



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**  
**Universidad del Perú. Decana de América**  
**Facultad de Ciencias Físicas**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos**

**Diseño de una red de acero al carbono de alta presión**  
**para una fábrica de cerámicos Lima - Perú**

**MONOGRAFÍA TÉCNICA**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

**AUTOR**

**Jorge Francisco MACULLUNCO BARRIENTOS**

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Macullunco, J. (2023). *Diseño de una red de acero al carbono de alta presión para una fábrica de cerámicos Lima - Perú*. [Monografía Técnica de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Metadatos complementarios

<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	Jorge Francisco Macullunco Barrientos
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	42405389
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0004-2411-4472">https://orcid.org/0009-0004-2411-4472</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Lozano Pedro Sánchez Cortez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10699870
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Wilson Emilio Alvarado Torres
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07642795
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	Adolfo Carlos Lozada Pedraza
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09383020
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	A.2.5.1 Energética
Grupo de investigación	No Aplica

Agencia de financiamiento	PROPIA
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Punta Hermosa <b>Latitud:</b> 12°18'46.7" <b>Longitud:</b> 76°49'58.2"
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2022
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería mecánica <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.01</a>



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**  
(Universidad del PERÚ, Decana de América)

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS**

**XIII CAP DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA DE FLUIDOS**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN PRESENCIAL DE LA MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO DE FLUIDOS, MODALIDAD DE TITULACIÓN M-3 - POR SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Siendo las 16:00 horas del día lunes 4 de diciembre de 2023, en la Sala de Sesión presencial de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, bajo la presidencia del Dr. Ing. LOZANO PEDRO SÁNCHEZ CORTEZ y con la asistencia de los miembros MSc. Ing. WILSON EMILIO ALVARADO TORRES y el Mg. Ing. ADOLFO CARLOS LOZADA PEDRAZA, se dio inicio a la Sesión Pública Virtual de Sustentación de la Monografía Técnica para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, mediante la Modalidad de Titulación M-3 Por Suficiencia Profesional, del Bachiller:

**JORGE FRANCISCO MACULLUNCO BARRIENTOS**

El Presidente del Jurado Examinador dio lectura del Resumen del Expediente, e invitó al Bachiller JORGE FRANCISCO MACULLUNCO BARRIENTOS, a realizar la Exposición del trabajo de la Monografía Técnica titulada "DISEÑO DE UNA RED DE ACERO AL CARBONO DE ALTA PRESION PARA UNA FABRICA DE CERAMICOS LIMA - PERU".

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado Examinador, el Presidente invitó al Bachiller a abandonar momentáneamente la sala de sesión para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado. Se procedió a promediar la nota final del curso de actualización y la nota de la sustentación para obtener la calificación final.

Al término de la deliberación del Jurado, se invitó al candidato a regresar a la sala de sesión para dar lectura a la calificación final obtenida por el Bachiller, la misma que fue:

CATORCE 14

El Presidente del Jurado Dr. Ing. LOZANO PEDRO SÁNCHEZ CORTEZ, a nombre de la Nación y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, declaró al Bachiller JORGE FRANCISCO MACULLUNCO BARRIENTOS Ingeniero Mecánico de Fluidos.

Siendo las 4.45 a.m. del mismo día, se levantó la sesión.

  
Dr. Ing. LOZANO PEDRO SÁNCHEZ CORTEZ  
PRESIDENTE DEL JURADO

  
MSc. Ing. WILSON EMILIO ALVARADO TORRES  
MIEMBRO DEL JURADO

  
Mg. Ing. ADOLFO CARLOS LOZADA PEDRAZA  
MIEMBRO DEL JURADO



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

Universidad del Perú. Decana de América

**Vicerrectorado de Investigación y Posgrado**



## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Dr. Douglas Donal Sarango Julca en mi condición de Director, revisor de la Monografía Técnica, titulada “DISEÑO DE UNA RED DE ACERO AL CARBONO DE ALTA PRESIÓN PARA UNA FÁBRICA DE CERÁMICOS LIMA - PERÚ”, presentado por el Bachiller Jorge Francisco Macullunco Barrientos, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos para ser publicado en el Repositorio Cybertesis UNMSM.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, evaluación y análisis mediante el software para la detección de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 9% de similitud, nivel **PERMITIDO**, para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación**.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su publicación.



UNMSM

Firmado digitalmente por SARANGO  
JULCA Douglas Donal FAU  
20148092282 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 19.12.2023 21:16:17 -05:00

Firma del Director/Editor/revisor

DNI: 07136313

Nombres y apellidos del Revisor:  
DR. DOUGLAS DONAL SARANGO JULCA



## **Dedicatoria**

A mi hija Valentina: Que es el motor, la fuerza y la razón para seguir esforzándome cada día.



## **Agradecimientos**

Agradecer a Dios, ya que, sin Él, nada de lo que soy hasta ahora hubiera sido posible y cuya bondad infinita me permite seguir de pie a pesar de las dificultades.

