



## **UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

### **DISEÑO DE PLACA DE ORIFICIO PARA LA MEDICIÓN DE FLUJO DE NITRÓGENO GASEOSO PARA LAS CONDICIONES DE FLUJO MÁXIMO Y MÍNIMO (150 NM<sup>3</sup>/H – 30 NM<sup>3</sup>/H) A UNA PRESIÓN DE 50 PSI**

**Autores:** Mari P. Franco M.

C.I: 24.330.439

Martínez Arturo M.

C.I: 17.148.919

**Tutora:** Ing. Alicia de Pizzella

C.I: 4.598.880



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE PLACA DE ORIFICIO PARA LA MEDICIÓN DE FLUJO DE  
NITRÓGENO GASEOSO PARA LAS CONDICIONES DE FLUJO  
MÁXIMO Y MÍNIMO (150 NM<sup>3</sup>/H – 30 NM<sup>3</sup>/H) A UNA PRESIÓN DE 50  
PSI**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de  
**INGENIERO MECÁNICO**

**Autores:** Mari P. Franco M.  
C.I: 24.330.439  
Martínez Arturo M.  
C.I: 17.148.919  
**Tutora:** Ing. Alicia de Pizzella  
C.I: 4.598.880

San Diego, Febrero de 2020



FI-M-003-2020-1CR (TG)

Valencia, 08 de junio de 2020

## Ciudadano:

Mari P., Franco M.  
24.330.439  
Martínez, Arturo M.  
17.148.919  
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 02-2020 de fecha 11-02-2020 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado ***DISEÑO DE PLACA DE ORIFICIO PARA LA MEDICIÓN DE FLUJO DE NITROGENO GASEOSO PARA LAS CONDICIONES DE FLUJO MAXIMO Y MINIMO ( 150NM3/H-30 NM3/H ) A UNA PRESIÓN DE 50 PSI*** presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación de la Ing. Alicia Yáñez de Pizzella C.I: 4.598.880 como Tutora Académica que lo asesoraran en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,



**Prof. Luís Lira**

**Decano de la Facultad de Ingeniería**

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).  
**Ll/a.a.**



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

Quien suscribe, Ingeniero Ing. Alicia de Pizzella, portador de la cédula de identidad N° 4598880 en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos Mari P. Franco M.C.I: 24.330.439 y Martínez Arturo M. C.I: 17.148, **DISEÑO DE PLACA DE ORIFICIO PARA LA MEDICIÓN DE FLUJO DE NITRÓGENO GASEOSO PARA LAS CONDICIONES DE FLUJO MÁXIMO Y MÍNIMO (150 NM<sup>3</sup>/H – 30 NM<sup>3</sup>/H) A UNA PRESIÓN DE 50 PSI**, Presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 23 días del mes de Junio de dos mil veinte.

Ing. Alicia de Pizzella  
C:I: 4598880

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad. Gracias a nuestros padres: Francisca Martínez, Maigualida Pino, Domingo Núñez y Franco J. mari, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

A nuestros hermanos: Ana Martínez, Mayfran Mari y Michele Mari, por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

A la Universidad José Antonio Páez, por ser el alma mater, lugar que nos entregó la capacidad de formarnos en el mundo profesional. Igualmente importante a nuestros queridos formadores en esta institución, de primera mano a nuestra querida tutora, la Ing. Alicia de Pizzella., por ser parte significativa en el inicio de este proyecto, quien fue nuestro guía ayudándonos con todos sus conocimientos y esta demás decir una gran consejera para la culminación de este gran proyecto.

También a los Ing. Franco J. Mari N. e Ing. Luis Parada, futuros colegas, que nos brindaron todo su apoyo, consejo y experiencia para la realización de nuestro trabajo. Todos a su manera han inculcaron en nosotros un sentido de seriedad, responsabilidad y rigor académico sin los cuales no podríamos tener una formación completa como investigadores.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a nuestras familias por haber sido nuestro apoyo a lo largo de toda nuestra carrera universitaria y a lo largo de nuestras vidas. A todas las personas especiales que nos acompañaron en esta etapa, aportando a nuestra formación tanto profesional y como ser humano, principalmente a nuestros padres y hermanos: Francisca Martínez, Maigualida Pino, Domingo Núñez e Ing. Franco J. Mari N. Ing.

Ana Martínez, Lic. Mayfran Mari e Ing. Michele Mari, que nos ayudaron en las buenas y en las malas y lo siguen haciendo. Por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar con nosotros en todo momento gracias.

## ÍNDICE

CONTENIDO	Pag.
<b>ÍNDICE DE FIGURA</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE TABLA</b> .....	viii
<b>ÍNDICE DE CUADRO</b> .....	ix
<b>RESUMEN</b> .....	x
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
 <b>CAPÍTULO</b>	
 <b>I EL PROBLEMA</b>	
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Formulación.....	4
1.3 Objetivos de la Investigación.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Justificación.....	5
1.5 Alcance.....	5
1.6 Limitaciones.....	5
 <b>II MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes.....	7
2.2 Bases Teóricas.....	8
2.2.1 El Nitrógeno.....	8
2.2.1.1 Aplicaciones.....	8
2.2.1.2 Obtención.....	9
2.2.2 Nitrógeno líquido.....	9
2.2.2.1 Tanque de nitrógeno líquido.....	10
2.2.2.2 Gas inerte.....	11
2.2.3 Ley de los gases ideales.....	11
2.2.4 Ecuación de estado.....	13
2.2.5 Licuefacción de gases.....	13
2.2.5.1 Proceso.....	14
2.2.6 Principio de Bernoulli.....	15
2.2.6.1 Ecuación de flujo incompresible.....	16
2.2.7 Número de Reynolds.....	19
2.2.8 La termodinámica.....	22
2.2.8.1 Principio cero de la termodinámica....	22
2.2.8.2 Segundo principio de la termodinámica	23
2.2.8.3 Tercer principio de la termodinámica..	24

2.2.8.4	Equilibrio térmico.....	24
2.2.9	Recipientes a presión.....	25
2.2.10	Placa orificio.....	25
2.2.10.1	Tipo de placa orificio.....	26
2.2.10.2	Cómo funciona la placa orificio .....	27
2.3	Bases Legales.....	27
2.4	Definición de Términos.....	
<b>III</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	
3.1	Tipo de Investigación.....	31
3.2	Diseño de la Investigación.....	31
3.3	Nivel de la Investigación.....	32
3.4	Población y Muestra.....	32
3.4.1	Población.....	32
3.4.2	Muestra.....	32
3.5	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	32
3.5.1	Técnicas de recolección de datos.....	32
3.5.1.1	Observación directa.....	33
3.5.1.2	Revisión Documental.....	33
3.5.2	Instrumentos de Recolección de datos.....	34
3.5.3	Técnicas de análisis de datos.....	34
3.6	Fases metodológicas.....	34
<b>IV</b>	<b>RESULTADOS</b>	
4.1	Diagnosticar la situación actual en el uso del N2 en la empresa Oxicar C.A.....	36
4.1.1	Propiedades del Hidrógeno.....	36
4.1.2	Efectos fisiológicos del hidrógeno.....	38
4.1.3	Aplicaciones del hidrógeno.....	38
4.2	Identificar las condiciones de flujo del N2.....	40
4.2.1	Tanques Criogénicos.....	41
4.2.2	Descripción de un tanque Criogénico.....	42
4.2.3	Sistema de Llenado de un Tanque Criogénico.....	43
4.3	Variables que afectan en la medición del flujo de nitrógeno.....	46
4.3.1	Variables Externas.....	46
4.3.2	Variables Internas.....	48
4.4	Diseñar la placa orificio con las condiciones específicas.....	48
4.4.1	Preselección de la placa orificio.....	53
4.4.2	Selección de placa de orificio.....	55
4.4.3	Selección del material.....	57
4.4.4	Propiedades Mecánicas del Acero 304.....	59
4.4.5	Resistencia a la corrosión.....	60

4.4.6	Corte del acero 304 para el diseño de la placa.....	61
4.4.7	Recomendaciones para usar Acero 304.	.
4.4.8	Pulido de la placa.....	65
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>66</b>
<b>ANEXOS</b>		
<b>A</b>	<b>Tanques de hidrógeno oxicar.....</b>	<b>68</b>
<b>B</b>	<b>Equipos secundarios de medición.....</b>	<b>70</b>

## ÍNDICE DE FIGURA

<b>FIGURA</b>	<b>Pg</b>
1 Placa orificio.....	26
2 Tanque criogénico.....	42
3 Tanque criogénico Oxicar.....	44
4 Medidas de seguridad en los tanques.....	45
5 Diagrama Liquefacción Oxicar.....	46
6 Placa orificio diseñada.....	56
7 Pérdida de peso.....	60
8 Comparación de velocidad de corte con otros materiales.....	62
9 Características del proceso Plasma.....	63
10 Procedimiento de corte.....	63
11 Efectos de la temperatura en las propiedades mecánicas Acero 304.....	64
12 Tratamiento Térmico y taladro con broca HSS.....	64
13 Torneado y fresado.....	65
14 Placa diseñada y Pulida.....	66

## ÍNDICE DE TABLA

<b>TABLA</b>		<b>Pg</b>
1	Propiedades del Hidrógeno.....	37
2	Factor de orificio Fb.....	51
3	Gravedad Específica Fg.....	51
4	Factor de temperatura de flujo Ftf.....	52
5	Cálculo de pre selección de placa.....	54
6	Variables de diseño.....	55
7	Variables obtenidas para el diseño.....	55
8	Características Técnicas del Acero 304.....	58

9	Composición del Acero AISI 304.....	59
10	Propiedades mecánicas.....	59

## ÍNDICE DE CUADRO

### CUADRO

1	Aplicaciones del nitrógeno.....	39
2	Equipos de medidores de flujo.....	47
3	Términos del cálculo de flujo.....	49
4	Términos del cálculo de flujo.....	50



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE PLACA DE ORIFICIO PARA LA MEDICIÓN DE FLUJO  
DE NITRÓGENO GASEOSO PARA LAS CONDICIONES DE  
FLUJO MÁXIMO Y MÍNIMO (150 NM<sup>3</sup>/H – 30 NM<sup>3</sup>/H) A UNA  
PRESIÓN DE 50 PSI**

**Autores:** Franco Mari, Arturo Martínez

**Tutor Académico:** Ing. Yánez de Pizzella, Alicia

**Fecha:** Junio 2020

**RESUMEN**

En toda empresa que se dedique a distribuir fluidos, tanto líquidos como gases, es importante conocer la cantidad de fluido a utilizar en cualquier proceso. Para las mediciones de flujo de gases, se utilizan muchos sistemas como: Rotámetros, Venturi, fluxómetro de turbina y placas de orificio. Sin embargo se presentan casos donde el caudal suministrado a los clientes no concuerda con el caudal medido, lo que trae como consecuencia pérdidas para la empresa. Es por ello que la presente investigación tuvo como objetivo diseñar una de placa orificio para la medición de flujo de nitrógeno gaseoso para las condiciones de flujo máximo y mínimo (150 nm<sup>3</sup>/h – 30 nm<sup>3</sup>/h) a una presión de 50 psi. Para ello se utilizó un acero ANSI 304 que cumple con las condiciones para trabajar con Nitrógeno. La investigación, es un proyecto factible, sustentada en un diseño de campo y documental, con un nivel descriptivo.

**Descriptores:** diseño, placa orificio, gases ideales.

## **INTRODUCCIÓN**

En los procesos industriales, los ingenieros tratan de manera frecuente con el flujo de fluidos a través de tuberías, tubos y canales. El comportamiento de los fluidos es importante para los procesos de ingeniería en general y constituye uno de los fundamentos para el estudio de las operaciones unitarias. Se entiende como proceso un conjunto de actividades que permiten alcanzar un objetivo específico.

El conocimiento de los fluidos es esencial, no solo para tratar con precisión los problemas de movimiento de los fluidos a través de tuberías, bombas, y otro tipo de equipos de proceso, sino también para el estudio del flujo de calor y muchas operaciones de separación que dependen de la difusión y transferencia de masa.

Un aspecto importante es conocer la cantidad de fluido a utilizar en cualquier proceso. Para las mediciones de flujo de gases, se utilizan muchos sistemas como: Rotámetros, Venturi, fluxómetro de turbina y placas de orificio. Es por ello que la presente investigación tiene como objetivo Diseñar una de placa de orificio para la medición de flujo de nitrógeno gaseoso para las condiciones de flujo máximo y mínimo (150 nm<sup>3</sup>/h – 30 nm<sup>3</sup>/h) a una presión de 50 psi.

Por otra parte este estudio constará de la siguiente estructura organizativa para su desarrollo: Capítulo I: Planteamiento del problema, justificación del problema, objetivos generales, objetivos específicos y justificación de la investigación. Capítulo II: Antecedentes, marco teórico, bases legales y definición de términos básicos. Capítulo III: Tipo de investigación, diseño de investigación, nivel de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y fases metodológicas. Capítulo IV: referido a los resultados.

## **CAPÍTULO I EL PROBLEMA**

## **1.1. Planteamiento del Problema**

En la naturaleza se puede encontrar la materia en diferentes estados, entre los que se encuentran, sólidos, líquidos y gases. Los sólidos difieren de los líquidos y los líquidos de los gases en espaciamiento y libertad del movimiento de sus moléculas de las cuales están constituidos. Por lo anterior, un fluido, puede definirse como toda sustancia capaz de cambiar de forma bajo la acción de una fuerza cortante. Entre las propiedades relevantes al usar fluidos se tienen: su densidad, viscosidad, peso específico y su gravedad específica.

En los procesos industriales, los ingenieros tratan de manera frecuente con el flujo de fluidos a través de tuberías, tubos y canales. El comportamiento de los fluidos es importante para los procesos de ingeniería en general y constituye uno de los fundamentos para el estudio de las operaciones unitarias. Se entiende como proceso un conjunto de actividades que permiten alcanzar un objetivo específico.

El conocimiento de los fluidos es esencial, no solo para tratar con precisión los problemas de movimiento de los fluidos a través de tuberías, bombas, y otro tipo de equipos de proceso, sino también para el estudio del flujo de calor y muchas operaciones de separación que dependen de la difusión y transferencia de masa.

Un aspecto importante es conocer la cantidad de fluido a utilizar en cualquier proceso. Para las mediciones de flujo de gases, se utilizan muchos sistemas como: Rotámetros, Venturi, fluxómetro de turbina y placas de orificio.

Son muchas las empresas que utilizan gases en sus procesos industriales, como la empresa Oxicar, la cual produce gases para uso industrial y medicinal, comercializándolos distribuyéndolos a tiempo, comprometiéndose a satisfacer los requerimientos de los clientes, los legales y reglamentarios, así como los acordados en materia de inocuidad con los clientes, siguiendo los lineamientos del Sistema de Gestión de la Calidad e Inocuidad, la Mejora Continua y las Buenas Prácticas de Fabricación. Entre los gases usados está el Nitrógeno. El cual debe

su nombre a los vocablos griegos nitron que significa “nitrato potásico” y gen que equivale a “generación”. No obstante, hay que dejar constancia que quien creó este término no fue otro que el químico de origen escocés Daniel Rutherford (1749–1819), quien en 1772 dio a conocer algunas de sus propiedades.

Se conoce como nitrógeno al elemento químico que se caracteriza por tener como número atómico 7 y que se simboliza con la letra N. Se trata de un gas sin color ni olor y de carácter insípido que está presente en las cuartas quintas partes del aire de la atmósfera (en su versión molecular, reconocida como N<sub>2</sub>). El nitrógeno es el compuesto más abundante de la atmósfera del planeta, con el 78,1% de su volumen. Además está presente en el 3% de la estructura elemental del organismo de los seres humanos y aparece en los restos de ejemplares pertenecientes al reino animal. Varios científicos, además, han detectado algunos compuestos del espacio exterior donde también se advierte la presencia de nitrógeno.

En las industrias estos gases son almacenados en recipientes a presión o depósito bajo presión o "pressure vessel" es un contenedor estanco diseñado para contener fluidos (gases o líquidos) a presiones muchos mayores a la presión ambiental o atmosférica.

La presión diferencial entre el interior del recipiente y el exterior ocasiona que los mismos sean diseñados, fabricados y operados bajo regulaciones y normas ingenieriles exigentes. Por esas razones, el diseño y certificación de un recipiente diseñado para contener presión varía de país a país, y requiere definir parámetros tales como la máxima presión admisible y la temperatura máxima admisible. Los mismos se utilizan para el transporte, producción, almacenamiento y procesos de transformación de líquidos y gases. Ejemplos de recipientes de presión y su uso son: torres de destilación, compresores, autoclaves, etc., en refinerías, petroquímicas, minería, etc., así como industrias donde se requieren reservorios para almacenar gases, reservorios hidráulicos a presión, y tanques de almacenamiento de gases licuados como amoníaco, propano, butano, gas licuado

del petróleo, etc. En principio los recipientes de presión podrían tener casi cualquier forma, sin embargo por lo general se utilizan formas que son secciones de esferas, cilindros y otros. Cuando las necesidades de consumo lo justifican, como en el caso de un hospital o industria, puede instalarse un tanque criogénico, que puede almacenar grandes cantidades de gas en forma líquida, ya sea Oxígeno, Nitrógeno o Argón.

