743
02	106,6745
03	106,6740
04	106,6746
05	106,6738
06	106,6747
07	106,6749

Fuente: Datos experimentales

La tabla 3.10 muestra el resultado del pesaje de las probetas o muestras de acero inoxidable AISI 304 que tienen la forma de pequeñas panchas con dimensiones de 8 cm de ancho por 8 cm de largo y 2 mm de espesor, usadas para llevar a cabo los ensayos de corrosión con ácido sulfhídrico, como se puede observar estas planchas de acero tienen un peso variado que va desde 106,6738 g hasta 106,6749 g.

Tabla 3.11

Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304

después de 24 horas de exposición al ácido sulfhídrico

N° de probeta	Peso inicial, g	Peso final, g	Peso perdido, g
01	106,6743	106,6740	0,0003
02	106,6745	106,6742	0,0003
03	106,6740	106,6736	0,0004
04	106,6746	106,6743	0,0003
05	106,6738	106,6735	0,0003
06	106,6747	106,6745	0,0002
07	106,6749	106,6746	0,0003
Promedio semanal, g			0,0003

Fuente: Datos experimentales

La tabla 3.11 muestra la variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 cuyas dimensiones son: 8 cm x 8cm x 2 mm, sumergidas en ácido sulfhídrico durante 24 horas, como se observa la variación del peso en promedio semanal es de 0,0003 g.

Tabla 3.12

Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304

después de 48 horas de exposición al ácido sulfhídrico

N° de probeta	Peso inicial, g	Peso final, g	Peso perdido, g
01	106,6743	106,6737	0,0006
02	106,6745	106,6739	0,0006
03	106,6740	106,6732	0,0008
04	106,6746	106,6740	0,0006
05	106,6738	106,6731	0,0007
06	106,6747	106,6742	0,0005
07	106,6749	106,6742	0,0007
Promedio semanal, g			0,0006

Fuente: Datos experimentales

La tabla 3.12 muestra la variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 cuyas dimensiones son: 8 cm x 8cm x 2 mm, sumergidas en ácido sulfhídrico durante 48 horas, como se observa la variación del peso en promedio semanal es de 0,0006 g.

Tabla 3.13

Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304

después de 72 horas de exposición al ácido sulfhídrico

N° de probeta	Peso inicial, g	Peso final, g	Peso perdido, g
01	106,6743	106,6734	0,0009
02	106,6745	106,6733	0,0012
03	106,6740	106,6728	0,0012
04	106,6746	106,6736	0,0010
05	106,6738	106,6727	0,0011
06	106,6747	106,6738	0,0009
07	106,6749	106,6737	0,0012
Promedio semanal, g			0,0011

Fuente: Datos experimentales

La tabla 3.13 muestra la variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 cuyas dimensiones son: 8 cm x 8cm x 2 mm, sumergidas en ácido sulfhídrico durante 72 horas, como se observa la variación del peso en promedio semanal es de 0,0011 g.

Tabla 3.14

Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304

después de 96 horas de exposición al ácido sulfhídrico

N° de probeta	Peso inicial, g	Peso final, g	Peso perdido, g
01	106,6743	106,6729	0,0014
02	106,6745	106,6730	0,0015
03	106,6740	106,6724	0,0016
04	106,6746	106,6730	0,0016
05	106,6738	106,6721	0,0017
06	106,6747	106,6732	0,0015
07	106,6749	106,6731	0,0018
Promedio semanal, g			0,0016

Fuente: Datos experimentales

La tabla 3.14 muestra la variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 cuyas dimensiones son: 8 cm x 8cm x 2 mm, sumergidas en ácido sulfhídrico durante 96 horas, como se observa la variación del peso en promedio semanal es de 0,0016 g.

Tabla 3.15

Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304

después de 120 horas de exposición al ácido sulfhídrico

N° de probeta	Peso inicial, g	Peso final, g	Peso perdido, g
01	106,6743	106,6722	0,0020
02	106,6745	106,6723	0,0022
03	106,6740	106,6718	0,0022
04	106,6746	106,6723	0,0023
05	106,6738	106,6716	0,0022
06	106,6747	106,6727	0,0020
07	106,6749	106,6725	0,0024
Promedio semanal, g			0,0022

Fuente: Datos experimentales

La tabla 3.15 muestra la variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 cuyas dimensiones son: 8 cm x 8cm x 2 mm, sumergidas en ácido sulfhídrico durante 120 horas, como se observa la variación del peso en promedio semanal es de 0,0022 g.