A mi amado esposa por su apoyo constante.

A mi padre que me guía para cumplir mis objetivos y metas trazadas; y a mi madre por sus enseñanzas y ejemplo para ser el profesional que soy.

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por su gran preocupación en mejorar los índices de investigación brindando el apoyo necesario a todos aquellos alumnos que desean destacarse en este campo de la investigación.

Agradezco a la escuela de Ingeniería Mecánica de fluidos y a todos los profesores por transmitirnos sus conocimientos y experiencias.

## RESUMEN

En este trabajo monográfico se tiene como objetivo los asuntos técnicos que tienen relación con el diseño de la extensión de Red de Acero al Carbono de alta Presión, necesario para el transporte de combustible para una fábrica de cerámicos en Lima - Perú.

Estos aspectos son tratados y desarrollados en cuatro capítulos o secciones.

EL primer capítulo se desarrolla la información pertinente y necesaria para introducir al lector en nuestro sujeto de estudio, además en esta sección se justifica y debate la importancia de nuestro estudio, con esta finalidad se desarrolló en este capítulo, subcapítulos como lo son, la identificación del problema a tratar o realidad problemática, se planteó algunas soluciones del mismo sin ahondar mucho en ella, y finalmente se indicó cuáles son los objetivos específicos y generales de este estudio.

En el segundo capítulo, este trabajo se desarrolló el marco investigativo o teórico que da sustento y respaldo a los cálculos en nuestro sujeto de estudio.

En la tercera parte de nuestra investigación se desarrolló brevemente la metodología, los procesos y mecanismos que se empleó para dar solución satisfactoria a nuestro problema de investigación.

En la cuarta sección, se discutió los resultados obtenidos, con la finalidad de plantear mejoras en ella, ya sea en la etapa de puesta en marcha, planificación, mantenimiento y supervisión.

Por último, se adjuntó también a esta investigación un capítulo en el cual mencionaremos nuestras conclusiones generales y las recomendaciones sobre las mismas de nuestro sujeto de investigación.

## Lista de Contenido

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos .....	iii
Resumen.....	iv
Lista de Contenido .....	v
Lista de Tablas .....	viii
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Símbolos y Siglas .....	xi
Capítulo 1 – Generalidades.....	1
1.1 Introducción .....	2
1.2 Importancia del Tema. ....	4
1.3 Problema de Investigación.....	6
1.3.1 Analisis de la realidad problematica .....	6
1.4 Propuesta de la solución.....	8
1.5 Objetivos .....	9
1.5.1 Objetivos General.....	9
1.5.2 Objetivos Especificos .....	9
Capítulo 2 – Fundamentos Teóricos .....	10
2.1 Antecedentes .....	11

2.2 Flujo y Fluido.....	12
2.2.1 Fluido .....	12
2.2.2 Flujo .....	14
2.2.3 Velocidad de un Fluido que circula por un tubo.....	16
2.2.4 Presión y Velocidad de un flujo.....	18
2.2.5 Ecuación de Bernouli.....	19
2.3 Redes de Distribución de Gas Natural .....	23
2.3.1 Redes de distribución de gas en el Peru.....	24
2.3.2 Redes de distribución de gas de alta presión .....	25
2.3.3 Suministro .....	25
2.3.4 Tramo.....	25
2.3.5 Tubo .....	26
2.3.6 Tubería .....	26
2.3.7 Tubería de Acero al Carbono .....	26
2.3.8 Presión de diseño .....	27
2.3.9 Presión máxima admisible de Operación (MAPO) .....	27
2.3.10 Presión de prueba .....	27
2.3.11 Presión de operación .....	27
2.3.12 Purga .....	27
2.4 Cálculo del Diametro de la Tubería .....	28
2.4.1 Definiciones .....	28
2.4.2 La formula de Weymouth .....	29
2.5 Cálculos del espesor de la tubería de Acero al Carbono .....	33
2.5.1 Fórmula del diseño de tubería de acero .....	33
2.6 Teoría de Deflexion de Spangler .....	36
2.6.1 Cargas muertas.....	37

2.6.2 Cargas Vivas.....	38
Capítulo 3 Desarrollo del Tema.....	40
3.1 Datos Iniciales.....	40
3.2 Cálculos de diámetro y espesor del gaseoducto .....	41
3.3 Excavación de Exploracion.....	41
3.4 Trazado de la linea de Acero .....	42
3.5 Excavación de zanja.....	42
3.6 Cruce Especial .....	43
3.6.1 Cálculo de Deflexión de la tubería.....	43
3.6.2 Sistema de mitigación y/o protección .....	43
Capítulo 4 – Cálculos y Resultados .....	44
4.1 cálculo del diámetro de la tubería de acero al carbono .....	45
4.2 cálculo del espesor de la tubería de acero al carbono.....	46
4.3 cálculo de cargas muertas.....	47
4.4 cálculo de cargas vivas.....	48
4.5 cálculo de la deflexión de la tubería de acero.....	51
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES.....	55
BIBLIOGRAFÍA .....	56
ANEXO 1.....	57
ANEXO 2.....	58