En el caso de la empresa Oxicar, el almacenamiento de nitrógeno se hace en recipientes cilíndricos, para llevarlos a los diferentes procesos que exigen los clientes. Pero estos termos tienen una capacidad de almacenamiento de 200 litros de N<sub>2</sub>. Poseen un manómetro que indican la presión interna del mismo. Así mismo tienen una válvula de regulación, sistema de válvula de seguridad y un medidor de nivel que mide la cantidad de nitrógeno, pero con este medidor de nivel se podría evaluar el consumo teórico en el cliente pero para ser preciso se utiliza una placa de orificio para tener una relación entre el caudal medido con el teórico

## **1.2 Formulación del Problema**

¿Cómo se puede verificar que el caudal utilizado en los procesos que requieran nitrógeno gaseoso sea el correcto?

## **1.3. Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1. Objetivo General**

Diseñar placa orificio para la medición de flujo de nitrógeno gaseoso para las condiciones de flujo máximo y mínimo (150 nm<sup>3</sup>/h – 30 nm<sup>3</sup>/h) a una presión de 50 psi.

### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Diagnosticar la situación actual en el uso del N<sub>2</sub> en la empresa Oxicar C.A.
- Identificar las condiciones de flujo del N<sub>2</sub>
- Determinar las variables que afectan en la medición del flujo de nitrógeno.
- Diseñar la placa orificio con las condiciones específicas.

## **1.4 Justificación de la Investigación**

Desde lo económico, la investigación tiene relevancia ya que al no contar

con una medida correcta del caudal usado en los procesos, esto acarrea pérdidas para la empresa. En lo social, se justifica, ya que el uso adecuado del caudal, evitaría accidentes laborales de gran magnitud, que puede ocasionar muchos daños, tantos físicos como materiales. En lo se refiere al ambiente, existen normas ambientales que deben cumplirse, y un mal uso del  $N_2$  traería grandes daños al ambiente. Por último en lo académico, se justifica, pues esta investigación servirá de antecedente para el estudio de otros gases, además, es una asignatura obligatoria del pensum de estudio para obtener el título de Ingeniero mecánico.

### **1.5 Alcance**

La investigación solo abarca el diseño de la placa orificio para medir el caudal real del flujo de  $N_2$ .

### **1.6 Limitaciones**

Para la realización de esta investigación se tiene las siguientes limitaciones: El costo del material para la fabricación de la Placa Orificio cambia constantemente y es en divisas, esto lo hace más elevado; el tiempo del que se dispone es un poco corto, por lo que se está ya tomando medidas desde tesis I, y por último el acceso a la información es difícil, ya que la empresa tiene sus normativas, lo que ha obligado con bastante tiempo realizar entrevistas y conversaciones.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

Chong Humberto (2018) en su trabajo de grado **titulado Optimización de la medición de flujo bajo el principio de la presión diferencial y su importancia en la Ingeniería de Control y Automatización industrial**, realizado en la Universidad Ricardo Palma, Perú, para optar al título de Ingeniero Mecánico, en ella planteo analizar y evaluar las técnicas de medición de la variable industrial flujo bajo el principio de la presión diferencial y proponer mejoras tecnológicas en el ámbito industrial y en la formación de los alumnos de pregrado de las especialidades de ingeniería. La aplicación de los sistemas electrónicos de medición denominados computadores de flujo reviste significativa importancia en esta investigación. En la industria existen dos categorías de procesos: procesos continuos y procesos discontinuos. En ambos tipos de procesos las variables deben mantenerse en un valor fijo o en un valor variable con el tiempo.

En la actualidad la tendencia a automatizar estos procesos mediante la implementación de sistemas de lazo de control cerrado es creciente. Para lograr un óptimo funcionamiento de un lazo de control es de suma importancia que los elementos de medición sean lo más exactos posibles. El lugar de la investigación se concentra en los campos petroleros de la zona Noroeste de Piura y Talara. Los resultados de esta investigación basaron su objetivo en la optimización de la medición de los variables flujos y difunde a través de los cursos de las especialidades de ingeniería su conocimiento y mejora en la formación profesional del alumno de pregrado.

El aporte a esta investigación es todo lo referente a las teorías de mecánica de los fluidos, base de esta investigación.

Así mismo, Campos Omar, (2017) en su trabajo de grado titulado **Programa de cómputo para dimensionar medidores de flujo por presión diferencial en líquido**, presentado en el Instituto Politécnico Nacional en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México, para optar al título de Ing. en Control y Automatización. En este proyecto

## **2.2 Bases Teóricas**

Las bases teóricas que fundamentan los enfoques conceptuales del problema investigar fueron objeto de una profunda revisión bibliográfica, lo que permitió relacionar la teoría con la realidad donde se encuentran los elementos influyentes en el problema.

### **2.2.1 El Nitrógeno**

El nitrógeno es un elemento químico de número atómico 7, símbolo N, su masa atómica es de 14,006 u y que en condiciones normales forma un gas diatómico (nitrógeno diatómico o molecular) que constituye del orden del 78 % del aire atmosférico. En ocasiones es llamado ázoe (antiguamente se usó también Az como símbolo del nitrógeno).

#### **2.2.1.1 Aplicación**

La aplicación comercial más importante del nitrógeno diatómico es la obtención de amoníaco por el proceso de Haber. El amoníaco se emplea con posterioridad en la fabricación de fertilizantes y ácido nítrico. Las sales del ácido nítrico incluyen importantes compuestos como el nitrato de potasio (nitro o salitre empleado en la fabricación de pólvora) y el nitrato de amonio fertilizante. Los compuestos orgánicos de nitrógeno como la nitroglicerina y el trinitrotolueno son a menudo explosivos. La hidracina y sus derivados se usan como combustible en cohetes.

El ciclo de este elemento es bastante más complejo que el del carbono, dado que está presente en la atmósfera no solo como N<sub>2</sub> (78 %) sino también en una gran diversidad de compuestos. Se puede encontrar principalmente como

N<sub>2</sub>O, NO y NO<sub>2</sub>, los llamados NO<sub>x</sub>. También forma otras combinaciones con oxígeno tales como N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (anhídridos), "precursores" de los ácidos nitroso y nítrico. Con hidrógeno forma amoníaco (NH<sub>3</sub>), compuesto gaseoso en condiciones normales. Al ser un gas poco reactivo, el nitrógeno se emplea industrialmente para crear atmósferas protectoras y como gas criogénico para obtener temperaturas del orden de 78K de forma sencilla y económica. Inclusive se utiliza para inflar los neumáticos en los trenes de aterrizaje de los aviones, evitando condensación de agua a grandes alturas o su combustión al aterrizar.

#### **2.2.1.2 Obtención**

El nitrógeno es el componente principal de la atmósfera terrestre (78,1 % en volumen) y se obtiene para usos industriales de la destilación del aire líquido. Está presente también en los restos de animales, por ejemplo el guano, usualmente en la forma de urea, ácidos úricos y compuestos de ambos. Por deficiencia causa falta de relajación de los músculos, problemas en el sistema cardiovascular, en el nervioso central y periférico. También ocupa el 3 % de la composición elemental del cuerpo humano.

Se han observado compuestos que contienen nitrógeno en el espacio exterior y el isótopo Nitrógeno-14 se crea en los procesos de fusión nuclear de las estrellas. La mayor parte del nitrógeno utilizado en la industria química se obtiene por destilación fraccionada del aire líquido, y se usa para sintetizar amoníaco. A partir de este amoníaco se preparan una gran variedad de productos químicos.

#### **2.2.2 Nitrógeno líquido**

El nitrógeno líquido es nitrógeno puro en estado líquido a una temperatura

quemaduras.

### **2.2.2.1 Tanque de nitrógeno líquido.**

El nitrógeno líquido es una fuente de fácil transporte y compacta de gas nitrógeno sin presurización. Además, su capacidad para mantener temperaturas muy por debajo del punto de congelación del agua hace que sea muy útil en una amplia gama de aplicaciones, principalmente como un ciclo abierto de refrigerante, incluyendo:

En obra pública se emplea para sellar las vías de agua en la construcción de túneles bajo el agua o nivel freático del terreno, aplicando con lanzas en el interior de las fisuras por donde penetra el agua, el nitrógeno líquido la congela taponando así la vía y dando tiempo a aplicar colas u otros materiales sellantes. Es también empleado en la criogenia o conservación de muestras biológicas, para procurar una congelación rápida que evite el daño de estructuras.

Como refrigerador para prácticas extremas de overclock.

Como refrigerantes para las cámaras CCD astronomía.

Para almacenar células de muestra en un laboratorio.

Como fuente de nitrógeno líquido.

Para la congelación y transporte de alimentos.

Para conservación de sangre, espermatozoides, ovarios u otra clase de muestras tisulares.

Para congelar el agua de las cañerías en ausencia de válvula de paso.

En crioterapia para la eliminación de cánceres de piel, verrugas o hemorroides.

Para conservación de órganos humanos y de cadáveres.

En la preparación de alimentos, como para hacer helado.

Para preservar muestras de tejido de extirpaciones quirúrgicas para futuros estudios.

Peligros de su manipulación en espacios confinados.

Conservación de alimentos.

Dado que desde la etapa de ebullición con el consiguiente paso de líquido a gas, la tasa de expansión volumétrica es 1:694, una gran cantidad de fuerza de

repulsión o presión positiva que se puede generar si el nitrógeno se evapora súbitamente. Un accidente en 2006 en la Universidad de Texas, los dispositivos de descompresión de los tanques de nitrógeno líquido fueron sellados con tapones de bronce. Como resultado, el tanque reventó. La fuerza de repulsión fue tal, que impulsó al tanque a través del propio techo de la sala. El nitrógeno es inodoro, incoloro e insípido, y constituye el 78 % del aire. Podría producir asfixia sin ninguna sensación o advertencia previa. Un asistente de laboratorio falleció en Escocia en 1999, aparentemente asfixiado después del derrame de nitrógeno líquido en un depósito del sótano. No es que el nitrógeno sea tóxico (lo respiramos todo el tiempo), sino que, como cualquier otro gas, al aumentar su proporción en el aire puede ocasionar asfixia por desplazamiento del oxígeno.

Recipientes conteniendo nitrógeno líquido pueden desplazar oxígeno del aire en espacios cerrados a medida que el nitrógeno se evapora disminuyendo la concentración de oxígeno en el ambiente pudiendo ocasionar asfixia cuando la concentración del oxígeno está por debajo del 19 %.

#### **2.2.2.2 Gas inerte**

Un gas inerte es un gas no reactivo bajo determinadas condiciones de presión y temperatura. Los gases inertes más comunes son los gases nobles. El nitrógeno no reacciona fácilmente a temperatura ambiente y generalmente son necesarias temperaturas altas, por lo que, según las condiciones, puede emplearse como gas inerte; igual sucede con otros gases. Los gases nobles son menos reactivos, y esta reactividad disminuye con los más ligeros. Los gases inertes se emplean en algunas reacciones químicas en las que hay que evitar la presencia de un gas reactivo; por ejemplo, el oxígeno en procesos de soldadura, gases portadores en cromatografía de gases, etc.

#### **2.2.3 Ley de los gases ideales**

La ley de los gases ideales es la ecuación de estado del gas ideal, un gas hipotético formado por partículas puntuales sin atracción ni repulsión entre ellas y cuyos choques son perfectamente elásticos (conservación de momento y energía

cinética). La energía cinética es directamente proporcional a la temperatura en un gas ideal. Los gases reales que más se aproximan al comportamiento del gas ideal son los gases monoatómicos en condiciones de baja presión y alta temperatura.

La presión ejercida por una fuerza física es inversamente proporcional al volumen de una masa gaseosa, siempre y cuando su temperatura se mantenga constante, o en términos más sencillos: A temperatura constante, el volumen de una masa fija de un gas es inversamente proporcional a la presión que este ejerce. Matemáticamente se puede expresar así:

$$PV=K$$

Donde K es constante si la temperatura y la masa del gas permanecen constantes. Cuando aumenta la presión, el volumen baja, mientras que si la presión disminuye el volumen aumenta. No es necesario conocer el valor exacto de la constante K para poder hacer uso de la ley: si consideramos las dos situaciones de la figura, manteniendo constante la cantidad de gas y la temperatura, deberá cumplirse la relación:

$$P_1V_1=P_2V_2$$

Las primeras leyes de los gases fueron desarrollados desde finales del siglo XVII, aparentemente de manera independiente por August Krönig en 1856 y Rudolf Clausius en 1857. La constante universal de los gases se descubrió y se introdujo por primera vez en la ley de los gases ideales en lugar de un gran número de constantes de gases específicas descritas por Dmitri Mendeleev en 1874. En este siglo, los científicos empezaron a darse cuenta de que en las relaciones entre la presión, el volumen y la temperatura de una muestra de gas, en un sistema cerrado, se podría obtener una fórmula que sería válida para todos los gases. Estos se comportan de forma similar en una amplia variedad de condiciones debido a la buena aproximación que tienen las moléculas que se encuentran más separadas, y hoy en día la ecuación de estado para un gas ideal se deriva de la teoría cinética.

Ahora las leyes anteriores de los gases se consideran como casos especiales de la ecuación del gas ideal, con una o más de las variables mantenidas constantes.

Empíricamente, se observan una serie de relaciones proporcionales entre la temperatura, la presión y el volumen que dan lugar a la ley de los gases ideales, deducida por primera vez por Émile Clapeyron en 1834 como una combinación de la ley de Boyle y la ley de Charles.

#### **2.2.4 Ecuación de estado**

El estado de una cantidad de gas se determina por su presión, volumen y temperatura. La forma moderna de la ecuación relaciona estos simplemente en dos formas principales. La temperatura utilizada en la ecuación de estado es una temperatura absoluta: en el sistema SI de unidades, kelvin, en el sistema imperial, grados Rankine.

La ecuación que describe normalmente la relación entre la presión, el volumen, la temperatura y la cantidad (en moles) de un gas ideal es:

$$PV=nRT$$

Donde:

P= Presión absoluta

V= Volumen

n= Moles de gas

R= Constante universal de los gases ideales

T= Temperatura absoluta

Teoría cinética molecular

#### **2.2.5 Licuefacción de gases**

Licuefacción o licuación de los gases es el cambio de estado que ocurre cuando una sustancia pasa del estado gaseoso al líquido, por el aumento de presión (compresión isoterma) y la disminución de la temperatura (expansión adiabática).

##### **2.2.5.1 Proceso**

La licuefacción de gases incluye una serie de fases utilizada para convertir un gas en estado líquido. Los procesos se utilizan para fines científicos,

industriales y comerciales. Muchos de los gases se pueden poner en estado líquido a presión atmosférica normal por simple refrigeración y otros como el dióxido de carbono, requieren presurización.

La licuefacción de los gases es un proceso complicado que utiliza diferentes compresiones y expansiones para lograr altas presiones y temperaturas muy bajas, utilizando por ejemplo turboexpansores. La licuefacción de gases se utiliza para el análisis de las propiedades fundamentales de las moléculas de gas (fuerzas intermoleculares), para el almacenamiento de gases, por ejemplo: el GLP, y en la refrigeración y aire acondicionado.

En éstos, el gas licuado dentro del condensador, libera el calor de vaporización, y se evapora en el evaporador, donde el calor de vaporización es absorbido. El amoníaco fue el primero de estos refrigerantes, pero ha sido sustituido por compuestos derivados del petróleo y halógenos. El oxígeno líquido se suministra a los hospitales para la conversión a gas para los pacientes que sufren de problemas respiratorios, y el nitrógeno líquido es utilizado en dermatología y en inseminación artificial para congelar el semen.

El cloro licuado es transportado para su eventual solución en el agua, tras lo cual se utiliza para la purificación del agua, el saneamiento de los desechos industriales, aguas residuales y piscinas, blanqueo de pasta de papel y textiles y la fabricación de tetracloruro de carbono, glicol y otros muchos compuestos orgánicos, así como el gas fosgeno. La licuefacción de aire se utiliza para la obtención de nitrógeno, oxígeno y argón que están presentes en éste, separando los componentes por destilación. La licuefacción del helio con el ciclo de Linde-Hampson dio lugar a un Premio Nobel de física a Heike Kamerlingh Onnes en 1913. La presión en el punto de ebullición del helio líquido es de 4,22 K (-268,93 °C), por debajo de los 2,17 K el helio líquido tiene muchas propiedades asombrosas, como el efecto fuente o termo mecánico, cuando al calentar ligeramente el helio líquido súper fluido en un recipiente de boca muy estrecha, el líquido asciende hasta alcanzar la boca y salir por ella formando un surtidor,

exhibiendo cero viscosidad.