Tabla 3.16

Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304

después de 144 horas de exposición al ácido sulfhídrico

N° de probeta	Peso inicial, g	Peso final, g	Peso perdido, g
01	106,6743	106,6717	0,0026
02	106,6745	106,6719	0,0026
03	106,6740	106,6713	0,0027
04	106,6746	106,6720	0,0026
05	106,6738	106,6713	0,0025
06	106,6747	106,6720	0,0027
07	106,6749	106,6719	0,0030
Promedio semanal, g			0,0027

Fuente: Datos experimentales

La tabla 3.16 muestra la variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 cuyas dimensiones son: 8 cm x 8cm x 2 mm, sumergidas en ácido sulfhídrico durante 144 horas, como se observa la variación del peso en promedio semanal es de 0,0027 g.

Tabla 3.17

Variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304

después de 168 horas de exposición al ácido sulfhídrico

N° de probeta	Peso inicial, g	Peso final, g	Peso perdido, g
01	106,6743	106,6711	0,0032
02	106,6745	106,6711	0,0034
03	106,6740	106,6707	0,0033
04	106,6746	106,6713	0,0033
05	106,6738	106,6706	0,0032
06	106,6747	106,6715	0,0032
07	106,6749	106,6716	0,0033
Promedio semanal, g			0,0033

Fuente: Datos experimentales

La tabla 3.17 muestra la variación del peso de las probetas de acero inoxidable AISI 304 cuyas dimensiones son: 8 cm x 8cm x 2 mm, sumergidas en ácido sulfhídrico durante 168 horas, como se observa la variación del peso en promedio semanal es de 0,0033 g.

Tabla 3.18

Variación de la pérdida de peso de las muestras de acero inoxidable AISI 304 con relación al tiempo de exposición al ácido sulfhídrico

Tiempo, horas	Peso perdido, g
24	0,0003
48	0,0006
72	0,0011
96	0,0016
120	0,0022
144	0,0027
168	0,0033

Fuente: Datos de las tablas 3.11 – 3.17

La tabla 3.18 muestra los resultados comparativos de la variación del peso de las muestras de acero inoxidable AISI 304 con relación a las horas de exposición al ácido sulfhídrico, como se observa conforme aumentan las horas de exposición es mayor la pérdida de peso, hay una variación que va desde 0,0003 g en 24 horas hasta 0,0033 g en 168 horas (7 días)

IV. DISCUSIÓN

La parte experimental de esta investigación se ha desarrollado en condiciones similares a las que se ve expuesto el metal en la columna desmetanizadora para estudiar el efecto de la concentración del dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno, se ha trabajado con agua carbonatada la cual es envasada aproximadamente a 6 atmósferas de presión, lo que indica una alta concentración de este gas el cual bajo alta presión aumenta su solubilidad en agua y su capacidad para formar ácido carbónico, que es en realidad la sustancia de acción corrosiva. Se ha podido establecer que el ácido carbónico tiene una acción menos agresiva sobre el acero inoxidable AISI 304, el cual contiene un 18% de cromo y un (% de níquel, elementos metálicos los cuales le dan una gran resistencia a la oxidación. Como en todos los aceros inoxidables el cromo presente forma e la superficie de la plancha de acero una película fina (aproximadamente 5 capas moleculares) que impiden que las sustancias corrosivas como el oxígeno no pueda penetrar en el metal. En el caso de las condiciones de una columna de destilación, como es la columna desmetanizadora (columna que tiene por finalidad separar en el parte superior el metano y en la parte inferior el etano y los demás hidrocarburos que constituyen los líquidos del gas natural. El metano que sale del tope de la columna es el gas natural seco y se emplea como combustible para vehículos, para cocinas y para la industria, además de poder comprimirse para convertirlo en gas natural licuado (GNL).