## Lista de Tablas

Tabla 2.1 Constante de Weymouth.....	30
Tabla 2.2 Presion inicial vs Factor Z.....	30
Tabla 2.3 Coeficiente de eficiencia.....	31
Tabla 2.4 Tension de Fluencia.....	35
TABLA N° 2.5: Dimensiones y masas de tuberías de acero.....	45
TABLA N° 2.6: Valores de $k\mu$ para diferentes tipos de terreno.....	48
TABLA N° 2.7: Fuerzas y radios auxiliares.....	49

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Gas de camisea.....	1
<b>Figura 1.2</b> Tuberías de acero soterrado para gas natural.....	2
<b>Figura 1.3</b> Esquema de explotación y aprovechamiento del gas natural .....	4
<b>Figura 1.4</b> Punto de acopio Fábrica de cerámicos en Punta Hermosa .....	6
<b>Figura 2.1</b> Sistema cerrado.....	13
<b>Figura 2.2</b> Sistema abierto .....	13
<b>Figura 2.3</b> Flujo Laminar(a), Flujo Turbulento de un fluido (b).....	15
<b>Figura 2.4</b> Transición de un flujo laminar a turbulento .....	15
<b>Figura 2.5</b> Velocidad de un fluido que circula por un tubo .....	16
<b>Figura 2.6</b> Flujo laminar-Velocidad del fluido por el área es constante .....	17
<b>Figura 2.7</b> El incremento de la velocidad de un fluido que se desplaza a través de una sección más estrecha .....	18
<b>Figura 2.8</b> Daniel Bernoulli (1700-1782) .....	19
<b>Figura 2.9</b> Deducción de la ecuación de Bernoulli .....	20
<b>Figura 2.10</b> Tendido de red de acero de alta presión .....	23
<b>Figura 2.11</b> Construcción de los ductos para el transporte de gas natural y derivados .....	24
<b>Figura 2.12</b> Esquema de suministro de gas natural.....	25
<b>Figura 2.13</b> Tubería de Acero al Carbono .....	26
<b>Figura 2.14</b> Esquema de espesor de pared de tubería .....	32
<b>Figura 2.15</b> Esfuerzo longitudinal .....	33
<b>Figura 2.16</b> Esfuerzo anular .....	34
<b>Figura 2.17</b> Diagrama de la teoría de deflexión de Spangler.....	36
<b>Figura 3.1</b> Fabrica de cerámicos .....	40

<b>Figura 3.2</b> Diámetros de tubería .....	41
<b>Figura 3.3</b> Calicatas.....	41
<b>Figura 3.4</b> Cruce por la Av. Antigua Panamericana Sur.....	42
<b>Figura 3.5</b> Instalación de tuberías .....	43
<b>Figura 1</b> Redes de transporte de gas natural .....	57
<b>Figura 2</b> Ecuación de Bernoulli .....	58



## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

### SÍMBOLOS

$v$	: Velocidad
$t$	: Tiempo
$A$	: Área
$V$	: Volumen
$G$	: Gasto
$v_1$	: Velocidad en el instante 1
$A_1$	: Área en el instante 1
$v_2$	: Velocidad en el instante 2
$A_2$	: Área en el instante 2
$P_A$	: Presión en A
$P_B$	: Presión en B
$\rho$	: Densidad del fluido
$g$	: Aceleración de la gravedad
$h$	: Altura
$m$	: Masa
$E_k$	: Energía cinética
$E_p$	: Energía potencial
$\Delta E_k$	: Variación en la energía cinética
$\Delta E_p$	: Variación en la energía potencial
$Q$	: Caudal de gas
$W$	: Constante de Weymouth, Tabla N.º 2
$Z$	: Factor de compresibilidad del gas, Tabla N.º 3
$E$	: Coeficiente de eficiencia, Tabla N.º 4
$P_i$	: Presión absoluta al inicio, kg/cm <sup>2</sup>
$P_f$	: Presión absoluta al final, kg/cm <sup>2</sup>
$L_E$	: Cálculo de Longitud del tramo de tubería, km

## **SIGLAS**

ASME	: The American Society of Mechanical Engineers
ANSI	: American National Standards Institute
Osinergmin	: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería

## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

En esta sección, se desarrolló los principios fundamentales en relación con la investigación que se realizó.

Primero, se realizó una breve presentación a término de introducción del sujeto de estudio.

Segundo, se desarrolló la relevancia del sujeto de estudio en la situación actual que pasa nuestro país y el mundo.

Tercero, se analizó la realidad de la problemática que presenta nuestro sujeto de estudio.

Cuarto, se formuló una propuesta de solución.

Quinto, se desarrolló los objetivos específicos y objetivos generales del sujeto de estudio de esta monografía.