### **2.2.6 Principio de Bernoulli**

En dinámica de fluidos, el principio de Bernoulli, también denominado ecuación de Bernoulli, describe el comportamiento de un líquido moviéndose a lo largo de una línea de corriente. Fue expuesto por Daniel Bernoulli en su obra Hidrodinámica (1738) expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido. Aunque Bernoulli dedujo que la presión disminuye cuando aumenta la velocidad del flujo, fue Leonhard Euler, quien derivó la ecuación de Bernoulli en su forma habitual en 1752 El principio solo es aplicable a los flujos isentrópicos, es decir, cuando los efectos de los procesos irreversibles, como la turbulencia y los procesos no adiabáticos, como la radiación de calor, son pequeños y pueden despreciarse.

El principio de Bernoulli se puede aplicar a varios tipos de flujo de fluidos que dan como resultado varias formas de la ecuación de Bernoulli por lo que hay diferentes formas de la ecuación de Bernoulli para diferentes tipos de flujo. La forma simple de la ecuación de Bernoulli es válida para flujos incompresibles como la mayoría de los flujos de líquidos y gases que se mueven a un bajo número de Mach. Se pueden aplicar formas más avanzadas a flujos compresibles a números de Mach más altos. (Consulte las derivaciones de la ecuación de Bernoulli).

El principio de Bernoulli puede derivarse del principio de conservación de la energía. Esto indica que, en un flujo constante, la suma de todas las formas de energía en un fluido a lo largo de una línea de flujo es la misma en todos los puntos de esa línea. Esto requiere que la suma de la energía cinética, energía potencial y energía interna permanezca constante. Por lo tanto, un aumento en la velocidad del fluido, que implica un aumento en su energía cinética, es decir, de la presión dinámica, conlleva una disminución simultánea en la suma de su energía potencial—incluida la presión estática— y energía interna.

Si el fluido sale de un depósito, la suma de todas las formas de energía es la misma en todas las líneas de corriente porque en un dicho depósito la energía por unidad de volumen —la suma de la presión y el potencial gravitacional — es la misma en todas partes.)

El principio de Bernoulli también puede derivarse directamente de la Segunda Ley del Movimiento de Isaac Newton. Si un pequeño volumen de fluido fluye horizontalmente desde una región de alta presión a una región de baja presión, entonces hay más presión detrás que en el frente. Esto le da una fuerza neta al volumen, acelerándolo a lo largo de la línea de corriente. Las partículas fluidas están sujetas únicamente a la presión y su propio peso.

Si un fluido fluye horizontalmente y a lo largo de una sección de una línea de corriente, donde la velocidad aumenta, solo puede ser porque el fluido en esa sección se ha movido desde una región de mayor presión a una región de menor presión; y si su velocidad disminuye, solo puede ser porque se ha movido de una región de presión más baja a una región de presión más alta. En consecuencia, dentro de un fluido que fluye horizontalmente, la velocidad más alta ocurre donde la presión es más baja, y la velocidad más baja ocurre donde la presión es más alta.

#### **2.2.6.1 Ecuación de flujo incompresible**

En la mayoría de los flujos de líquidos y de gases con un número de Mach bajo, la densidad de una partícula de fluido puede considerarse constante, independientemente de las variaciones de presión en el flujo. Por lo tanto, se puede considerar que el fluido es incompresible y estos flujos se denominan flujos incompresibles. Bernoulli realizó sus experimentos con líquidos, por lo que su ecuación en su forma original es válida solo para flujo incompresible. La energía de un fluido en cualquier momento consta de tres componentes:

**Cinética:** es la energía debida a la velocidad que posea el fluido;|

**Potencial o gravitacional:** es la energía debido a la altitud que un fluido posea;

**Energía de presión:** es la energía que un fluido contiene debido a la presión que

posee.

La siguiente ecuación conocida como "ecuación de Bernoulli", consta de estos mismos términos.

$$\frac{V^2 \rho}{2} + P + \rho g z = \text{constante}$$

Donde:

V = velocidad del fluido en la sección considerada.

$\rho$  = densidad del fluido.

P = presión a lo largo de la línea de corriente.

g = aceleración gravitatoria.

z = altura en la dirección de la gravedad desde una cota de referencia.

Para aplicar la ecuación se deben realizar los siguientes supuestos:

**Viscosidad** (fricción interna) = 0 Es decir, se considera que la línea de corriente sobre la cual se aplica se encuentra en una zona 'no viscosa' del fluido.

**Caudal constante.**

**Flujo incompresible**, donde  $\rho$  es constante.

La ecuación se aplica a lo largo de una línea de corriente o en un flujo laminar.

Aunque el nombre de la ecuación se debe a Bernoulli, la forma arriba expuesta fue presentada en primer lugar por Leonhard Euler.

Un ejemplo de aplicación del principio se da en el flujo de agua en tubería.

$$\begin{array}{ccccccc} \text{cabezal de velocidad} & & \text{altura o carga piezométrica} & & & & \text{Cabezal o Altura hidráulica} \\ \underbrace{\frac{V^2}{2g}} & + & \underbrace{\frac{P}{\gamma} + z} & = & & & \underbrace{H} \\ & & \text{cabezal de presión} & & & & \end{array}$$

También se puede reescribir este principio en forma de suma de presiones

multiplicando toda la ecuación por  $\gamma$  (Peso específico), de esta forma el término relativo a la velocidad se llamará presión dinámica, los términos de presión y altura se agrupan en la presión estática.

$$\underbrace{\frac{\rho V^2}{2}}_{\text{presión dinámica}} + \underbrace{P + \gamma z}_{\text{presión estática}} = \text{constante}$$

O escrita de otra manera más sencilla

$$q + p = p_0$$

Donde

$$q = \frac{\rho V^2}{2}$$

$$p = P + \gamma z$$

$p_0$  es una constante-

En una línea de corriente cada tipo de energía puede subir o disminuir en virtud de la disminución o el aumento de las otras dos. Pese a que el principio de Bernoulli puede ser visto como otra forma de la ley de la conservación de la energía realmente se deriva de la conservación de la Cantidad de movimiento.

Esta ecuación permite explicar fenómenos como el efecto Venturi, ya que la aceleración de cualquier fluido en un camino equipotencial (con igual energía potencial) implicaría una disminución de la presión. Este efecto explica por qué las cosas ligeras muchas veces tienden a salirse de un automóvil en movimiento cuando se abren las ventanas. La presión del aire es menor fuera debido a que está en movimiento respecto a aquel que se encuentra dentro, donde la presión es necesariamente mayor. De forma, aparentemente, contradictoria el aire entra al vehículo pero esto ocurre por fenómenos de turbulencia y capa límite.

### 2.2.7 Número de Reynolds

El número de Reynolds ( $Re$ ) es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido. Su valor indica si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento. En biología y en particular en biofísica, el número de Reynolds determina las relaciones entre masa y velocidad del movimiento de microorganismos en el seno de un líquido caracterizado por cierto valor de dicho número (líquido que por lo común es agua, pero puede ser algún otro fluido corporal, por ejemplo sangre o linfa en el caso de diversos parásitos motiles y la orina en el caso de los mesozoos) y afecta especialmente a los que alcanzan velocidades relativamente elevadas para su tamaño, como los ciliados predadores.

Para los desplazamientos en el agua de entidades de tamaño y masa aun mayor, como los peces grandes, aves como los pingüinos, mamíferos como focas y orcas, y por cierto los navíos submarinos, la incidencia del número de Reynolds es mucho menor que para los microbios veloces.<sup>6</sup> Cuando el medio es el aire, el número de Reynolds del fluido resulta también importante para insectos voladores, aves, murciélagos y micro vehículos aéreos, siempre según su respectiva masa y velocidad.

### **Definición y uso de $Re$**

El número de Reynolds se define como la relación entre las fuerzas inerciales (o convectivas, dependiendo del autor) y las fuerzas viscosas presentes en un fluido. Éste relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande). Para un fluido que circula por el interior de una tubería circular recta, el número de Reynolds viene dado por:

$$\text{Re} = \frac{\rho v_s D}{\mu}$$

O equivalentemente por:

$$\text{Re} = \frac{v_s D}{\nu}$$

Mientras que para un fluido que circula por el interior de una tubería cuya sección recta no es circular, el número de Reynolds viene dado por:

$$\text{Re} = \frac{\rho v_s D_H}{\mu}$$

O equivalentemente por:

$$\text{Re} = \frac{v_s D_H}{\nu}$$

Donde:

$\rho$ : densidad del fluido

$v_s$ : velocidad característica del fluido

$D$ : diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema

$D_H$ : diámetro hidráulico de la tubería

$$D_H = 4 \cdot \frac{\text{área}}{\text{perímetro}}$$

$\mu$ : viscosidad dinámica del fluido

$\nu$ : viscosidad cinemática del fluido ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

Como todo número adimensional, es un cociente, una comparación. En este caso es la relación entre los términos convectivos y los términos viscosos de las ecuaciones de Navier-Stokes que gobiernan el movimiento de los fluidos.

Por ejemplo, un flujo con un número de Reynolds alrededor de 100 000

(típico en el movimiento de una aeronave pequeña, salvo en zonas próximas a la capa límite) expresa que las fuerzas viscosas son 100 000 veces menores que las fuerzas convectivas, y por lo tanto aquellas pueden ser ignoradas. Un ejemplo del caso contrario sería un cojinete axial lubricado con un fluido y sometido a una cierta carga. En este caso el número de Reynolds es mucho menor que 1 indicando que ahora las fuerzas dominantes son las viscosas y por lo tanto las convectivas pueden despreciarse.

Otro ejemplo: En el análisis del movimiento de fluidos en el interior de conductos proporciona una indicación de la pérdida de carga causada por efectos viscosos.  $Re$  y el carácter del flujo Además el número de Reynolds permite predecir el carácter turbulento o laminar en ciertos casos. En conductos o tuberías (en otros sistemas, varía el Reynolds límite):

Si el número de Reynolds es menor a 2300, el flujo será laminar y, si es mayor de 4000, el flujo será turbulento. El mecanismo y muchas de las razones por las cuales un flujo es laminar o turbulento es todavía hoy objeto de especulación.

Para valores de  $Re$  menor o igual a 2300 (para flujo interno en tuberías circulares) el flujo se mantiene estacionario y se comporta como si estuviera formado por láminas delgadas, que interactúan solo en función de los esfuerzos tangenciales existentes. Por eso a este flujo se le llama flujo laminar. El colorante introducido en el flujo se mueve siguiendo una delgada línea paralela a las paredes del tubo.

Para valores de 2300 menor o igual a  $Re$  menor o igual a 4000 (para flujo interno en tuberías circulares) la línea del colorante pierde estabilidad formando pequeñas ondulaciones variables en el tiempo, manteniéndose sin embargo delgada. Este régimen se denomina de transición.

Para valores de  $Re$  mayor o igual a 4000 (para flujo interno en tuberías circulares) después de un pequeño tramo inicial con oscilaciones variables, el colorante tiende a difundirse en todo el flujo. Este régimen es llamado turbulento, es decir caracterizado por un movimiento desordenado, no estacionario y

tridimensional.

### **2.2.8 La termodinámica**

Trata los procesos de transferencia de calor, que es una de las formas de energía y cómo se puede realizar un trabajo con ella. En esta área se describe cómo la materia en cualquiera de sus fases (sólido, líquido, gaseoso) va transformándose. Desde un punto de vista macroscópico de la materia, se estudia cómo esta reacciona a cambios en su volumen, presión y temperatura, entre otras magnitudes. La termodinámica se basa en cuatro leyes principales: el equilibrio termodinámico (o ley cero), el principio de conservación de la energía (primera ley), el aumento temporal de la entropía (segunda ley) y la imposibilidad del cero absoluto (tercera ley).

#### **2.2.8.1 Principio cero de la termodinámica**

El principio cero de la termodinámica es una ley fenomenológica para sistemas que se encuentran en equilibrio térmico. En palabras simples, el principio dice que si se pone un objeto con cierta temperatura en contacto con otro a una temperatura distinta, ambos intercambian calor hasta que sus temperaturas se igualan. El principio establece que para todo sistema existe una propiedad denominada temperatura empírica que es común para todos los estados de equilibrio termodinámico que se encuentren en equilibrio mutuo con uno dado. La ecuación general de la conservación de la energía es la siguiente:

$$E_{\text{entra}} - E_{\text{sale}} = \Delta E_{\text{sistema}},$$

Que aplicada a la termodinámica teniendo en cuenta el criterio de signos termodinámico, queda de la forma

$$\Delta U = Q - W,$$

Donde U es la energía interna del sistema (aislado), Q es la cantidad de calor aportado al sistema y W es el trabajo realizado por el sistema. Esta última expresión es igual de frecuente encontrarla en la forma.  $u = Q - W$ . Ambas

expresiones, aparentemente contradictorias, son correctas.

### **2.2.8.2 Segundo principio de la termodinámica**

Este principio marca la dirección en la que deben llevarse a cabo los procesos termodinámicos y, por lo tanto, la imposibilidad de que ocurran en el sentido contrario (por ejemplo, una mancha de tinta dispersada en el agua no puede volver a concentrarse en un pequeño volumen). El sentido de evolución de los procesos reales es único ya que son irreversibles. Este hecho viene caracterizado por el aumento de una magnitud física,  $S$ , la entropía del sistema termodinámico, con el llamado principio de aumento de entropía, que es una forma de enunciar el segundo principio de la termodinámica. También establece, en algunos casos, la imposibilidad de convertir completamente toda la energía de un tipo a otro sin pérdidas.

De esta forma, el segundo principio impone restricciones para las transferencias de energía que hipotéticamente pudieran llevarse a cabo teniendo en cuenta solo el primer principio. Esta ley apoya todo su contenido aceptando la existencia de una magnitud física llamada entropía, de tal manera que, para un sistema aislado (que no intercambia materia ni energía con su entorno), la variación de la entropía siempre debe ser mayor que cero.

Debido a esta ley también se tiene que el flujo espontáneo de calor siempre es unidireccional, desde los cuerpos de mayor temperatura hacia los de menor temperatura, hasta lograr un equilibrio térmico. La aplicación más conocida es la de las máquinas térmicas, que obtienen trabajo mecánico mediante aporte de calor de una fuente o foco caliente, para ceder parte de este calor a la fuente o foco o sumidero frío. La diferencia entre los dos calores tiene su equivalente en el trabajo mecánico obtenido.

### **2.2.8.3 Tercer principio de la termodinámica**

Algunas fuentes se refieren incorrectamente al postulado de Nernst como «la tercera de las leyes de la termodinámica». Es importante reconocer que no es una noción exigida por la termodinámica clásica por lo que resulta inapropiado

tratarlo de «ley», siendo incluso inconsistente con la mecánica estadística clásica y necesitando el establecimiento previo de la estadística cuántica para ser valorado adecuadamente. La mayor parte de la termodinámica no requiere la utilización de este postulado. El postulado de Nernst, llamado así por ser propuesto por Walther Nernst, afirma que es imposible alcanzar una temperatura igual al cero absoluto mediante un número finito de procesos físicos. Puede formularse también como que a medida que un sistema dado se aproxima al cero absoluto, su entropía tiende a un valor constante específico. La entropía de los sólidos cristalinos puros puede considerarse cero bajo temperaturas iguales al cero absoluto.

#### **2.2.8.4 Equilibrio térmico**

Toda sustancia por encima de los 0 kelvin (-273,15 °C) emite calor. Si dos sustancias en contacto se encuentran a diferente temperatura, una de ellas emitirá más calor y calentará a la más fría. El equilibrio térmico se alcanza cuando ambas emiten, y reciben la misma cantidad de calor, lo que iguala su temperatura.

##### **Variables termodinámicas**

Las variables que tienen relación con el estado interno de un sistema se llaman variables termodinámicas o coordenadas termodinámicas, y entre ellas las más importantes en el estudio de la termodinámica son. La masa, el volumen, la densidad, la presión, la temperatura

En termodinámica, es muy importante estudiar sus propiedades, las cuales pueden clasificarse en dos tipos:

**Propiedades intensivas:** son aquellas que no dependen de la cantidad de sustancia o del tamaño de un sistema, por lo que su valor permanece inalterado al subdividir el sistema inicial en varios subsistemas, por este motivo no son propiedades aditivas.