El gas natural que alimenta esta columna a pesar de haber pasado por una serie de procesos denominados acondicionamiento, en donde se separa los gases ácidos (dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno) y el vapor de agua, sin embargo, una cierta cantidad residual de estos queda en el gas natural y que va a causar una serie de efectos negativos en los equipos como la corrosión y la formación de los hidratos del gas natural, ambos altamente peligroso para los equipos de la planta. Cuando los gases ácidos se encuentran con el vapor de agua se convierten en los respectivos ácidos carbónico y sulfhídrico atacando en forma continua las paredes internas de la columna, generado corrosión.

La alta concentración de estos gases en una solución se pone en contacto con placas de acero inoxidable a temperatura ambiente, en recipientes que en cierta medida están aislados del oxígeno del aire, a pesar de un tiempo pequeño de ensayo, causan efecto sobre la superficie de la probeta generando inicialmente unos puntos de color negro o una coloración casi amarillenta o marrón muy claro, lo que indica que si hay corrosión. Las pruebas experimentales indican que el ácido carbónico es menos agresivo que el ácido sulfhídrico, este último es un ácido que ataca con mayor facilidad al hierro y sus aleaciones generando corrosión

La corrosión de mayor frecuencia sobre las probetas de acero inoxidable AISI 304, es la corrosión superficial y la corrosión localizada. El efecto es superficial, apareciendo como manchas irregulares que conforme pasa el tiempo de exposición se va poniendo rojizo, la pérdida de peso es mínima en el orden de las 10 milésimas, que poco a poco se va haciendo mayor, a los siete días ya es muy evidente sobre el metal.

En cuanto a los resultados obtenidos en la parte experimental de la tesis, se diferencian de los resultados obtenidos por los autores de las tesis revisadas ya que, las condiciones en las que se han desarrollado estas pruebas no corresponden a la de los autores consultados. Las condiciones de nuestro laboratorio a obligado al autor a modificar los métodos para determinar la corrosión del acero AISI 304. Para hacer comparaciones de resultados es preciso trabajar en laboratorios que ofrecen todas las ventajas para realizar experimentos estándares, los cuales permiten compara resultados con una diferencia de 0,2%, lo cual no lo permite nuestros laboratorios. Sin embargo, queremos recalcar que se han hecho los esfuerzos necesarios para obtener datos confiables que permiten determinarla velocidad de corrosión con mucha precisión como para hacerla reproducible.

V. CONCLUSIONES

1. Se ha determinado experimentalmente que la concentración del sulfuro de hidrógeno y del dióxido de carbono influye directamente en el nivel de corrosión del acero AISI 304 empleado en la construcción de la columna desmetanizadora.
2. La mayor presión a la que se encuentra el dióxido de carbono permite una mayor disolución de este en el agua formando una mayor cantidad de ácido carbónico el cual ejerce una elevada acción corrosiva sobre el acero inoxidable AISI 304. En concreto la acción corrosiva del ácido carbónico es mayor conforme aumenta la presión.
3. Se ha podido determinar que el nivel de corrosión del acero inoxidable AISI 304 es alta en condiciones de una elevada concentración del sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono en presencia de agua, que son las mismas condiciones que se suceden en la columna desmetanizadora.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda implementar en la planta de separación un sistema tecnológico o químico que permita disminuir al mínimo la concentración de los gases ácidos en el gas natural a fin de evitar el deterioro por corrosión de la estructura metálica de los equipos. El sistema tecnológico podría consistir en un desalador adicional que trate a las mismas condiciones que el primario el gas natural con una salmuera nueva.
2. Se recomienda utilizar el acero inoxidable AISI 304L en las partes sensibles de la columna como son el tope y la parte inferior donde tienen un contacto mayor con las sustancias corrosivas para darle una mayor resistencia a la columna y así aumentar su vida útil.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.