FIGURA N° 1.1: Gas de Camisea, Fuente (Revista Caretas,2021)

## 1.1 INTRODUCCIÓN:

La presente monografía tiene como objetivo de realizar el diseño de la extensión de Red de Acero al Carbono de alta Presión, para poder transportar a las instalaciones de la fábrica de cerámicos el Gas natural, con la finalidad que esta pueda satisfacer su consumo energético. Dicho sea de paso, con la finalidad de cumplir este objetivo, se necesita calcular el diámetro de tubería, espesor de la tubería y el cálculo del stress en el gasoducto de Acero soterrado en toda la red que lleva el gas desde la red matriz hasta las instalaciones por lo cual se tendrá en cuenta los denominados cruces especiales y de seleccionar un sistema de mitigación o protección de la integridad de la tubería soterrada en toda la red en caso sea necesario.



(Figura.1.2), tubería soterrada de acero de gas natural, Fuente registro propio

Este proyecto se realizó bajo el contexto de la masificación de las Redes de Acero para el transporte de gas natural. Dicho transporte del gas natural para el uso industrial en la Región de Lima y Callao, se debe a la presencia de servicios de terceros tales como el sistema de agua potable, el alcantarillado, cableado eléctrico subterráneo, fibra óptica, cables para los sistemas de comunicación, y también a que en ciertos distritos se realizan cambios en las trazas y profundidades de las redes por la presencia de estos servicios, en la tubería soterrada y además de que en Lima Metropolitana nos encontramos con la presencia de vías que son consideradas de alto tránsito. En consecuencia, esto genera que el gasoducto deba de ir a una profundidad mayor al mínimo requerido por la norma, por lo cual es que debido a que los ductos y tuberías de acero se encuentra a una profundidad mayor con respecto al nivel de la vía, estos sufrían un stress mayor al límite de trabajo permitido, razón por la cual, se plantea un sistema de mitigación de este stress y así evitar que la integridad de la tubería se vea afectada.

## 1.2 IMPORTANCIA DEL TEMA:

En el contexto actual que se está masificando el uso de gas natural de uso doméstico, comercial e industrial en la región de Lima, resulta importante facilitar el uso seguro y confiable del gas natural, como fuente de energía calorífica. Es así como, con la motivación de poder llevar este recurso hasta los diversos distritos, Urbanizaciones, etc., es que se recae la importancia del trabajo que se desarrolla, es por eso por lo que se elabora la monografía técnica con el fin de dar solución a esta problemática. (Figura.1.3)

FIGURA N° 1.3: Esquema de explotación y aprovechamiento del gas natural



Fuente : (Revistazafo.com)

Por otro lado, en el contexto internacional cada vez se hace más importante la utilización de los recursos energéticos para desarrollar la industria, he incluso se ha llegado al punto de utilizar estos recursos energéticos como herramientas disuasoria en los conflictos bélicos, razón por la cual se puede explicar el alza generalizada de los costos de los combustibles

fósiles, siendo así aún más importante el aprovechamiento de estos por parte de la industria peruana, puesto que el país cuenta con grandes fuentes de estos recursos en términos de gas. En el ámbito nacional, se puede decir que las industrias tienen la gran necesidad de acceder a fuentes de energía baratas o de bajo costo para poder realizar dichas actividades productivas, esto con la finalidad de poder disminuir costos y de esta forma poder garantizar un alto nivel de competitividad en el mercado nacional e internacional.

Es por eso por lo que resulta indispensable que se hagan un estudio como este para ver como muchas otras industrias y sobre todo la industria cerámica pueden verse beneficiado de los recursos naturales al poder instalar una red de tuberías adecuada que permita el aprovechamiento de energía que se necesiten.

### 1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:

*En la demanda de masificación del “Gas Natural” mediante la instalación de gaseoductos, se ha visto reflejada en el pedido del recurso que crece cada día en la industria y la comunidad. Se ha visto eficiente y rentable en la industria el uso del Gas Natural como fuente de energía de equipos de última generación y en casos la conversión de equipos que funcionan a diésel u otros combustibles que en comparación de precios con el gas natural significa un ahorro.*

La problemática de una fábrica de cerámicos que se encuentra ubicada en el distrito de punta hermosa, requiere adquirir gas natural para sus máquinas, el consumo diario que necesita es de 20,000.00 Sm<sup>3</sup>/h de gas natural, para sus máquinas, pero no cuenta en sus cercanías con una tubería de la red matriz o troncal del gas natural, por lo cual hace complejo el obtener el suministro. (Figura.1.4)