**Propiedades extensivas:** son las que dependen de la cantidad de sustancia del sistema, y son recíprocamente equivalentes a las intensivas. Una propiedad extensiva depende por tanto del tamaño del sistema. Una propiedad extensiva tiene la propiedad de ser aditiva en el sentido de que si se divide el sistema en

dos o más partes, el valor de la magnitud extensiva para el sistema completo es la suma de los valores de dicha magnitud para cada una de las partes.

Algunos ejemplos de propiedades extensivas son la masa, el volumen, el peso, cantidad de sustancia, energía, entropía, entalpía, etc. En general, el cociente entre dos magnitudes extensivas nos da una magnitud intensiva; por ejemplo, la división entre masa y volumen genera la densidad.

### **2.2.9 Recipiente a presión**

Un recipiente de presión, depósito bajo presión o pressure vessel es un contenedor estanco diseñado para contener fluidos (gases o líquidos) a presiones mucho mayores que la presión ambiental. La presión diferencial entre el interior del recipiente y el exterior es potencial peligrosa. Históricamente los aparatos a presión han sido una fuente importante de accidentes laborales. Consecuentemente, el diseño, manufactura y manipulación de estos dispositivos están regulados actualmente mediante normas ingenieriles exigentes. Por esas razones, el diseño y certificación de un recipiente diseñado para contener presión varía de país a país, y requiere definir parámetros tales como la máxima presión admisible y la temperatura máxima admisible.

### **2.2.10 Placa Orificio**

En industrias donde **conocer el flujo o caudal de un fluido** es crítico para mantener el proceso, es indispensable el uso de medidores y controladores de caudal. De lo más simple y eficaz: La **placa de orificio** es un dispositivo que permite medir el caudal de un fluido que pasa por una tubería. Consta de un disco con un orificio en el centro de este que se coloca perpendicular a la tubería. Es un elemento de medición primario, pero es muy utilizado debido a su facilidad de uso, bajo precio, poco mantenimiento y gran eficiencia. (Ver figura 1)



**Figura 1** Placa orificio  
Cegal

#### **2.2.10.1 Tipos de placas de orificio**

1. **Placas de orificio concéntricas:** En estas placas el orificio del disco se encuentra en el centro del mismo. De aplicación universal para fluidos limpios.
2. **Placas de orificio concéntricas cónicas:** En este caso el orificio al igual que las placas concéntricas se encuentra en el centro del disco, pero en este el diámetro del orificio se va reduciendo a medida que el fluido va atravesando el disco. Es utilizados para fluidos que tienen un alto número de Reynolds, es decir fluidos que tienden a comportarse de forma turbulenta.
3. **Placas de orificio excéntricas:** Son aquellas en las que el orificio no se encuentra en el centro del disco sino que levemente hacia abajo. Se utiliza para tuberías de diámetro pequeño.
4. **Placas de orificio concéntricas segmentadas:** Aquí la diferencia con las otras placas concéntricas es que el orificio no es un círculo sino que esta

segmentado, formando un semicírculo. Es utilizado para medición de fluidos que contienen partículas.

#### **2.2.10.2 Como funciona una placa de orificio**

El **funcionamiento de una placa de orificio** se basa en el efecto Venturi. Este consiste en un fenómeno que hace disminuir la presión de un fluido que atraviesa una tubería, y este aumenta su velocidad debido a una disminución del diámetro de la tubería. Por lo tanto para **medir el caudal del fluido**, se colocan dos tomas una antes de la placa y otra después, que captan la presión diferencial que se genera debido al aumento de la velocidad. Luego a través del principio de Bernoulli se llega a que la diferencia de presión es proporcional al cuadrado del caudal.

### **2.3 Bases Legales**

#### **NORMA VENEZOLANA COVENIN 928:2019**

#### **INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE TUBERÍAS PARA EL SUMINISTRO DE GAS METANO O GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP) EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES, COMERCIALES Y OTROS**

**928:2019**

**(1ra. Revisión)**

**NTE EM-040**

**ASME B40.100:2013**

**COVENIN 928:1978**

**COVENIN 2580:1989**

**COVENIN 3839:2004**

**Instalaciones de gas.**

**Pressure Gauges and Gauge Attachments.**

**Instalaciones de sistemas de tuberías para suministro de gas natural en edificaciones residenciales y comerciales.**

**Redes de distribución de gas doméstico.**

**Instalación de tuberías de polietileno de alta densidad. Requisitos**

**Polietileno (PE). Tubos para la**

**NTF 1478:2006**

**conducción de gas. Requisitos. Serie métrica.**

**NTF 0644:2007**

**Tubería de línea para uso general en la industria petrolera.**

**NTF 3839:2004**

**Puertas resistentes al fuego. Batientes. Polietileno (PE). Tubos para la conducción de gas. Requisitos. Serie métrica.**

**NTF 928:2008**

**Sistemas de tuberías para el suministro de Gas Metano comercial o GLP en edificaciones residenciales, comerciales, otros tipos de ocupación y mixtas.**

#### **4.45. Presión**

Fuerza por unidad de área expresada en Pascales (Pa) y sus múltiplos o en libras por pulgada cuadrada (psi) o pulgadas de columna de agua.

**NOTA:** 1 kPa = 0,145 psi.

#### **4.46. Presión atmosférica**

Presión ejercida por la atmósfera debido al efecto que ejerce el peso del aire en el sitio de ubicación del sistema de tuberías [101,325 kPa absolutos (14,6 959 psi)].

#### **4.47. Presión de diseño**

Presión a la cual se diseña el sistema de tuberías que debe ser mayor o igual a la máxima presión de operación permitida, según se detalla en esta Norma Venezolana.

#### **4.48. Presión de prueba**

Presión especificada en la norma técnica aplicable a la que se somete el sistema de tuberías durante un periodo de tiempo.

#### **4.49. Prueba de hermeticidad**

Prueba realizada sobre un sistema completo de tuberías y el equipo conectado a él antes de ponerlo en funcionamiento, para verificar que el sistema no tiene fugas.

### **5.12.1 Generalidades**

Las normas citadas a continuación deberán ser utilizadas para determinar la calidad de las tuberías utilizadas en instalaciones internas y sus accesorios. Las normas que pertenezcan a otros institutos de normalización deben ser válidas hasta tanto no existan las Normas Venezolanas **COVENIN**.

**a) COVENIN 843: 1984**

**Tubos de Acero al Carbón con o sin costura para usos generales en la conducción de fluidos.**

**b) COVENIN 1774:2004**

**Polietileno (PE) tubos para la conducción de fluidos no degradantes. Requisitos.**

## **2.4 Definición de Términos**

### **Ley de los gases ideales**

La ley de los gases ideales es la ecuación de estado del gas ideal, un gas hipotético formado por partículas puntuales sin atracción ni repulsión entre ellas y cuyos choques son perfectamente.

### **Número de Reynolds**

El número de Reynolds se define como la relación entre las fuerzas inerciales (o convectivas, dependiendo del autor) y las fuerzas viscosas presentes en un fluido.

### **Gas inerte**

Un gas inerte es un gas no reactivo bajo determinadas condiciones de presión y temperatura. Los gases inertes más comunes son los gases nobles.

### **El Nitrógeno**

El nitrógeno es un elemento químico de número atómico 7, símbolo N, su masa atómica es de 14,006 u y que en condiciones normales forma un gas diatómico.

### **Nitrógeno líquido**

El nitrógeno líquido es nitrógeno puro en estado líquido a una temperatura igual o  
atmósfera.



## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

En esta sección del Proyecto de Grado se describen los métodos, técnicas y procedimientos que se utilizarán para alcanzar el objetivo general que se planteó al inicio de la investigación, el cual es, Proponer el diseño placa orificio para la medición de flujo de nitrógeno gaseoso para las condiciones de flujo máximo y mínimo ( $150 \text{ nm}^3/\text{h} - 30 \text{ nm}^3/\text{h}$ ) a una presión de 50 psi.

Según Balestrini, M. (2002), “el marco metodológico define el diseño de la investigación, establece la población y muestra bajo estudio, determina métodos y técnicas de recolección de datos y establece los pasos para el desarrollo de la investigación” (p. 5).

#### **3.1 Tipo de investigación.**

El desarrollo de este trabajo investigativo estará enmarcado bajo los lineamientos de un Proyecto Factible. Según el Manual de trabajos de grado, de especialización, maestría y tesis doctorales de la UPEL (2006) “un proyecto factible consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales” (p.16). Indica, además que entre este tipo de proyectos se encuentran la formulación de políticas, tecnologías, programas, métodos y procesos.

#### **3.2 Diseño de investigación.**

Según Arias (2006), define el diseño de la investigación como “la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado.” (p.30), lo que da fundamento al objetivo de la investigación.

El diseño a utilizar en esta investigación es de campo, puesto que se tomarán datos reales de las características de un fluido (Nitrógeno). Según arias, F. (2006), define que la investigación de campo es:

La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección

De datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental. (p.31).

### **3.3 Nivel de investigación.**

El nivel de investigación se refiere a la profundidad con la que se aborda el estudio, el cual se clasifica como descriptivo para la presente investigación, ya que según Tamayo y Tamayo, M. (2004), establece que la investigación descriptiva “comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o proceso de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre grupo de personas, grupo o cosas, se conduce o funciona en presente.”, (p.35).

### **3.4 Población y muestra.**

#### **3.4.1 Población.**

Tamayo y Tamayo, M. (2004), “La población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población poseen una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación.”, (p.114)

#### **3.4.2 Muestra.**

Balestrini, (2002), establece que “La muestra es una parte de la población, o sea, el número de individuos u objetos señalados científicamente cada uno de los cuales es un elemento del universo.”, (p.141). En este la población y la muestra coinciden.

### **3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

#### **3.5.1 Técnicas de Recolección de Datos.**

Las técnicas de recolección de datos proporcionan al investigador la información necesaria, oportuna y verdadera sobre el problema planteado. A través de la recolección, no sólo se observa la realidad, sino que se fijan los lineamientos con los cuales se puede dar soluciones a los objetivos de la

investigación.

En consideración a este punto, Arias (2006), plantea que “Las técnicas de recolección de datos son las distintas formas de obtener información.”, (p.53). Las técnicas de recolección de datos que se utilizarán en la presente investigación serán la observación directa, la revisión documental:

#### **3.5.1.1 Observación directa.**

Según Tamayo y Tamayo, M. (2004), la observación directa puede describirse como “Aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación” (p.18). Esta técnica es muy útil para el investigador ya que, con ella, identifica y analiza la ejecución de un proceso en específico, permite establecer que se está haciendo, como se está ejecutando, quien lo realiza, en qué momento y cuánto tiempo se toma, donde se hace y porque se realiza.

La observación tiende a obtener mayor sentido al nivel técnico del procesamiento de datos, donde las tareas se cuantifican y describen más fácilmente. Los requisitos que se deben cumplir al realizar la observación son los siguientes:

- Tener propósitos claros y bien definidos.
- Preciar el tiempo necesario de la observación.
- Controlar los resultados sistemáticamente o por escrito.

En la presente investigación, se aplicará para describir cada uno de los elementos que integran la muestra bajo estudio (fluido, dispositivos a utilizar). Se observará cada elemento en acción, para con ello obtener la información necesaria que requiere.

#### **3.5.1.2 Revisión documental**

Es una técnica de observación complementaria, que se utiliza en caso de que exista algún registro de acciones, programas y data histórica. La revisión documental permite hacerse una idea del desarrollo y las características de los procesos y también de disponer de información. Para Balestrino, J (2006), “Es una

técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la toma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros o como texto que en sí mismo constituyen los eventos de estudio” (p.53). En esta investigación se aplicará la técnica de revisión documental, consultando textos asociados a los sistemas de información digital en forma de presentaciones y manuales; y de forma física mediante la clasificación de documentos involucrados con los elementos bajo estudio.

### **3.5.2 Instrumentos de Recolección de Datos.**

En cuanto a los instrumentos, Arias (2006), establece que los instrumentos de recolección de datos pueden definirse como “cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”. (p.68). Los instrumentos de recolección de datos que se emplearán en esta investigación son los siguientes:

### **3.5.3. Técnicas de análisis de datos**

En esta investigación se va a proponer el diseño de un sistema de monitoreo en tiempo real que permita el mantenimiento preventivo del sistema de bombeo de combustible de todo vehículo de combustión interna., a fin de establecer condiciones que permitan obtener resultados precisos y aproximados a los obtenidos experimentalmente.

## **3.6 Fases metodológicas.**

Según Sabino, C. (2002), “toda labor de investigación requiere una metodología para desarrollarla, de manera tal que se pueda apreciar todas y cada una de los elementos que componen la acción investigativa” (p.56) El presente trabajo de investigación las fases metodológicas se desarrollan de la siguiente manera:

### **Fase I Diagnóstico de la situación actual en el uso del N<sub>2</sub>**

En esta fase se desarrollará una caracterización de los elementos involucrados en la investigación. Primero se revisarán y documentarán a través fotos, observación directa, y visitas a los depósitos de la empresa Oxicar.

## **Fase II Identificar las condiciones de flujo del N<sub>2</sub>**

Para realizar esta fase se verificaran las propiedades del N<sub>2</sub>, sus condiciones de trabajo, propiedades. Además como se relaciona el nitrógeno con otros materiales

## **Fase III Determinar las variables que afectan en la medición del flujo de nitrógeno**

Se realizó una revisión bibliográfica sobre los medidores de caudal, se identificaron las variables que afectan el flujo de nitrógeno, tanto internas, del flujo, como las externa, como presión y temperatura, entre otras.

## **Fase IV Diseñar la placa orificio con las condiciones específicas**

Para el diseño se tomó en cuenta los materiales para realizar la placa orificio, teniendo en cuenta las condiciones y el tipo de flujo. Se analizaron las propiedades de acero y su corte y su pulida.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1 Diagnosticar la situación actual en el uso del N<sub>2</sub> en la empresa Oxicar C.A**

El nitrógeno por su característica como gas inerte es utilizado en muchas empresas como un gas para barrer o purgar como por ejemplo en tuberías, tanques, recipientes a presión, para eliminar otros gases contaminantes, para poder ya sea reparar, soldar la tubería o tanque para ponerlo operativa, que naturalmente debe operar dicha tubería o tanque.

Se puede citar en la industria petrolera, una tubería que va a transportar gas (metano) desde Guacara hasta Petroquímica en Morón, antes de hacer pasar el metano por la tubería esta debe ser purgada, para la eliminación del air (N<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>+Ar) ya que el CH<sub>4</sub> y el oxígeno del aire puede ocasionar un incendio y en este caso se inyectara nitrógeno gaseoso para desplazar el aire hasta un mínimo que alcance un 1% de oxígeno e inyectar el gas (CH<sub>4</sub>) para que sea una operación segura.

El Nitrógeno es un gas inerte, sin olor, sin color, no corrosivo, extremadamente frío y no inflamables. Es de notar que a muy altas temperaturas en unión de ciertos metales forman nitruros, con el Oxígeno forman óxidos y con el Hidrógeno en presencia de catalizadores forma amoníaco. Del Nitrógeno se pueden sacar dos grandes propiedades que son explotadas: Su baja temperatura en estado líquido (-196° C) y su característica de inerte.

##### **4.1.1 Propiedades del Nitrógeno**

A continuación la tabla 1 muestra las propiedades más importantes del hidrógeno

**Tabla 1** Propiedades del Nitrógeno

PROPIEDADES DEL NITROGENO	Unidades U.S.	Unidades S.I.
Fórmula química	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
Peso molecular	28.01	28.01
Densidad del gas a 70 F y 1 Atm	0.072 lb/pie <sup>3</sup>	1.153 kg/m <sup>3</sup>
Gravedad específica del gas a 70 F y 1 Atm	0.967	0.967
Volumen específico a 70 F y 1 Atm	13.89 pie <sup>3</sup> /lb	0.867 m <sup>3</sup> /kg
Densidad del líquido en el pto. Ebullición y 1 Atm.	50.47 lb/pie <sup>3</sup>	808.5 kg/m <sup>3</sup>
Punto de ebullición a 1 Atm	- 320.4 F	- 195.8 C
Punto de fusión a 1 Atm	- 345.8 F	- 209.9 C
Temperatura crítica	- 232.4 F	- 146.9 C
Presión crítica	493 psig	3.399 kpa (abs)
Densidad crítica	19.60 lb/pie <sup>3</sup>	314.9 kg/m <sup>3</sup>
Punto triple a 1.81 psig	-346 F	-210 C
Calor latente de vaporización en pto. De ebullición	85.6 Btu/lb	199.1 kj/kg
Calor latente de fusión en pto. De fusión	11.1 Btu/lb	25.1 kj/kg
Calor específico del gas a 70 F y 1 Atm		
Cp	0.249 Btu/lb	1.04 kj/kg
Cv	0.177 Btu/lb	0.741 kj/kg
Peso del líquido en el pto. De ebullición	6.747 lb/gal	808.5 kg/m <sup>3</sup>

Fuente Mari y Martínez (2020)

#### 4.1.2 Efectos fisiológicos del Nitrógeno

A pesar de ser un gas incoloro, y no tóxico, cuando se trabaja con él y los espacios no son ventilados, el Nitrógeno tiende a desplazar el Oxígeno del aire bajando a los niveles de esto por debajo del 19%, pudiendo las personas que estén en dicha área ser afectadas hasta el punto de asfixiarse. El demasiado frío que produce el N<sub>2</sub> es de sumo cuidado ya que si la piel u ojos están expuestos al N<sub>2</sub> líquido causa daños cutáneos como los producidos con quemaduras con llamas.