[1] E. Ojeda y R. Hing, "Estudio de la corrosión de la torre de destilación atmosférica de la refinería "Hermanos Díaz" de Santiago de Cuba, Artículo, Cuba, Revista Cubana de Química, vol. XVIII, núm. 1, 2006, pp. 79-87

[2] J. Chavarría, "Análisis de la rapidez de desgaste en torres de destilación ", Tesis, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2013

[3] P. Meza, "Evaluación de la velocidad de corrosión de un acero AISI SAE 1020 bajo un ambiente de salmuera-CO2-H2S a altas presiones". Artículo, Colombia, Centro de Investigación del Gas y Petróleo,

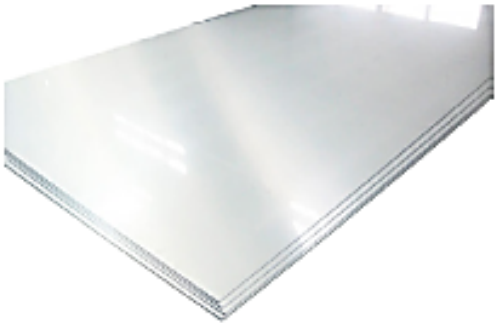
[4] A. Ácaro, Mejora en los Procesos y operaciones de los sistemas de tratamiento de crudo en la batería 3 lote 8", Tesis, Perú, Universidad Nacional de Piura, 2020.

[5] Cl. Guerra, "Estudio de la corrosión atmosférica sobre dos tipos de acero de bajo carbono en instalaciones industriales petroleras cercanas al mar en el nor oeste del Perú", Tesis, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2014.

[6] Raichev R, Veleva L, Valdez B. Corrosión de metales y degradación de materiales. Manual, Estados Unidos, Universidad Autónoma de Baja California. 2009.

[7] Centro Nacional para el Desarrollo del Acero Inoxidable, Técnico especializado en acero inoxidable, San Luis Potosí, SLP: CENDI.

Planchas de Acero Inoxidable ASTM A240, calidad 304, 316 y 430



PLANCHAS DE ACERO INOXIDABLE A240 / A480

Planchas de acero inoxidables calidad 304, 316 y 430; para uso petroquímico, industrial, equipamiento médico, utensilios de cocina, etc.

Anchos de 4' (1200 mm) y 5' (1500 mm).

Largos de 8' (2400 mm) y 10' (3000 mm).

Materiales: ASTM A240, A480

Resistentes a la corrosíon y la oxidación.
Acabados 2B, Nº1 y Nº4

Se mide en espesor x ancho x largo

Características de Acabados:

2B Laminado en frío, recogido y decapado. Conocido como acabado MATE.

Nº1 Laminado en caliente, recogido y decapado. Conocido como acabado INDUSTRIAL.

Nº4 Pulido con cintas abrasivas de grano 150 a 400. conocido como acabado SATINADO.

Espesor		Peso Teórico (Kg)	
pulg	mm	4' x 8'	5' x 10'
	0.3	7.14	11.15
1/64	0.4	9.53	14.86
1/54	0.45	10.72	16.72
1/48	0.50	11.91	18.58
	0.55	13.09	20.44
1/40	0.6	14.29	22.30
	0.7	16.67	26.01
1/32	0.8	19.05	29.73
1/27	0.9	21.43	33.45
1/20	1.2	28.58	44.59
1/16	1.5	35.72	55.74
5/64	2.0	47.57	74.32
3/32	2.5	59.45	92.90
1/8	3.0	71.35	111.48
	3.5	83.24	130.26
5/32	4.0	95.13	148.64
3/16	4.76	113.21	176.89
1/4	6.35	151.02	235.97
3/8	9.53	226.65	354.15
1/2	12.70	302.05	471.95
5/8	15.00	356.75	557.42
	18.00	428.10	668.90
3/4	19.05	453.07	707.92
1	25.40	604.09	943.89
1 1/4	31.75	755.12	1179.87
1 1/2	38.10	906.14	1415.84
2	50.80	1208.19	1887.79

FICHA TECNICA
ACERO INOXIDABLE
304 / 304L

Aceros Inoxidables	Normas		
	AISI	W. Nr.	DIN
Austeníticos	304 304L	1.4301 1.4306	X5CrNi18-10 X2CrNi19-11

Aplicaciones

Debido a su buena resistencia a la corrosión, conformado en frío y soldabilidad, este acero es usado extensivamente para la fabricación de utensilios domésticos, lavavajillas, cuchillería, bienes de consumo, arquitectura e industria automotriz. Además, es utilizado en la construcción de estructuras y/o contenedores para las industrias procesadoras de leche, cerveza, vino, alimentos, etc. así como en la industria química de producción del nitrógeno. Para la calidad 304L (bajo contenido de carbono) se puede aplicar en la producción de ácido nítrico, industria farmacéutica e ingeniería nuclear.