FIGURA N° 1.4: Punto de acopio - Fabrica de Cerámicos

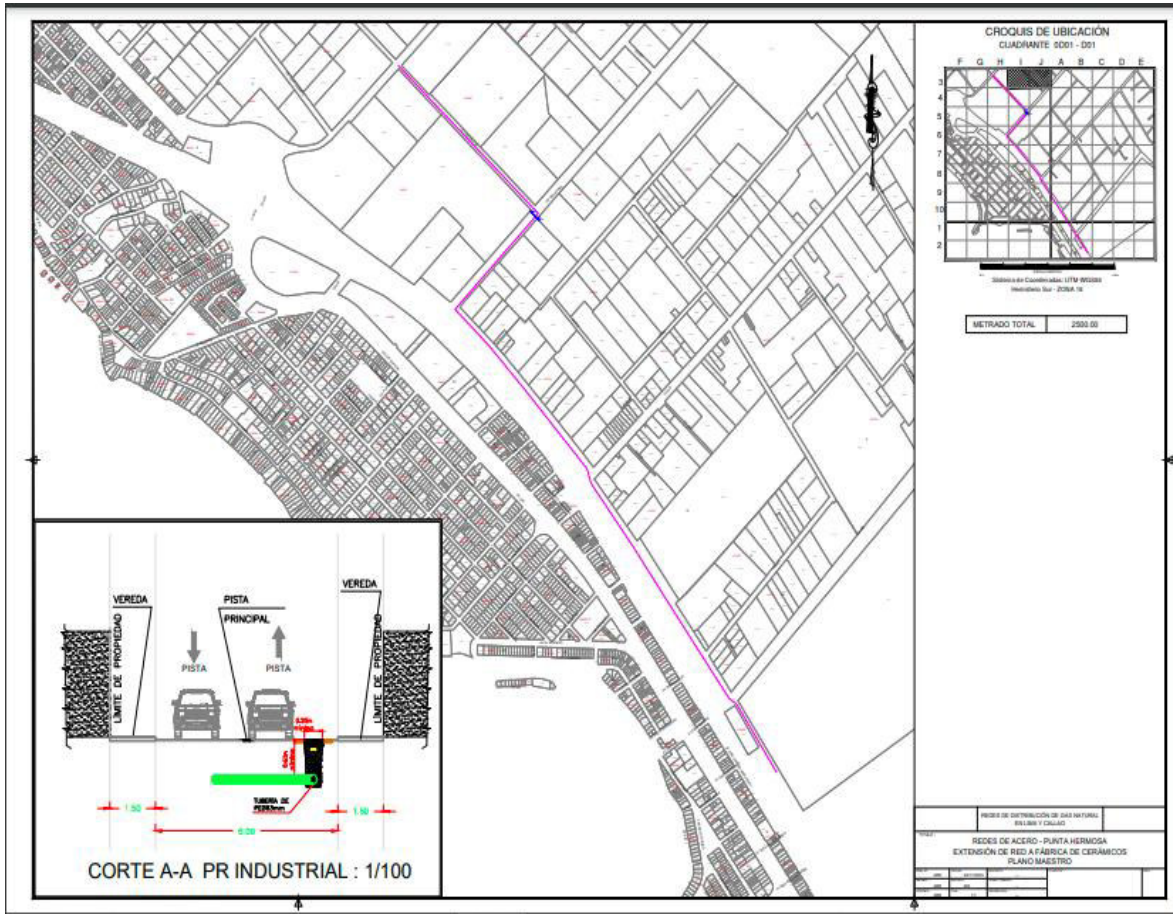




### **1.3.1 Análisis de la realidad problemática.**

En este contexto se puede entender que la realidad que la problemática de nuestro trabajo es la siguiente:

¿Como podemos llevar o proveer el abastecimiento de combustible a la fábrica de cerámicos ubicada en el distrito de Punta Hermosa, si esta no cuenta en sus cercanías con una red de tubería matriz cercana? Con la finalidad de dar respuesta a dicho problema, tenemos que entender, que la ausencia o falta de una red matriz de gas natural en las cercanías de la fábrica, implica que no podría abastecerse o asegurar la conexión a la red principal de gas, puesto que son los principales interesados en contar con la red de gas natural por los beneficios económicos que presentaría estar conectados a dicha red. Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se necesita evaluar y proyectar y definir el trazo por el cual ira a desarrollarse la tubería que comunicara las instalaciones de la fábrica de cerámica con la red principal. Una vez ubicado el trazo por parte del equipo técnico de encargados es que se define que parte del trazo de la tubería de gas tiene que cruzar la Av. Separadora Industrial , lo cual eleva el grado de complejidad de este proyecto. El hecho de que el trazo pueda atravesar la avenida mencionada incorpora rediseño de las tuberías que normalmente se utilizan en los proyectos de este tipo, pues que las condiciones de demanda de esfuerzos y cargas mayores, dado que por esta vía transitan vehículos de carga pesado. Es por ello por lo que el verdadero problema que encontraríamos es como asegurarnos que la tubería puede resistir todas estas cargas adicionales sin tener mayor problema. También se puede acotar como parte de nuestro análisis de la realidad problemática las palabras de Sánchez Soto, (Sanchez, 2014), “La llegada del gas natural al sur del Perú, el sector industrial se beneficiará con la generación de energía eléctrica con un combustible menos contaminante con el medio ambiente y más económico que el petróleo, por esto que la Generación Distribuida surge como una opción de generar electricidad en el sur del Perú”.