Para evitar todos estos riesgos, se debe tener las siguientes precauciones:

1. Las áreas deben estar ventiladas.
2. Usar lentes o caretas de seguridad para su manejo.
3. Uso de guantes con aislamiento que puedan ser quitados rápidamente.
4. Usar impermeables de tipo aislante.
5. Si alguien tiene contacto en la piel u ojos con N<sub>2</sub> líquido deberán llamar de inmediato a un médico y las lesiones deberán ser atendidas con agua fría y no caliente.
6. Si por asfixia deberá colocarse inmediatamente aparatos respiratorios que se requieren para el caso y llamar al médico.

#### **4.1.3 Aplicaciones del Nitrógeno**

Las aplicaciones de los compuestos de nitrógeno son variadas: por lo tanto solo se considerarán las aplicaciones del nitrógeno puro. Dos tercios del nitrógeno producido por la industria se venden en forma de gas y el tercio restante en forma de líquido. El gas de nitrógeno se usa principalmente para crear una atmósfera inerte cuando el oxígeno en el aire pueda dar lugar a un incendio, una explosión o causar oxidación. Algunos ejemplos se muestran en la tabla

**Cuadro 1** Aplicaciones del nitrógeno

INDUSTRIA	APLICACIÓN
-----------	------------

<p style="text-align: center;"><b>INDUSTRIA ALIMENTICIA</b></p>	<p>El gas nitrógeno se utiliza para proporcionar una atmósfera no reactiva. Se usa de esta manera para conservar alimentos. El nitrógeno se utiliza para crear una atmósfera modificada, pura o mezclada con dióxido de carbono, para nitrogenar y preservar la frescura de los alimentos envasados o a granel (retrasando la ranciedad y evitando daños oxidativos, como el cambio de los colores en los alimentos). El nitrógeno puro como aditivo es etiquetado en la Unión Europea con el número E E941.</p>
<p style="text-align: center;"><b>INDUSTRIA DE BOMBILLAS DE LUZ</b></p>	<p>Las bombillas no deben de llenarse con aire debido a que el alambre de tungsteno caliente puede arder en presencia del oxígeno. Tampoco puede hacerse vacío debido a que la presión atmosférica externa rompería el vidrio. Las bombillas deben estar llenas de un gas de tipo no reactivo como por ejemplo el nitrógeno. Podemos usar otros gases inertes como el argón o el helio en lugar de nitrógeno, pero son más caros que el nitrógeno</p>
<p style="text-align: center;"><b>SISTEMAS DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS</b></p>	<p>La supresión del fuego se logra reduciendo la concentración de oxígeno, mientras el nitrógeno permanezca en un nivel aceptable para la exposición humana durante un corto período de tiempo</p>
<p style="text-align: center;"><b>SISTEMAS DE NEUMATICOS DE AVIONES</b></p>	<p>En algunos sistemas de combustible en aviones, el nitrógeno se usa para reducir el peligro de incendios.</p>
<p style="text-align: center;"><b>FABRICACIÓN DE ACERO INOXIDABLE</b></p>	<p>Hay varios casos en los que se puede agregar nitrógeno al acero durante su fabricación, inyectándose durante el procesamiento de afino en el cucharón y en las operaciones de fundición. El nitrógeno influye en la homogenización y eliminación de hidrogeno e impurezas y dar la calidad exigida en el acero</p>
<p style="text-align: center;"><b>LLENADO DE NEUMÁTICOS</b></p>	<p>El nitrógeno se utiliza para inflar los neumáticos de automóviles de carrera y de aviones, reduciendo los problemas causados por la humedad y el oxígeno presente en el aire natural. Es menos probable de que el nitrógeno migre a través del caucho del neumático en comparación con el oxígeno, lo que significa que las presiones de los neumáticos se mantendrán más estables a largo plazo. Esto da lugar a presiones de inflado más constantes a medida que las llantas se calientan.</p>
<p style="text-align: center;"><b>BARRILES DE CERVEZA PRESURIZADOS</b></p>	<p>El nitrógeno puede usarse como un reemplazo, o en combinación con el dióxido de carbono para presurizar los barriles de algunas cervezas, particularmente las cervezas de tipo Stout y British Ale, debido a las burbujas más pequeñas que produce, lo que hace que la cerveza dispensada sea más suave y atractiva. Las cervezas con carga de nitrógeno se pueden envasar en latas y botellas.</p>
<p style="text-align: center;"><b>QUÍMICA</b></p>	<p>El nitrógeno se usa comúnmente durante la preparación de las muestras para el análisis químico. Se usa para concentrar</p>

	y reducir el volumen de muestras líquidas. El nitrógeno también es importante para la industria química. Se utiliza en la producción de fertilizantes, ácido nítrico, nylon, tintes y explosivos.
--	---

Fuente Mari y Martínez (2020)

## 4.2 - Identificar las condiciones de flujo del N<sub>2</sub>

Considerando que uno de los mayores problemas que presenta el uso del Nitrógeno es el almacenamiento, este se almacena de dos formas:

1. En estado gaseoso, se almacena en cilindros
2. En estado líquido, se almacenan en tanques criogénicos diseñados especialmente para resguardarlos térmicamente. (Ver anexo A)

El nitrógeno líquido se almacena en tanques criogénicos hasta de 1.000.000 lts, y su presentación viene así:

Estado líquido en tanques criogénicos desde 1.000-50.000 lts estacionario en clientes, normalmente se utiliza en forma gaseosa y colocado aguas abajo un vaporizador ambiental (convierte el líquido a gas) con un sistema de regulación.

Para menores consumidores se usan los termos criogénicos de 20 a 800lts, y clientes que utilizan pequeñas cantidades se suministra en cilindros de alta presión hasta 3.000 psig estos poseen una capacidad hasta 6m<sup>3</sup>. Vienen en presentación de 3m<sup>3</sup>, 2m<sup>3</sup>, existen clientes de alto consumo mayor a 700.000 m<sup>3</sup>/mes. Donde se colocan plantas de producción de N<sub>2</sub> gaseoso y/o de líquido, otra se utilizan tubería (pipe line) desde la planta productora hasta el cliente, pero deben estar muy cercana (contiguas).

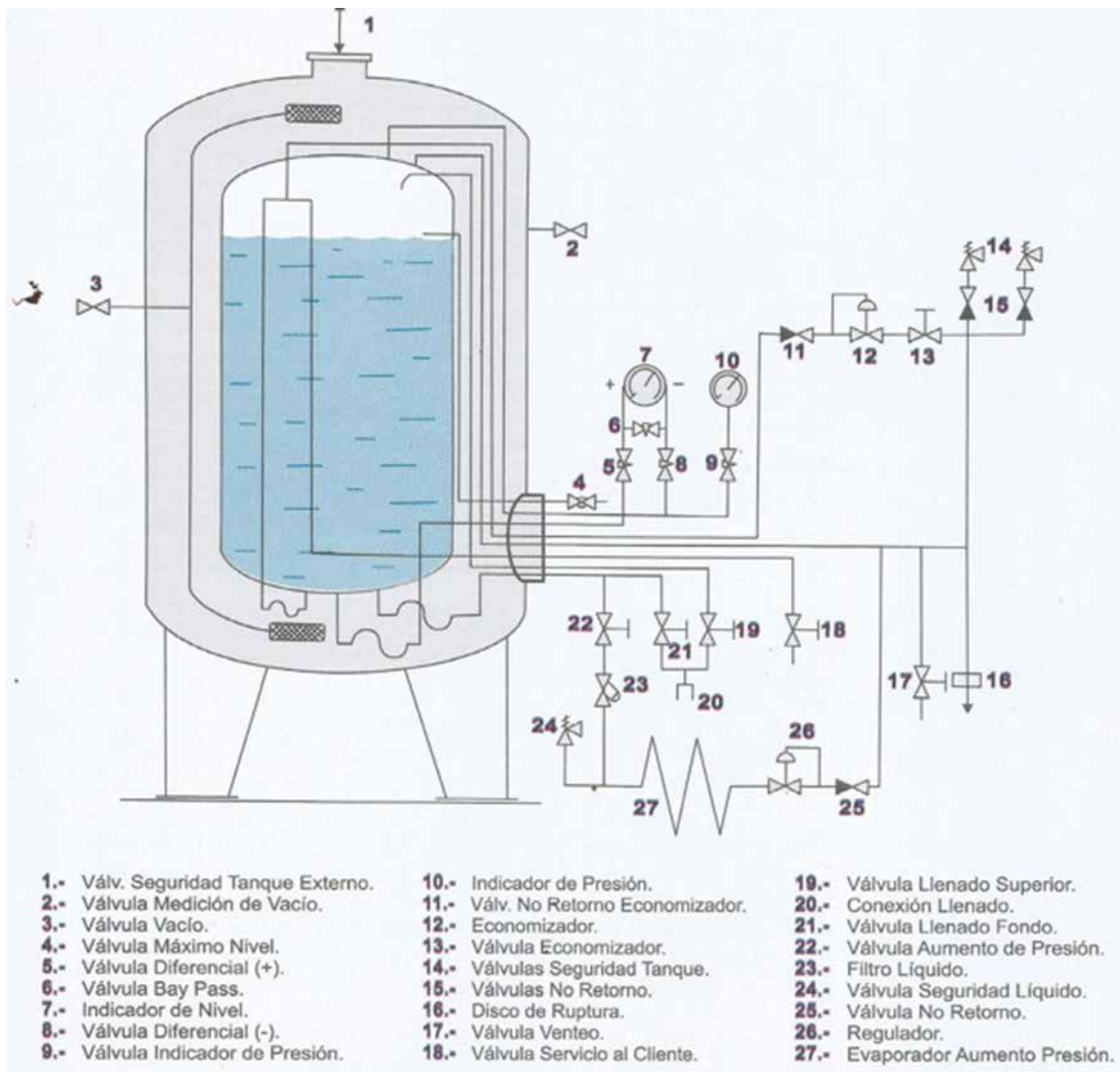
A pesar de la situación actual en el mercado (pandemia, problemas sociales, bloqueos internacionales, pocas demandas de productos, empresas químicas), Oxicar sigue su producción siempre satisfaciendo a la demanda del mercado nacional.

### 4.2.1 Tanques Criogénicos.

Son recipientes diseñados para almacenar líquidos criogénicos (O<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-Ar)

por largos periodos, con el mínimo de evaporación evitando perdidas de producto. También pueden operar como estación de distribución de producto en estado gaseoso o líquido, según caudales y presión requeridos.

Los tanques criogénicos están compuesto por un tanque interno de acero inoxidable ensamblado concéntricamente de otro tanque de acero al carbono, el espacio entre estos dos tanques se define como el espacio anular y es cubierto con un material aislante de baja conductividad térmica y expuesto al vacío, logrando un total aislamiento del conjunto, así como una transferencia de calor despreciable y una evaporación mínima (ver anexo B)



## Figura 2 Tanque Criogénico

### 4.2.2 Descripción de un Tanque Criogénico.

Un tanque criogénico es aquel que almacena líquido cuyas temperaturas de ebullición está por debajo de los  $-150^{\circ}\text{C}$ . Para lograr este almacenaje por un tiempo determinado es necesario que entre los líquidos criogénicos y el medio ambiente no exista transferencia de calos alguna. Es por estos que el tanque criogénico está constituido por un tanque de acero inoxidable colocado concéntricamente dentro de un tanque de acero al carbono.

El tanque interno contiene al líquido criogénico y de él entran y salen tuberías que contienen fluido criogénico en sus dos fases: líquido y gas. El espacio existente entre el tanque interno y el externo se llama espacio anular y es de suma importancia, ya que de él depende el correcto aislamiento del fluido criogénico. Este espacio es sometido al vacío para eliminar la transferencia de calor por convección y además es llenado con un material aislante de baja emisividad y conductividad térmica, llamada perlita para reducir a un mínimo la transferencia de radiación y por conducción.

### 4.2.3 Sistema de Llenado de un Tanque Criogénico.

Un tanque criogénico es posible llenarlo de tres formas:

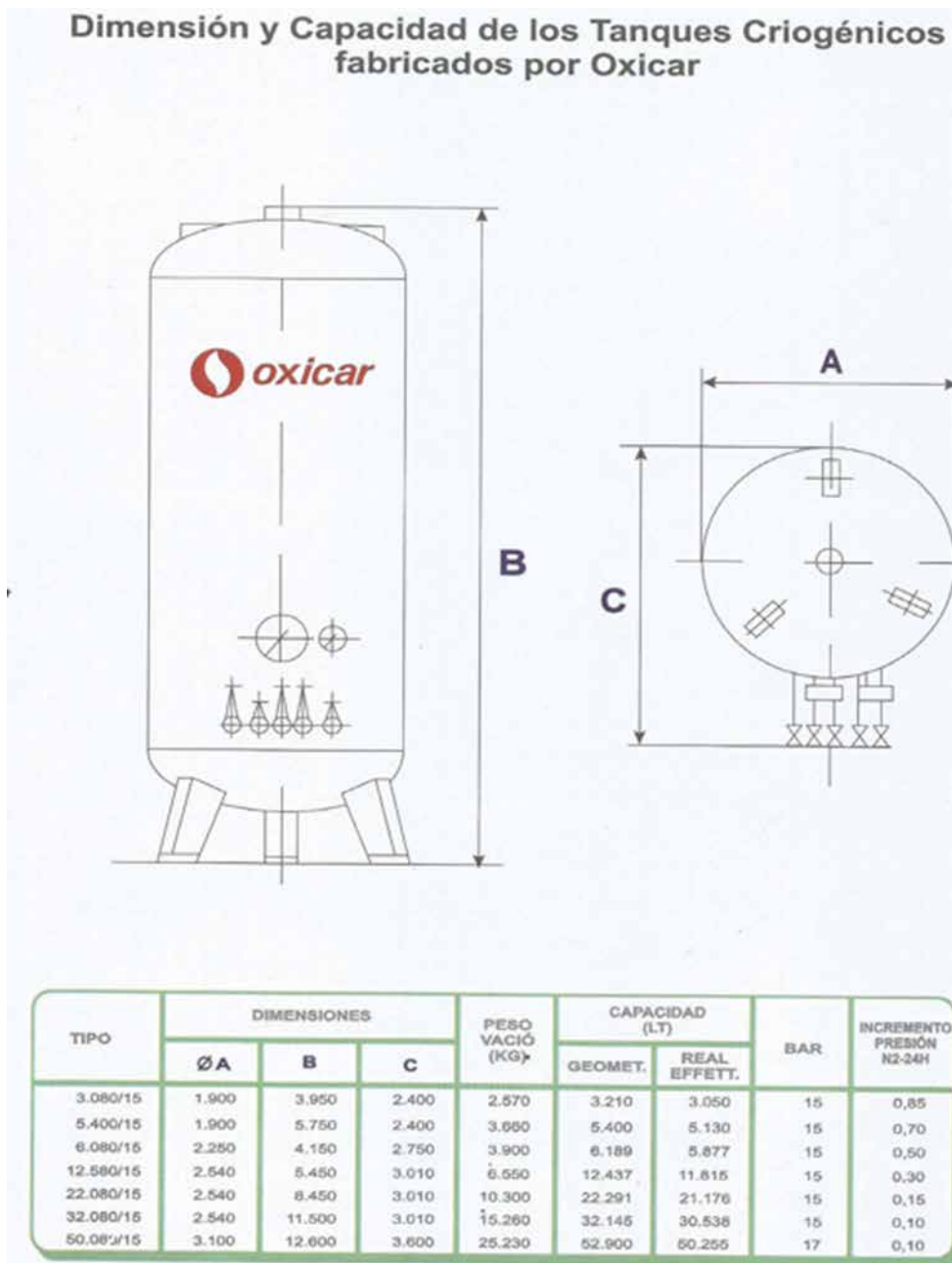
- 1- Tope.
- 2- Fondo.
- 3- Por ambos al mismo tiempo.