Composición Química (Valores Promedio, %)

Tipo Acero	C	Cr	Ni
AISI 304	≤0,07	17 - 19,5	8 - 10,5
AISI 304L	≤0,03	18 - 20	10 - 12

Características del Acero

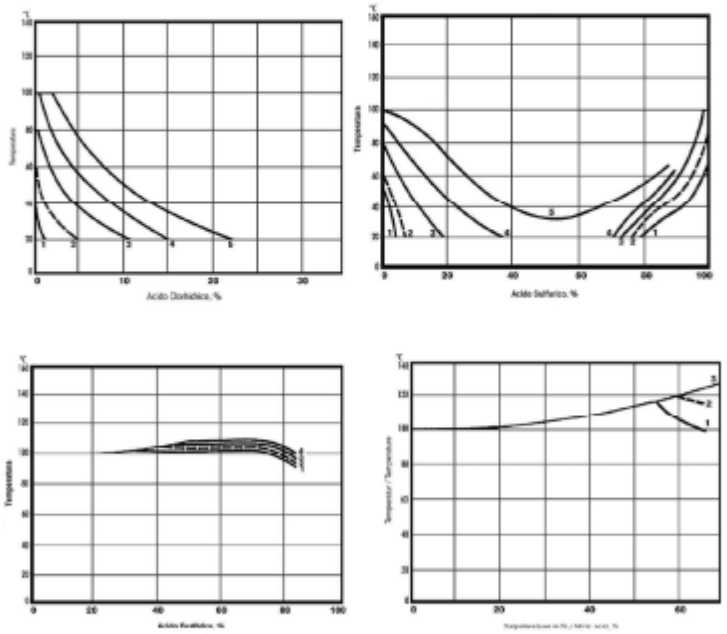
Acero inoxidable austenítico, aleado con Cr y Ni y bajo contenido de C que presenta una buena resistencia a la corrosión. En la condición de suministro resiste a la corrosión intergranular en el rango de hasta 300°C y 350° C para la calidad 304L. No se requiere un tratamiento posterior al proceso de soldadura; tiene propiedades para embutido profundo, no es templable ni magnético.

Puede ser fácilmente trabajado en frío (p.ej. doblado, cilindrado, embutido profundo, etc.). Sin embargo, el alto grado de endurecimiento que alcanza por trabajo en frío, comparado con aceros de baja aleación, hacen requerir de mayores

esfuerzos para su proceso de conformado.

Resistencia a la corrosión.

En los diagramas se observan las pérdidas de peso, determinadas experimentalmente para diferentes probetas atacadas con concentraciones variables para distintos ácidos en función de la temperatura. Las curvas representan la pérdida de peso de 0,1 0,3 1,0 3,0 y 10,0 gr/m^2·Hr. Generalmente una pérdida de peso de 0,3 gr/m^2·hr (línea segmentada) se considera en el límite para ser considerado económicamente viable un acero inoxidable.



Curva	Pérdida de peso
1	0,1 gr/m^2·hr.
2	0,3 gr/m^2·hr.
3	1,0 gr/m^2·hr.
4	3,0 gr/m^2·hr.
5	10,0 gr/m^2·hr.

Propiedades del Acero

Propiedades mecánicas

Temperatura ambiente

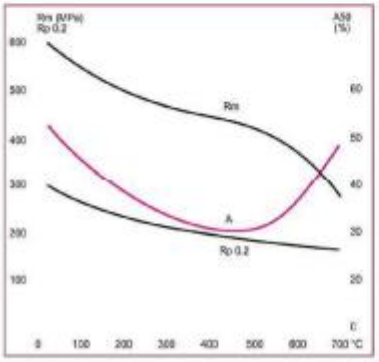
Tipo Acero	Rango de dimensiones	Límite Elástico 0,2% ($R_{p\,0,2}$) min. N/mm²	Resistencia a la tracción (R_m) N/mm²	Elongación (A_5) min. %
304	Laminado en frío e ≤ 6 mm.	≥ 230	540 - 750	≥ 45
	Laminado en caliente e ≤ 6 mm.	≥ 210	520 - 720	≥ 45
304L	Laminado en frío e ≤ 6 mm.	≥ 220	520 - 670	≥ 45
	Laminado en caliente e ≤ 6 mm.	≥ 200	520 - 670	≥ 45