#### **1.4 PROPUESTA DE SOLUCIÓN:**

Con la finalidad de poder asegurar el suministro de gas natural a las instalaciones de la fábrica de cerámicos que se encuentra ubicado en el distrito de Punta Hermosa, es que se ha provisto realizar una investigación sobre la ubicación de las redes de tuberías matrices de gas natural que pasan cercanas a la fábrica.

Encontrando en dicho estudio a una tubería de acero de la red principal de gas natural que pasa por la Av. Los Gallos la cual se ubica a distancia aproximada de 2500 m, lo cual facilitará el acceso a este recurso. Es con esto que se ha visto conveniente realizar el diseño de una tubería de acero al carbón soterrado para poder conectar las instalaciones de la fábrica con la red principal de suministro de gas. Dicha red de conexión que se proyectara contará con una conexión especial de tal forma que esta pueda asegurar la resistencia de la red en la zona en la cual sufrirá mayor esfuerzo debido a la mayor cantidad de carga que recibió producto del tránsito de vehículos de carga pesada. Entonces la propuesta de solución será el siguiente.

Diseño de una red de acero al carbono de alta presión para una fábrica de cerámicos.

Cálculo de la deflexión de la tubería de acero para ver si necesita una protección para la tubería.

## **1.5 OBJETIVOS:**

En concordancia a lo desarrollado en el problema de investigación y en el análisis de la realidad problemática, se formuló los objetivos de investigación siguientes.

### **1.5.1 Objetivo General.**

Diseño de una red de acero al carbono de alta presión que pueda asegurar el suministro de 20000 Sm<sup>3</sup>/h de gas natural para una fábrica de cerámicos en Lima - Perú.

### **1.5.2 Objetivos Específicos.**

- Objetivo Específico 1.

Diseño de la traza de una red de acero al carbono de alta presión que pueda asegurar el suministro de 20000 Sm<sup>3</sup>/h de gas natural para una fábrica de cerámicos en Lima - Perú.

- Objetivo Específico 2.

Cálculo del diámetro de la tubería de acero al carbón

- Objetivo Específico 3.

Cálculo del espesor de la tubería de acero al carbón

- Objetivo Específico 4.

Cálculo de las cargas muertas ejercidas sobre la tubería de acero al carbón

- Objetivo Específico 5.

Cálculo de las cargas vivas ejercidas sobre la tubería de acero al carbón

- Objetivo Específico 6.

Verificar que las cargas totales no superen el límite de cargas admisibles para la tubería de acero al carbón

- Objetivo Específico 7.

Planteo de un sistema de mitigación, en el caso sea necesario, para las cargas sobre la tubería.

- Objetivo Específico 8.

Obtener el tipo de flujo en la tubería.

## **CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO**

En esta sección mostramos los conceptos, principios y formulas necesarios para realizar el estudio, análisis y desarrollo del sujeto de investigación monográfico. En esta sección además se realizó una breve introducción al lector hacia la solución de propuesta para poder responder a la necesidad encontrada en la realidad problemática. Como ya tenemos bien conocido la solución a la realidad problemática, será el diseño y desarrollo de una red de tubería de acero al carbono soterrado para poder asegurar el suministro energético de la fábrica de cerámicos. Entonces la ya mencionada anteriormente propuesta de solución estaba compuesta por los siguientes apartados.

A): Diseño del diámetro de la tubería de acero al carbón.

B): Diseño del espesor de la tubería de acero al carbón.

C): Cálculo las cargas vivas y muertas ejercidas sobre la tubería de acero al carbón.

D): Cálculo del tipo de flujo dentro de la tubería.

Razón por la que es relevante desarrollar cada uno de los puntos mencionados en esta sección.

## **2.1 Antecedentes:**

(Periódico El Comercio, 2022), Calidda empezó en Lima y Callao a distribuir Gas Natural de Camisea, en el 2004, sus primeros clientes fueron empresas del sector industrial. Estas empresas apostaron por el Gas Natural, Alicorp, Cerámica San Lorenzo, Celima, Corporación Cerámica, Sudamericana de Fibras y Vidrios Industriales (hoy Owen Illinois Perú). Por su consumo alto de calor en sus etapas de producción, se analizaba que el uso del Gas Natural iba a reducir sus costos.

La generación del calor en la fábrica de cerámicos no puede pararse, son dos etapas de producción principales: cocción, secado. En las dos etapas en que la arcilla se transforma en una losa al entrar a hornos a más de mil grados centígrados. la empresa produce 60 mil m<sup>2</sup> de cerámicos para piso y pared.