**1- Llenado por el tope:** se hace cuando la presión en la cámara de gas está por encima de la presión de trabajo del cliente, es decir muy cercana a la presión de la bomba de llenado, de manera tal que la presión baje por condensación del gas al contacto con el líquido.

**2-Llenado por el fondo:** se hace cuando la presión dentro del tanque está ligeramente por debajo de la presión de trabajo del cliente.

**3- Ambos al mismo tiempo:** se hace para mantener la presión dentro del tanque

aproximadamente constante por defecto de evaporación y condensaciones simultaneas. El sistema de llenado está compuesto por dos válvulas de líquido (vástago largo), una de llenado por el tope y otra para llenado por el fondo. La figura muestra un tanque fabricado por Oxicar



### Figura 3 Tanque criogénico Oxicar

Así mismo estos tanques están sometidos a las normas de seguridad para su fabricación y uso (ver figura 4)

Señalización Reglamentaria y Recomendaciones de Seguridad en la instalación criogénica.

The diagram shows a cryogenic tank with the 'oxicar' logo. On the front panel, there are several safety labels: a hazard diamond (top), a UN number label (middle), a fiscal registration label (bottom), a risk warning label (bottom), and a process diagram label (bottom). The hazard diamond is divided into four quadrants: red (top), blue (left), yellow (right), and white (bottom). The numbers '3' and '0' are in the blue and yellow quadrants respectively. The text 'OX' is in the white quadrant. The UN number label shows '1073' for Oxygen, '1977' for Nitrogen, and '1951' for Argon. The fiscal registration label shows 'RIF.: J - 00027609 - 9' and 'Registro Información Fiscal de Oxígeno Carabobo C.A. - OXICAR'. The risk warning label says 'Advertencia de Riesgo según contenido del tanque'. The process diagram label says 'Diagrama de Proceso del Tanque Criogénico'. Below the tank, there are two sections: 'Prohibiciones en el área de la instalación criogénica:' and 'Precauciones en el área de la instalación criogénica:'. The prohibitions include: FUMAR, use of phosphorus or lighters, use of tools containing hydrocarbons, obstructing or removing safety signs, and unauthorized persons in the area. The precautions include: no parking in adjacent areas, no parking of transport units, and use of personal protective equipment.

**ROMBO N.F.P.A**

**OXIGENO**      **NITRÓGENO - ARGÓN**

**1073**  
UN: Oxígeno

**1977**  
UN: Nitrógeno

**1951**  
UN: Argón

**RIF.: J - 00027609 - 9**  
Registro Información Fiscal  
de Oxígeno Carabobo C.A. - OXICAR

**Advertencia de Riesgo según contenido del tanque**

**Diagrama de Proceso del Tanque Criogénico**

**Prohibiciones en el área de la instalación criogénica:**

- FUMAR.
- El uso de fósforos o encendedores.
- El uso de herramientas que contengan hidrocarburos.
- Obstruir o quitar señales de advertencia o seguridad.
- La permanencia de personas ajenas al área.

**Precauciones en el área de la instalación criogénica:**

- No permitir el estacionamiento de vehículos en áreas adyacentes, a excepción de aquellos que transporten el producto criogénico o realicen Servicios Técnicos.
- No permitir que las unidades que transporten el producto criogénico queden mal estacionadas o fuera de los trazados permitidos.
- Utilizar los equipos de protección personal.

Figura 4 Medidas de seguridad en los tanques

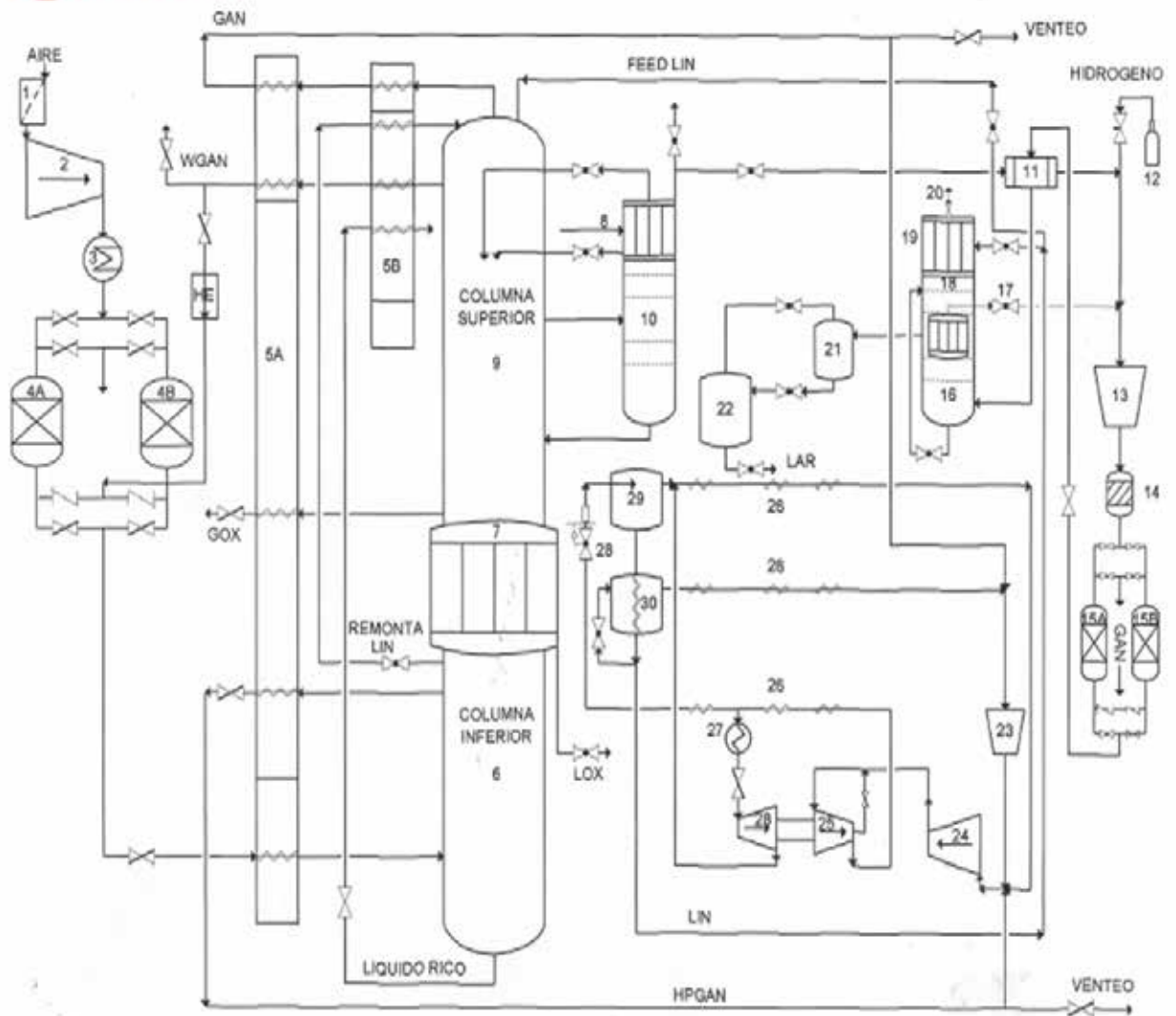


Figura 5 Diagrama Licuefacción Oxicar

### 4.3 Variables que afectan en la medición del flujo de nitrógeno

Existen dos tipos de variables involucradas en la medición del caudal del hidrógeno, las externas y las inherentes al fluido.

#### 4.3.1 Variables externas

Éstas tienen que ver con los elementos que forman parte del instrumento

de medición, además de la presión y temperatura. La tabla muestra los diferentes equipos de medidores de caudal

Cuadro 2 Equipos de medidores de flujo

<b>Medidores Volumétricos</b>		
<b>Sistema</b>	<b>Elemento</b>	<b>Transmisor</b>
Presión Diferencial	Placa Orificio Tobera Tubo Venturi Tubo Pitot Tubo Annubar	Equilibrio de fuerzas Silicio fundido
Area Variable	Rotámetro	Equilibrio de movimientos Potenciométrico Puente de impedancias
Velocidad	Vertedero con flotador en canales abiertos Turbina Transductores ultrasónicos	Potenciométrico Piezoeléctrico
Fuerza	Placa de impacto	Equilibrio de fuerzas Galgas extensométricas
Tensión Inducida	Medidor Magnético	Convertidor Potenciométrico
Desplazamiento Positivo	Disco Giratorio Pistón Oscilante Pistón Alternativo Medidor Rotativo	Generador tacométrico o transductor de impulsos
Torbellino	Medidor de frecuencia de termistancia o condensador de ultrasonidos	Transductor de resistencia
<b>Medidores de Caudal de Masa</b>		
Térmico	Diferencia de temperatura en dos sondas de resistencia	Puente de Wheatstone
Momento	Medidor axial Medidor axial de doble turbina	Convertidor de par
Par giroscopio	Tubo giroscopio	Convertidor de par
Presión Diferencial	Puente Hidráulico	Equilibrio de fuerzas

-Rugosidad superficial del material del medidor, en este caso de la placa orificio, ya que si es un material poroso, variaría la medición del flujo de nitrógeno ya sea por variación de presión y velocidad.

-Las propiedades térmicas del material de la placa orificio, ya que la velocidad y la presión de equilibrio del nitrógeno dependen fuertemente de la temperatura.

-Presión de la tubería, el paso del flujo dependerá, según Bernoulli, de la energía

de presión, la cinética y la potencia'.

-La temperatura, otra variable, que afecta al fluido, ella cambia o modifica la densidad y viscosidad del flujo.

- Rango del diferencia de presión, si se tiene un rango muy pequeño la apreciación va a ser muy poca del caudal a medir.

- Válvulas aguas abajo o aguas arriba que no mantenga una distancia mínima de la placa de orificio ya que desvirtúan la recuperación del fluido (efecto de la vena c  
Válvulas muy cerca de la vena contrata no dejaría que el fluido se recurara a tiempo causando un lectura errónea contrato)

#### **4.3.2 Variables internas**

Viscosidad El efecto de la presión sobre la viscosidad de los gases es tan pequeño que no tiene interés practico en la mayor parte de problemas de flujos .Mas bien la viscosidad responde a la pérdidas de energía asociadas con el fluido en tuberías. Además la viscosidad se relaciona más con la turbulencia. La velocidad de deformación de un fluido está ligada directamente a su viscosidad, a mayor viscosidad menor deformación

Densidad Es importante destacar que la densidad de los gases varia grandemente con los cambios de presión.

Densidad relativa.

Peso específico

Tipo de Flujo

#### **4.4 Diseñar la placa orificio con las condiciones específicas**

En las tuberías, como elementos para control de flujo se usan placas orificios como método de medición y control. Para flujos incompresibles, en tuberías con placa orificio se caracteriza por las ecuaciones de flujo volumétrico,

densidad del gas se puede definir.



Donde  $C_0$  tiene en cuenta la energía cinética de aproximación en un orificio y  $C_d$  coeficiente descarga tiene en cuenta el efecto de la construcción de la vena agua abajo, la velocidad se acelera y se puede esperar una recuperación de la presión, la distancia de recuperación es una distancia de 4 a 8 veces el diámetro de la tubería.

El  $C_0$  es aproximado 0,6 a 0,7, para Reynolds más abajo en función de Reynolds para el cálculo tomaremos en cuenta las especificaciones de las normas ansi/api/basado en el manual de asociación americana de petróleo. El cuadro 3 muestra el significado de cada término de la ecuación.

**Cuadro 3** Términos del cálculo de flujo

Fa	Factor de expansión térmica orificio	Fpv	Supercompresibilidad
Fb	Factor de Orificio	Fr	Número de Reynolds
Fg	Factor de gravedad específica	Fw	Factor de localización
Fm	Factor manométrico	Ftf	Factor de temperatura de flujo
Fpb	Factor base de presión	Ftb	Factor de temperatura
Hw	Medidor presión diferencial pulg H <sub>2</sub> O	Pf	Presión estática
Y	Factor de expansión	Qh	Flujo

**Fuente** Mari y Martínez (2020)

Se usa:



Ecuación para cálculo de flujo, orificio gas.

$$\frac{Q_h}{F_b \cdot F_{fb} \cdot F_{ft} \cdot f_{pv} \cdot F_g \cdot F_r \cdot Y \cdot F_{tb} \cdot F_m \cdot F_a \cdot F_w} \quad (\text{Ec. 1}).$$

Simplificando:

$$Q_h = F_b \cdot F_{ft} \cdot F_g \cdot \frac{Q_h}{F_b \cdot F_{fb} \cdot F_{ft} \cdot f_{pv} \cdot F_g \cdot F_r \cdot Y \cdot F_{tb} \cdot F_m \cdot F_a \cdot F_w} \quad (\text{Ec. 2}).$$

Re organizando:

$$H_w = \frac{Q_h}{F_b \cdot F_{ft} \cdot F_g} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde las unidades se muestran en el cuadro 4

**Cuadro 4** Unidades

VARIABLE	UNIDADES
Hw	Pulg H <sub>2</sub> O
Qh	Pie <sup>3</sup> / hr
Fb	Adimensional
Ftf	Adimensional
Fg	Adimensional

Fuente Mari y Martínez (2020)

Para calcular Fb, Fg y Ftf se usan las tablas 2,3, y 4.

**Tabla 2** Factor de orificio Fb

Orifice Diameter Inches	Pipe Sizes, Nominal and Published Inside Diameters, in inches								
	2			3			4		
	1.687	1.939	2.067	2.300	2.624	2.900	3.068	3.152	3.438
0.250	12.696	12.708	12.711	12.714	12.712	12.708	12.705	12.703	12.697
0.375	28.475	28.440	28.428	28.411	28.394	28.382	28.376	28.373	28.364
0.500	50.780	50.588	50.523	50.436	50.358	50.314	50.293	50.285	50.260
0.625	80.099	79.510	79.313	79.054	78.820	78.689	78.627	78.600	78.525
0.750	117.11	115.62	115.14	114.52	113.99	113.70	113.56	118.50	113.33
0.875	162.99	159.56	158.48	157.13	156.01	155.41	155.15	155.03	154.71
1.000	219.86	212.47	210.23	207.44	205.19	204.05	203.55	203.33	202.76
1.125	291.16	276.20	271.71	266.36	262.09	259.95	259.04	258.66	257.64
1.250	386.36	353.59	345.14	335.13	327.43	323.64	322.04	321.37	319.61
1.375		448.60	433.51	415.76	402.25	395.81	393.09	391.98	389.04
1.500			542.29	510.87	488.09	477.37	472.97	471.15	466.40
1.625				623.93	587.00	569.66	562.60	559.74	552.32
1.750					701.53	674.46	663.43	658.98	647.56
1.875					835.32	793.90	777.20	770.46	753.18
2.000						930.67	906.03	896.08	870.61
2.125						1091.2	1052.5	1038.2	1001.5
2.250							1223.2	1199.9	1147.7
2.375									1311.7
2.500									1498.5

Fuente Manual del instituto de petróleos americanos

**Tabla3** Gravedad Específica Fg

$$F_g = \sqrt{\frac{10000}{G}}$$

Specific gravity G	Factor Fg	Specific gravity G	Factor Fg	Specific gravity G	Factor Fg	Specific gravity G	Factor Fg
0.500	1.4142	0.675	1.2172	0.850	1.0847	1.05	0.9759
0.505	1.4072	0.680	1.2127	0.855	1.0815	1.06	0.9713
0.510	1.4003	0.685	1.2082	0.860	1.0783	1.07	0.9667
0.515	1.3932	0.690	1.2039	0.865	1.0752	1.08	0.9623
0.520	1.3868	0.695	1.1995	0.870	1.0721	1.09	0.9578
0.525	1.3801	0.700	1.1952	0.875	1.0690	1.10	0.9535
0.530	1.3736	0.705	1.1910	0.880	1.0660	1.11	0.9492
0.535	1.3672	0.710	1.1868	0.885	1.0630	1.12	0.9449
0.540	1.3608	0.715	1.1826	0.890	1.0600	1.13	0.9407
0.545	1.3546	0.720	1.1785	0.895	1.0570	1.14	0.9366
0.550	1.3484	0.725	1.1744	0.900	1.0541	1.15	0.9325
0.555	1.3423	0.730	1.1704	0.905	1.0512	1.16	0.9285
0.560	1.3363	0.735	1.1664	0.910	1.0483	1.17	0.9245
0.565	1.3304	0.740	1.1625	0.915	1.0454	1.18	0.9206
0.570	1.3245	0.745	1.1586	0.920	1.0426	1.19	0.9167
0.575	1.3188	0.750	1.1547	0.925	1.0398	1.20	0.9129
0.580	1.3131	0.755	1.1509	0.930	1.0370	1.21	0.9091
0.585	1.3074	0.760	1.1471	0.935	1.0342	1.22	0.9054
0.590	1.3019	0.765	1.1433	0.940	1.0314	1.23	0.9017
0.595	1.2964	0.770	1.1396	0.945	1.0287	1.24	0.8980
0.600	1.2910	0.775	1.1359	0.950	1.0260	1.25	0.8944
0.605	1.2856	0.780	1.1323	0.955	1.0233	1.26	0.8909
0.610	1.2804	0.785	1.1287	0.960	1.0206	1.27	0.8874
0.615	1.2752	0.790	1.1251	0.965	1.0180	1.28	0.8839
0.620	1.2700	0.795	1.1215	0.970	1.0153	1.29	0.8805
0.625	1.2649	0.800	1.1180	0.975	1.0127	1.30	0.8771
0.630	1.2599	0.805	1.1146	0.980	1.0102	1.31	0.8737
0.635	1.2549	0.810	1.1111	0.985	1.0076	1.32	0.8704
0.640	1.2500	0.815	1.1077	0.990	1.0050	1.33	0.8671
0.645	1.2451	0.820	1.1043	0.995	1.0025	1.34	0.8639
0.650	1.2403	0.825	1.1010	1.00	1.0000	1.35	0.8607
0.655	1.2356	0.830	1.0976	1.01	0.9950	1.36	0.8575
0.660	1.2309	0.835	1.0944	1.02	0.9901	1.37	0.8544
0.665	1.2263	0.840	1.0911	1.03	0.9853	1.38	0.8513
0.670	1.2217	0.845	1.0879	1.04	0.9806	1.39	0.8482