Temperatura variable

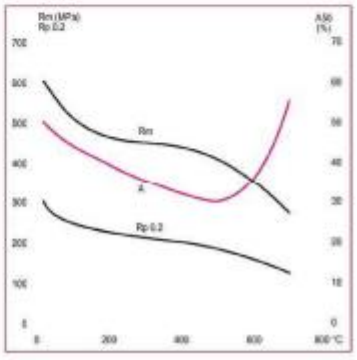
Tipo Acero	Temperatura °C	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
304	Límite elástico 0,2% ($R_{p\,0,2}$) min. N/mm²	157	142	127	118	110	104	98	95	92	90
304L		147	132	118	108	100	94	89	85	81	80

Efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas

AISI 304

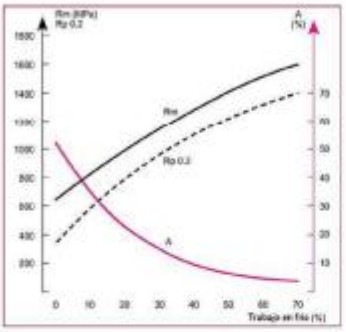


AISI 304L

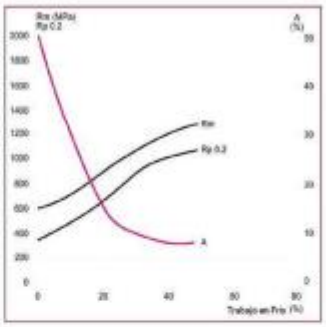


Efecto de trabajo en frío en las propiedades mecánicas

AISI 304



AISI 304L



Propiedades fisicas

Densidad a 20ºC kg/dm^3	Conductividad Térmica 20 ºC W·m $^{-1}$·K^{-1}	Calor Específico 20ºC J·kg^{-1}K^{-1}	Resistencia Eléctrica 20ºC Ω·mm^2/m
7,9	15	500	0,73

Modulo de elasticidad kN/mm^2

20ºC	100º C	200ºC	300º C	400ºC	500º C
200	194	186	179	172	165

Coeficiente de expansión térmica in 10^{-6} · K^{-1} entre 20 ºC y

	100 ºC	200 ºC	300 ºC	400 ºC	500 ºC
	16	17	17	18	18

Catálogo Comercial

Tratamiento Térmico

Trabajo en caliente °C	Enfriamiento	Tratamiento térmico °C	Enfriamiento	Estructura
1150 - 850	aire	1000 – 1100	Agua, aire forzado.	Austenita con un contenido menor de ferrita

Recomendaciones sobre mecanizado

Los parámetros de corte que se encuentran a continuación deben ser considerados como valores guía. Estos valores deberán adaptarse a las condiciones locales existentes.

TORNEADO

Parámetros de corte	Torneado con metal duro		Torneado con acero rápido
	Torneado de desbaste	Torneado fino	Torneado fino
Velocidad de corte (vc) m/min.	170 -145	160 - 210	25 - 45
Avance (f) mm/r	0,2 - 0,4	0,1 - 0,2	0,1 - 0,5
Profundidad de corte (ap) mm.	1 - 4	0,5 - 1	0,5 - 3
Mecanizado grupo ISO	M20 - M30	M10	-

Fresado con metal duro

Parámetros de corte	Fresado con metal duro	
	Fresado de desbaste	Fresado en fino
Velocidad de corte(vc) m/min.	60 - 120	100 - 155
Avance (fz) mm/diente	0,2 - 0,3	0,2
Profundidad de corte (ap) mm.	≤ 4	≤ 0,6
Mecanizado grupo ISO	M20 - M30	M10

Taladrado con broca HSS

Diámetro	20	30	40
Velocidad de corte (vc) m/min.	200	200	200
Avance (f) mm/r	0,01	0,12	0,15