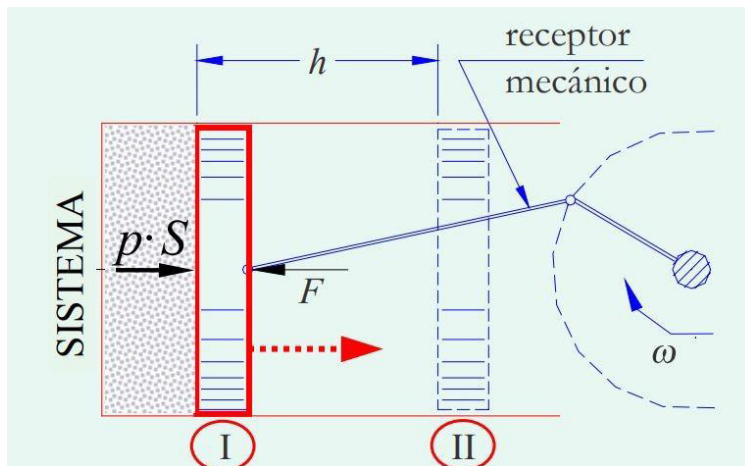
Hoy, Calidda suministra Gas Natural a más de 620 clientes del sector industrial y los últimos años ha instalado a cerca de 40 nuevos clientes. hay casos, donde el servicio de conversiones de las maquinarias y adaptaciones de las industrias, la empresa Calidda lo ha realizado, al cambiar el combustible a gas natural tiene un impacto favorable en los costos de producción.

Los clientes industriales al usar el gas natural protegen al medio ambiente por ser una fuente de energía más limpia en comparación con el petróleo. También el gas natural es más seguro para las industrias, en caso de fuga de gas se disipa sin problemas por ser más ligero que el aire.

## 2.2 FLUJO Y FLUIDOS

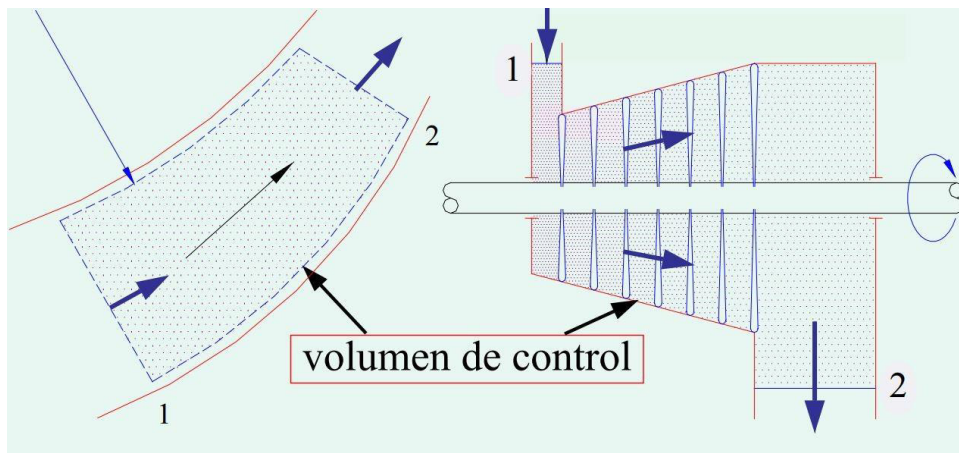
### 2.2.1 Fluido

De forma sencilla podemos decir que un fluido puede ser un líquido o un gas, esto señala entonces que las propiedades de los fluidos tienen y o comparten las propiedades y características bases de los gases y de los líquidos, por lo cual toda ecuación o fenómeno físico que aplica para estos elementos, se aplican para los fluidos. En ese mismo sentido y siendo un poco más estrictos, desde el punto de vista de la mecánica de fluidos, podemos decir que un fluido una sustancia que se puede deformar de manera continua” fluye cuándo sobre ella se aplica una tensión tangencial, por mi minúscula que esta sea. En referencia a la definición que se ha dado anteriormente, se puede señalar así también, que un flujo está dotado de algunas propiedades, las cuales serán estudiadas también por la mecánica de fluidos. Con la finalidad de ser más claros en la comprensión de este concepto, la mecánica de fluidos utiliza algunas otras definiciones, tales como es el sistema, flujo y caudal. Según (Agüera Soriano, 2011), se define a un sistema como todo fluido a estudiar, teniendo este una superficie real o compleja que envuelve al sistema o fluido, el cual se llamara limite, contorno o frontera. Así mismo también se puede identificar al medio exterior del sistema el cual influye en el a pesar de no formar parte de este, un claro ejemplo de esto puede ser el medio ambiente el cual tiene una influencia térmica directa sobre el sistema. Es así como se puede identificar dos tipos de sistemas, uno cerrado y otro abierto. En el caso de un sistema cerrado se puede observar que no existe una variación de la masa en relación al cambio de escenario, tal y como lo muestra la (Figura.2.1) en la posición I y II del embolo.



fuelle : (Agüera Soriano, 2011)

Por otro lado, en el caso de un sistema abierto, podemos afirmar que es aquel en el que se traslada, fluye o mueve el sistema o fluido en relación con el límite o contorno. Ver (Figura.2.2)



Fuente (Agüera Soriano, 2011)



### 2.2.2Flujo

De manera sencilla y amigable podemos definir que un flujo es aquel fenómeno que se crea cuando un fluido está en movimiento debido a una fuerza que se le está aplicando.