Fuente Manual del instituto de petróleos americanos

Tabla4 Factor de temperatura de flujo F<sub>tf</sub>

$$F_{tf} = \sqrt{\frac{520}{460 + \text{actual flowing temperature}}}$$

°F	Factor	°F	Factor	°F	Factor	°F	Factor	°F	Factor	°F	Factor
1	1.0621	21	1.0398	41	1.0188	61	0.9990	81	0.9804	110	0.9551
2	1.0609	22	1.0387	42	1.0178	62	0.9981	82	0.9795	120	0.9469
3	1.0598	23	1.0376	43	1.0168	63	0.9971	83	0.9786	130	0.9388
4	1.0586	24	1.0365	44	1.0157	64	0.9962	84	0.9777	140	0.9309
5	1.0575	25	1.0355	45	1.0147	65	0.9952	85	0.9768	150	0.9233
6	1.0564	26	1.0344	46	1.0137	66	0.9943	86	0.9759	160	0.9158
7	1.0552	27	1.0333	47	1.0127	67	0.9933	87	0.9750	170	0.9085
8	1.0541	28	1.0323	48	1.0117	68	0.9924	88	0.9741	180	0.9014
9	1.0530	29	1.0312	49	1.0107	69	0.9915	89	0.9732	190	0.8944
10	1.0518	30	1.0302	50	1.0098	70	0.9905	90	0.9723	200	0.8876
11	1.0507	31	1.0291	51	1.0088	71	0.9896	91	0.9715	210	0.8810
12	1.0496	32	1.0281	52	1.0078	72	0.9887	92	0.9706	220	0.8745
13	1.0485	33	1.0270	53	1.0068	73	0.9877	93	0.9697	230	0.8681
14	1.0474	34	1.0260	54	1.0058	74	0.9868	94	0.9688	240	0.8619
15	1.0463	35	1.0249	55	1.0048	75	0.9859	95	0.9680	250	0.8558
16	1.0452	36	1.0239	56	1.0039	76	0.9850	96	0.9671	260	0.8498
17	1.0441	37	1.0229	57	1.0029	77	0.9840	97	0.9662	270	0.8440
18	1.0430	38	1.0219	58	1.0019	78	0.9831	98	0.9653	280	0.8383
19	1.0419	39	1.0208	59	1.0010	79	0.9822	99	0.9645	290	0.8327
20	1.0408	40	1.0198	60	1.0000	80	0.9813	100	0.9636	300	0.8272

Fuente Manual del instituto de petróleos americanos

Dada la ecuación (3): Calcularemos H<sub>w</sub> (pulg H<sub>2</sub>O) para determinar la placa a diseñar.

$$H_w = \frac{\text{-----}}{\text{-----}}$$

Presión Absoluta= presión manométrica + presión atmosférica

$$P_a = P_f$$

$$P_a = 50 \text{ Psi} + 14,7 \text{ Psi}$$

$$P_a = 64,7 \text{ Psi.}$$

Selección de placa (Calculo típico).

Placa= 0.250 Pulg (Tomado de tabla F<sub>b</sub> para una tubería 2”).

Flujo (Q<sub>h</sub>)= 1141 Pie<sup>3</sup>/h. (Caudal mínimo).

Fb= 12,696 (Tabla de factor de orificio, diámetro interno de tubería 2 Pulg).

Ftf= 0,9759 (Tabla de factor de temperatura de flujo, a temperatura ambiente aprox. 30 c = 86 F).

Fg= 1,0140 (Tabla de factor de gravedad).

Sustituyendo en la ec (3) los valores obtenidos son:

$$H_w = \frac{\dots}{\dots} \frac{\dots}{\dots} \frac{\dots}{\dots}$$

$$H_w = 128 \text{ Pulg H}_2\text{O}.$$

Ahora para un Flujo Qh= 5706 Pie<sup>3</sup>/h (flujo máximo)

$$H_w = \frac{\dots}{\dots} \frac{\dots}{\dots} \frac{\dots}{\dots}$$

$$3.188 \text{ Pulg H}_2\text{O}$$

#### 4.4.1 Preselección de la placa orificio

A continuación se muestra la tabla donde están los cálculos de preselección de la placa orificio

**Tabla5** Cálculo de pre selección de placa

Flujo Q (NM3/H)	Flujo Q (PIE3/H)	Diámetro Tubería (PULG)	Diámetro de placa de orificio (PULG)	Diámetro interno Fb	Hw (PULG H2O)
30 (min) 150 (max)	1.141 5.706	2	0,250	12,696	128 3.188
30 (min) 150 (max)	1.141 5.706	2	0,375	28,475	25 649
30 (min) 150 (max)	1.141 5.706	2	0,500	50,780	8 204
30 (min) 150 (max)	1.141 5.706	2	0,625	80,099	3 82
30 (min) 150 (max)	1.141 5.706	2	0,750	117,11	1 39
30 (min) 150 (max)	1.141 5.706	2	0,875	162,99	0 20
30 (min) 150 (max)	1.141 5.706	2	1,000	219,86	0 11
30 (min) 150 (max)	1.141 5.706	2	1,125	291,16	0 6
30 (min) 150 (max)	1.141 5.706	2	1,250	386,36	0 4

Fuente Mari Martinez (2020)

A partir de un diámetro de placa de orificio de 0,750 Pulg, no se puede seleccionar una placa de orificio con las condiciones de flujo máximo y mínimo de (30NM3/H 150NM3/H) a una presión de 50 psi, ya que no se obtendrá una apreciación de lectura, debido a que el diferencial de flujo es muy pequeño y no da ninguna lectura de presión diferencial.

Para el diseño de placa de orificio se ha seleccionado la placa con las condiciones mostradas en la tabla 6.

**Tabla 6** Variables de diseño

Diámetro de tubería	2 pulg
Diámetro de orificio	0,500pulg ½ pulg
Pulg H <sub>2</sub> O MIN	8
Pulg H <sub>2</sub> O MAX	204
Flujo Min	30 m <sup>3</sup> /h
Flujo Max	150 m <sup>3</sup> /h
Presión	50 Psi

Fuente Mari Martínez (2020)

Esta cumple con las condiciones, y se puede obtener una buena apreciación

#### 4.4.2 Selección de placa de orificio

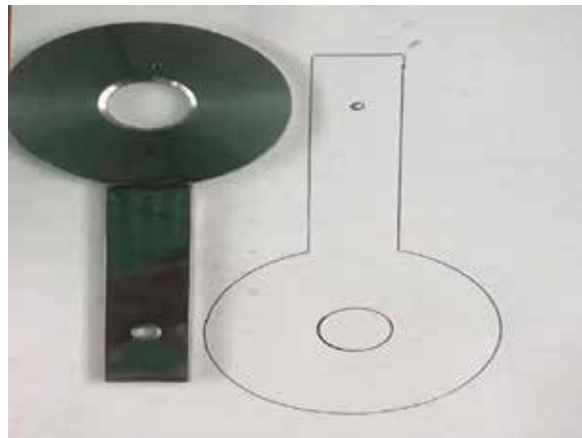
Utilizando la ecuación (3)  $H_w = \frac{Q^2}{C^2 D^5}$  se tiene la tabla 7

**Tabla 7** Variables obtenidas para el diseño

Flujo Q (NM <sup>3</sup> /H)	Flujo Q (PIE <sup>3</sup> /H)	Placa de orificio (PULG)	Presión (PSIA)	Diámetro Tubería (PULG)	Diámetro interno Fb	Hw (PULG H <sub>2</sub> O)
30	1.141	0,500	64,7	2	50,780	8
40	1.521	0,500	64,7	2	50,780	14
50	1.902	0,500	64,7	2	50,780	22
60	2.282	0,500	64,7	2	50,780	32
70	2.662	0,500	64,7	2	50,780	43
80	3.043	0,500	64,7	2	50,780	57
90	3.423	0,500	64,7	2	50,780	71
100	3.804	0,500	64,7	2	50,780	89
110	4.184	0,500	64,7	2	50,780	108
120	4.564	0,500	64,7	2	50,780	128

130	4.945	0,500	64,7	2	50,780	150
140	5.325	0,500	64,7	2	50,780	174
150	5.706	0,500	64,7	2	50,780	204

Fuente Mari Martínez (2020)



**Figura 6 Placa orificio diseñada**

**Fuente Mari y Martínez (2020)**

#### 4.4.3 Selección del material

En función de los fluidos existen: oxidantes (Oxígeno), corrosivos, combustibles (Hidrógeno) y otros que contienen partículas, humedad que pudieran deteriorar la geometría y corroer el material de la placa, y a su vez se puede trabajar con diversos tipos de fluidos para la misma placa (Oxígeno o Nitrógeno). Para minimizar cualquiera de estos daños a la placa, el material a seleccionar debe ser el más adecuado para soportar el ataque de estas condiciones, el material más recomendado en esta placa es el acero inoxidable 304, inclusive por los fabricantes. Para evitar en especial el ataque por partículas sólidas que pudieran tener los fluidos las placas deben ser pulidas.(ver anexo C).

En este caso no se puede fabricar de acero al carbono ya que su funcionamiento sería afectado, siendo deteriorado y afectando su funcionamiento, incluso el fabricante recomienda siempre acero inoxidable 304. Se selecciona acero inoxidable 304 por que las placas deben ser libre de mantenimiento, para que se mantenga pulido todo el tiempo evitando picaduras ya que esta causaría problemas en la medición.

La selección se hace en función que debe ser un acero inoxidable por las condiciones de trabajo, y del flujo de hidrógeno, es por esto que se seleccionó un acero Acero Inoxidable AISI 304, Acero inoxidable austenítico, aleado con cromo, níquel y bajo contenido de carbono que presenta una buena resistencia a la corrosión. No requiere un tratamiento posterior al proceso de soldadura; tiene Propiedades para embutido profundo, no es templable ni magnético. Puede ser fácilmente trabajado en frío (por ejemplo 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.

. Se utiliza en la fabricación de elementos de máquinas, álabes de turbinas, válvulas, etc. La tabla muestra su composición. La tablas 8 y 9 muestran sus características técnicas.

Tabla 8 Características Técnicas del Acero 304

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE			SERIE 300		
			Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno	
DESIGNACIÓN	TIPO AISI		<b>304</b>	<b>316</b>	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA		C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 18% - 20%* Ni 8% - 10,5%*	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 16% - 18%* Ni 10% - 14%* Mo 2% - 2.5%*	
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD)	(g/cm <sup>3</sup> )	7.9	7.95 - 7.98	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD	(N/mm <sup>2</sup> )	193,000	193,000	
	ESTRUCTURA		AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20C	(J/Kg K)	500	500	
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C	(W/m K)	15 / 16	15 / 16	
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C	(x 10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup> )	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5	
	INTERVALO DE FUSIÓN	(C)	13981454	13711398	
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO		AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008	
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C	(μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74	
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		130150 / 180330	130185 / -	
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		7088 / 1035	7085 / -	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -	
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	Rp (N/mm <sup>2</sup> )	210 / 230	205410 / -	
	ELONGACIÓN (A <sub>5</sub> ) MIN	(%)	≥ 45		
	RESILIENCIA KCU / KVL	(J/cm <sup>2</sup> )	160 / 180	160 / 180	
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300C/400C/500C	(N/mm <sup>2</sup> )	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		RP(1) A 300C/400C/500C	(N/mm <sup>2</sup> )	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C	σ <sub>1</sub> /10 <sup>6</sup> /t (N/mm <sup>2</sup> )	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5	
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL	(OC)	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	
	TEMPLADO		NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE	
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL	(C)	1200 / 925	1200 / 925	
OTRAS PROPIEDADES	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE		925 / 840	925 / 840	
	SOLDABILIDAD		MUY BUENA	MUY BUENA	
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112		45%	45%	
	EMBUTICIÓN		MUY BUENA	BUENA	

\* Son aceptables tolerancias de un 1%

**Tabla 9** Composición del Acero AISI 304

		Inox 304 Composicion Quimica % ( $\leq$ )							
ASTM	AISI (UNS)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
ASTM A240/A240M	SS 304 (S30400)	0.07	0.75	2.00	0.045	0.030	17.5-19.5	8.0-10.5	0.10
ASTM A276A/276M		0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	18.0-20.0	8.0-11.0	-

#### 4.4.4 Propiedades Mecánicas del Acero 304

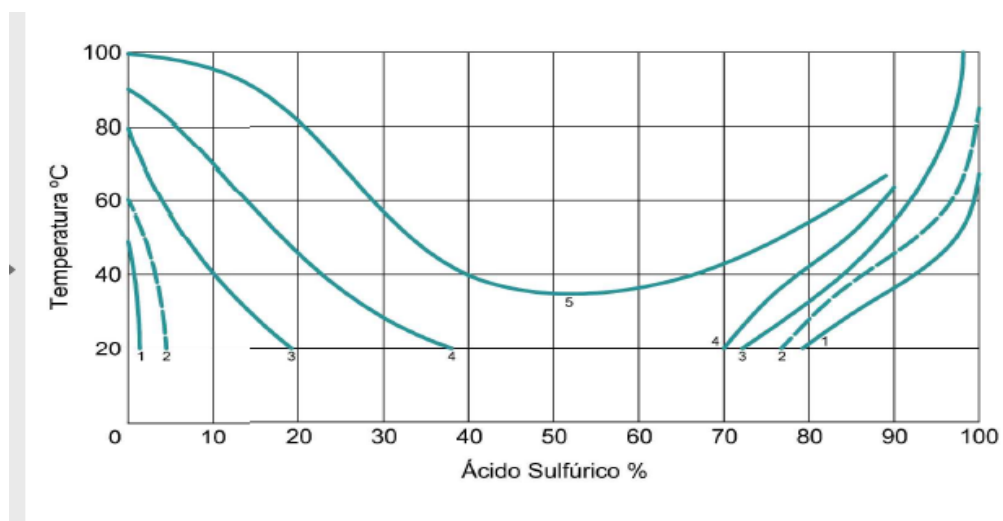
La tabla 10 muestra las propiedades mecánicas del acero seleccionado

Tabla 10 Propiedades mecánicas

		Inox 304 Propiedades Mecanicas				
Acero	Resistencia a la traccion (MPa) $\geq$	Esfuerzo de fluencia (MPa) $\geq$	Elongación en 50 mm (%) $\geq$	Reduccion de area (%)	Dureza (HBW) $\leq$	Condiciones
304	585	235	60	70	149	Barra recocida
	690	415	45		212	Recocido y estirado en frío
	860	655	25		275	Estirado en frío de alta resistencia

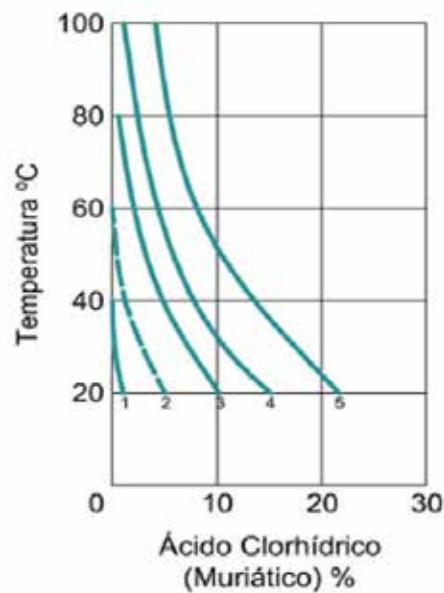
#### 4.4.5 Resistencia a la corrosión

En la figura 7 se observan 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<sup>2</sup> hr. Generalmente, una pérdida de peso de 0.3 gr/m<sup>2</sup> hr (línea segmentada) se considera en el límite tolerable de un acero inoxidable.



Curva	Pérdida de Peso
1	0.1 gr/m <sup>2</sup> ·hr
2	0.3 gr/m <sup>2</sup> ·hr
3	1.0 gr/m <sup>2</sup> ·hr
4	3.0 gr/m <sup>2</sup> ·hr
5	10.0 gr/m <sup>2</sup> ·hr

**Figura 7** Pérdida de peso



#### 4.4.6 Corte del acero 304 para el diseño de la placa

Cada empresa metalmecánica posee su tecnología de corte para la fabricación de placa de orificio, en este caso el fabricante uso corte por máquina de plasma. A continuación se especifican los procedimientos del corte por plasma.

##### **Corte por plasma:**

El fundamento del corte por plasma se basa en elevar la temperatura del material a cortar de una forma muy localizada y por encima de los 20 000 °C, llevando el gas utilizado hasta el cuarto estado de la materia, el plasma, estado en el que los electrones se disocian del átomo y el gas se ioniza (se vuelve conductor).

##### **Procedimiento**

Consiste en provocar un arco eléctrico estrangulado a través de la sección de la boquilla del soplete, sumamente pequeña, lo que concentra extraordinariamente la energía cinética del gas empleado, ionizándolo, y por polaridad adquiere la propiedad de cortar. El corte por plasma se basa en la acción térmica y mecánica de un chorro de gas calentado por un arco eléctrico de corriente continua establecido entre un electrodo ubicado en la antorcha y la pieza

a mecanizar. El chorro de plasma lanzado contra la pieza penetra la totalidad del espesor a cortar, fundiendo y expulsando el material.

La ventaja principal de este sistema radica en su reducido riesgo de deformaciones debido a la compactación calorífica de la zona de corte. También es valorable la economía de los gases aplicables y no atacar al electrodo ni a la pieza. No es recomendable el uso de la cortadora de plasma en piezas pequeñas debido a que la temperatura es tan elevada que la pieza llega a deformarse.

La velocidad de corte por plasma es mayor a los otras formas de corte, se muestran los valores en la figura 8 . Así mismo se muestran en las figura 9 y 10 los procedimientos del corte por plasma

### VELOCIDADES

Material	Espesor (mm)	Velocidad (mm/min)				
		OXICORTE	PLASMA	AGUA	LASER CO <sub>2</sub> (1 Kw)	LASER Nd:YAG (0,8Kw)
Acero	5	700	4500 (*)	200	2200	600
	20	400	2000 (*)	50		-
Inoxidable	3	-	5000 (**)	200	6500	900
	40	-	500 (*)	10 – 20		-
Aluminio	2	-	6000 (**)	800	1000	1200
	40	-	1200 (*)	80		-

(\*) N<sub>2</sub> y 500A

**Figura 8** Comparación de velocidad de corte con otros materiales

### CON AGUA

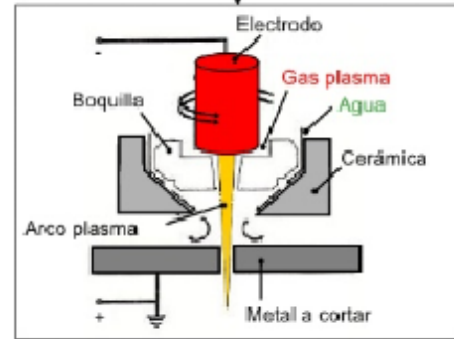
Arco protegido por agua

Arco sumergido

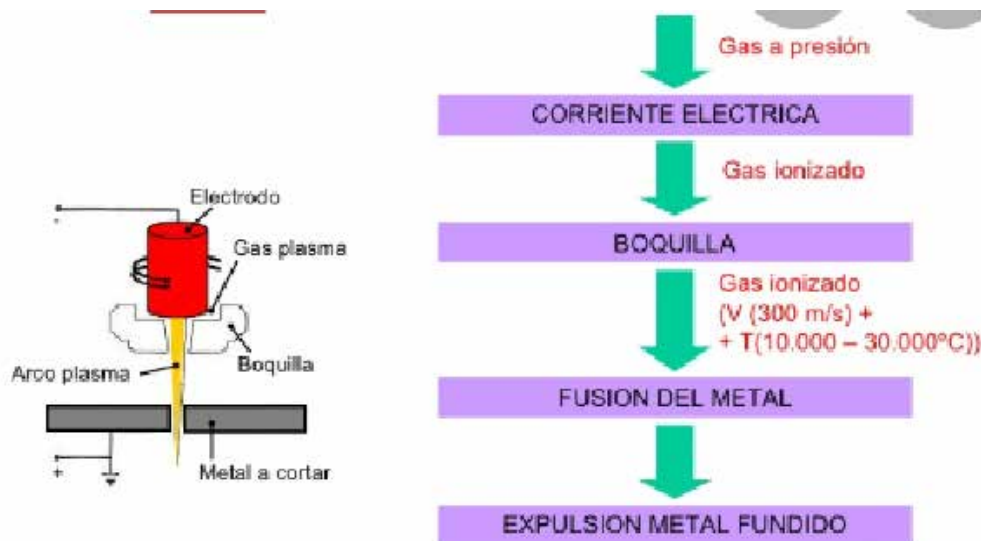
- Reduce ruido y radiación ultravioleta
- Evita formación humos y gases
- Se reduce la velocidad (10 – 20%)
- Peligro de pequeñas explosiones

### ALTA DEFINICION

- Alta densidad de energía
- Mayor calidad de corte
- Mayor velocidad
- Espesores < 10 mm



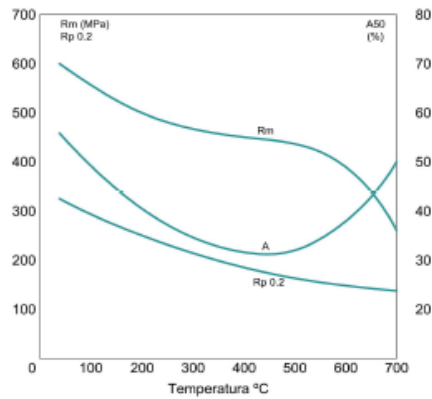
**Figura 9** Características del proceso Plasma



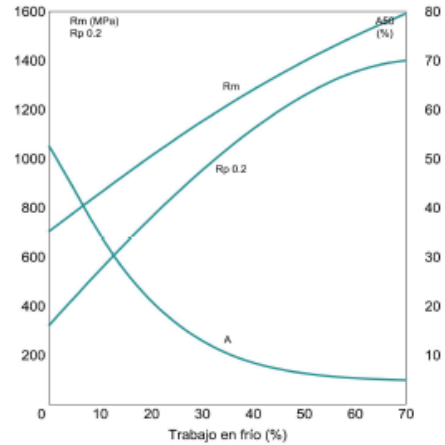
**Figura 10** Procedimiento de corte

#### 4.4.7 Recomendaciones para usar Acero 304

**Efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas**



**Efecto del trabajo en frío en las propiedades mecánicas**



**Figura11** Efectos de la temperatura en las propiedades mecánicas Acero 304

#### RECOMENDACIONES PARA TRABAJAR ACERO AISI 304 Y 316

##### TRATAMIENTO TÉRMICO

Trabajo en caliente (°C)	Enfriamiento	Tratamiento térmico (°C)	Enfriamiento	Estructura
1150 – 850	Aire	1000 – 1100	Agua, aire forzado	Austenítica 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

##### Taladro con broca HSS

Díámetro	20	30	40
Velocidad de corte (vc) m/min	200	200	200
Avance (f) mm/r	0.01	0.12	0.15

**Figura 12** Tratamiento Térmico y taladro con broca HSS

#### 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 fino
Velocidad de corte (vc) m/min	60 – 120	100 – 155
Avance (f) mm/r	0.2 – 0.3	0.2
Profundidad de corte (ap) mm.	≤ 4	≤ 0.6
Mecanizado grupo ISO	M20 – M30	M10

**Figura 13** Torneado y fresado

#### 4.4.8 Pulido de la placa

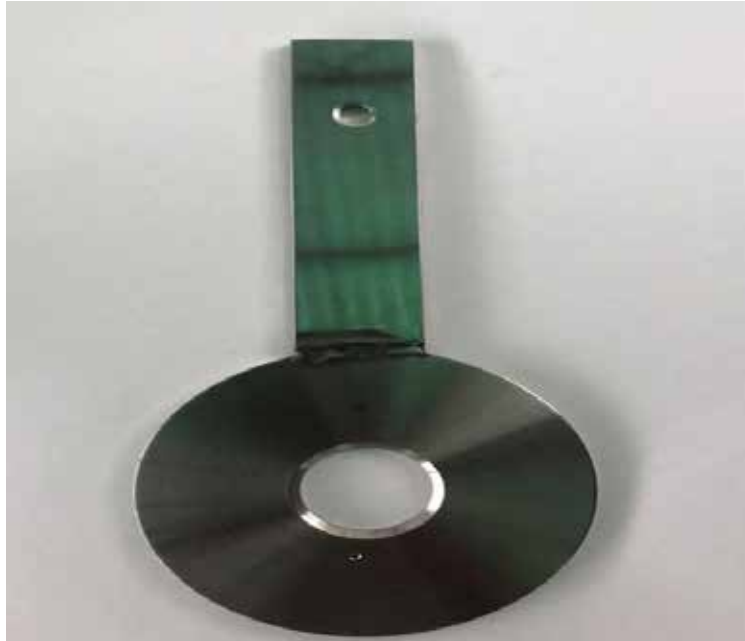
Estas placas están pulidas tipo espejo, para evitar rayones y picaduras.

Paso 1: Para este tipo de acabado se utilizarán discos de Polifán o discos Combidisk de grano grueso, por ejemplo, de grano 40 o 60. Los discos de Polifán van montados directamente en la radial, en cambio, en los discos Combidisk necesitas un plato de goma especial para montarlo, con este se obtienen menos vibraciones, más rendimiento, el material que trabajas se calienta menos y se adapta mejor. Es aconsejable hacer el trabajo con máquinas que regulen las revoluciones de cada Polifán o Combidisk ya que cada aplicación requiere de unas revoluciones predeterminadas para un acabado óptimo.

Paso 2: A continuación se utilizó abanicos de vellón para dejar el material matizado. Hay que elegir entre abanicos con mango o abanicos de núcleo y escoger para cada uno de ellos el grano deseado, por ejemplo, un grano de 180. Prestar atención a las revoluciones máximas recomendadas para cada abrasivo.

Paso 3: Por último se utilizó el Polinox que es un material muy fino. Hay diferentes granos, cualquiera ya irá bien.

Paso 4: Se utilizó un disco de paño duro (TH) con pasta verde para obtener un acabado espejo. Si se quiere más pulido se utiliza un disco de paño más fino (FL) con pasta rosa.(ver figura 10)



**Figura 14** Placa diseñada y Pulida

Fuente Mari y Martínez (2020)

#### 4.4.9 Presupuesto para construcción de la placa orificio

A continuación la tabla 11 muestra el presupuesto para la elaboración dela placa orificio.

Descripción	Cantidades	Precio unitario. Dólares americanos.	total
Mano de obra		100\$	100\$
T de 2"x2"x2"	2	20\$	40\$
Unión universal 2"	2	25\$	50\$
Conector de 2" a 1"	1	10\$	10\$
Codo 2"	2	15\$	30\$
Válvula check 2"	1	30\$	30\$
Porta placa con	2	1400\$	2800\$

orificio 2"			
Válvula de paso rápido 2"	3	270\$	810\$
T de 2"x1"	1	6\$	6\$
Válvula de paso rápido 1"	1	80\$	80\$
Válvula de alivio de ¼"	1	42\$	42\$
Regulador de 1"	1	2490\$	1490\$
Reducción de 2" a 1"	1	12\$	12\$
Manómetro diferencia de 6"	1	807\$	807\$
By pass criogénico	1	260\$	260\$
Válvula de globo de 2"	1	160\$	160\$
Soportería	1	80\$	80\$
Conector de 1" a 2" npt	1	12\$	12\$
Placa de orificio ½"	1	160\$	160\$
Empacadura placa de orificio	2	10\$	20\$

Total= 6.999,00\$

## CONCLUSIONES

El nitrógeno es un gas de gran utilidad en la vida cotidiana, su característica más importante es que puede desplazar el oxígeno, manteniendo ambientes protegidos de explosiones e incendios. Es muy utilizado en la industria alimenticia, en la medicina y otras, lo que lo hace indispensable en este mundo moderno, donde la tecnología abarca todo.

Con respecto a su almacenamiento, se pudo constatar que la empresa Oxicar guarda todas las normas de seguridad, tiene los cilindros termo criogénicos, se hacen los mantenimientos respectivos, se constató las condiciones de trabajo.

En lo que referente a los materiales, debido a la crisis que vive el país, el bloqueo internacional, el control de cambio y el descontrol en la economía se observó la deficiencia en la adquisición de materia prima, como el acero, y lo poco que hay, está a precios difíciles de cubrir. Sin embargo se pudo comprar el acero 304.

Para el corte del material , teniendo en cuenta la situación de confinamiento, debido al Coronavirus, se tuvo que revisar varias empresas que hacen el corte con plasma, ya que es el conveniente, pues que no daña tanto el acero, y no modifica sus características térmica y de dureza. Se logró un corte adaptado al diseño previo.

Así mismo, se realizó el pulido de la placa orificio, donde el inconveniente fue conseguir el polvo Polinox, ya que hace tiempo que no llega al país. Pero al final se pudo solucionar.

Finalmente se presenta el presupuesto adaptado a precios actuales.

## **RECOMENDACIONES**

Con respecto al uso del nitrógeno, se recomienda mantener un ambiente ventilado, pues como es inodoro e incoloro, en algunas ocasiones no se respetan las normas, el uso de lentes y guantes, y se recomienda tener cerca agua, ya que su uso en las partes donde haga contacto produce quemaduras

Como prevención a posibles situaciones, se recomienda tener equipos dentro de la empresa para dar primeros auxilios ante algún percance médico con los trabajadores.

Se recomienda cada cierto tiempo hacer ensayos de purga y revisión de los equipos, para evitar que el gas tenga alguna fuga.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias F. (2014) **Metodología de la investigación**. Caracas: Contexto Ediciones.
- Balestrini, M. (2002). **Como se elabora el proyecto de Investigación**. 6° edición. Caracas. BL Consultores Asociados. Servicio Editorial
- Çengel, M. Boles (2011), **Termodinámica**, Séptima edición, México.  
Editorial Mc Grall Hill
- Chong Humberto (2018) **Optimización de la medición de flujo bajo el principio de la presión diferencial y su importancia en la Ingeniería de Control y Automatización industrial**, Universidad Ricardo Palma, Perú
- Espitia Héctor (2016) **Evaluación Técnico Económica para actualizar los Medidores de gas natural tipo turbina en un gasoducto de la red nacional de gasoducto Colombia. Tesis de Grado. Universidad industrial de Santander Facultad de Ingeniería Físico Químicas.**
- F. White (2003). **Mecánica de los Fluidos**, quinta edición, México  
Editorial Mc Grall Hill
- Flores Yesenia **Diseño y construcción de un tipo de Laboratorio para realizar prácticas en fluidos incompresibles**. Instituto Politécnico Nacional. México
- Manual del instituto de petróleos americanos (1998)
- Tamayo y Tamayo, M. (2004), **El Proceso de Investigación Científica**. México: Limusa.
- Sandoval Renato (2017) **Evaluación técnica-económica de un medidor ultrasónico para reemplazo del medidor de presión diferencial en la medición de gas natural en el noreste del Perú” Tesis de grado**. Universidad Nacional de Piura Facultad de Ingeniería de Minas Escuela Profesional de Ingeniería de petróleo. Perú.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador UPEL (2006) **Manual de trabajos de grado, de especialización, maestría y tesis doctorales**. 4° edición. Caracas, Fedeupel.

# ANEXOS

## ANEXO A

### Tanques de Criogénicos oxicar





## TANQUE CRIOGÉNICO



## ANEXO B

### **MANGERAS CRIOGENICAS 2”.**



**MEDIDOR DE PRESION DE TANQUE CRIOGENICO**



**MEDIDOR PULGADA DE AGUA TANQUE CRIOGENICO**



# ANEXO C

PLACA DE ORIFICIO EN MANIFOLD TUBERIA 2"



MANIFOLD MEDIDOR DE CAUDAL PLACA DE ORIFICIO