No obstante, la mecánica de fluidos tiene una definición un poco más estricta. El flujo estudia el movimiento de un fluido. Dicho estudio además tomara en cuenta las leyes de la física, las propiedades del fluido a estudiar, y las características del medio en el cual se mueve o fluya.

Siendo la hidrodinámica la rama de la física que se encarga de realizar dicho estudio.

Por otro lado, también resulta necesario señalar que el flujo puede darse de dos maneras, un flujo laminar o turbulento.

En el caso del flujo laminar, podemos decir que se trata de un flujo en el cual las partículas que se mueven o fluye, lo hacen con cierto orden, ocupando así el espacio que ocupó la partícula de adelante antes que ellas.

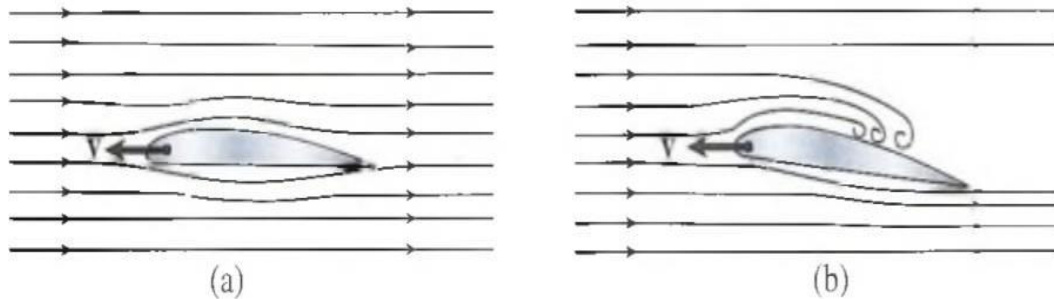
En relación con el flujo laminar,(Tippens, 2011), nos dice lo siguiente “El flujo laminar puede ser definido como el movimiento de un fluido en el cual todas las partículas del fluido mantienen una misma trayectoria, haciendo que cada partícula pase por el mismo punto de la partícula anterior a ella”.

En el caso del flujo turbulento, podemos decir en palabras sencillas que se trata de un flujo en el cual las partículas de fluido fluyen de manera caótica o desordenada, lo cual además genera una pérdida de energía de parte del sistema por este movimiento caótico.

Podemos apreciar en la (Figura.2.3) de forma gráfica en cómo se pueden caracterizar los dos tipos de flujos que existen, esto teniendo en cuenta las líneas de flujo o corriente. En este caso se coloca un obstáculo en diferentes posiciones o escenarios, el cual hace que las líneas de corriente creadas por el aire al pasar, se vea directamente afectas por la posición en la cual

se coloca el obstáculo, razón por la cual en la situación (a) se aprecia la presencia de un Flujo Laminar, mientras que en el escenario (b) se aprecia un Flujo Turbulento.

FIGURA N° 2.3: Flujos laminar (a) y (b) flujo turbulento en la trayectoria de un fluido



Fuente (Tippens, 2011)

Por otro lado, tratando de considerar que los fluidos (solo en el caso de los líquidos), son incompresibles y además que en ellos no se produce una gran fricción interna que pueda ser apreciable, se puede afirmar que, bajo dichas consideraciones, se puede proyectar la razón de flujo del fluido a través de una tubería o cualquier otro recipiente.

Según (Tippens, 2011), “El flujo de un fluido se puede definir como volumen de fluido que pasa por una sección transversal en un determinado intervalo de tiempo”.

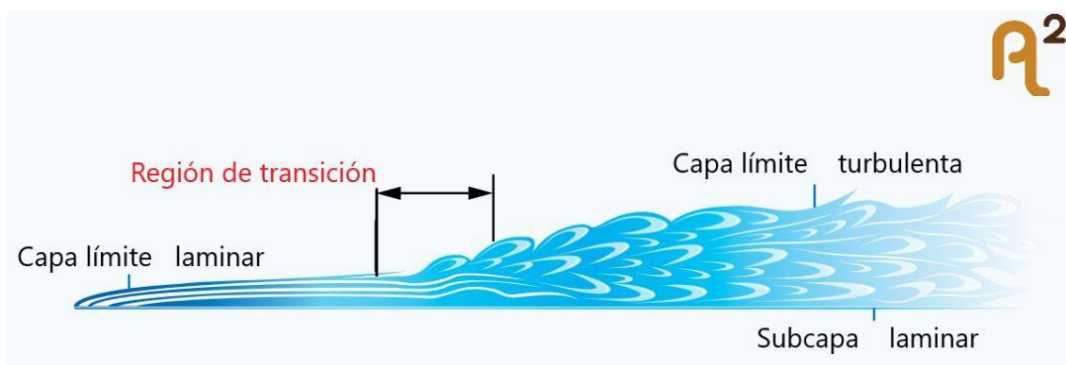


FIGURA N° 2.4: Transición de un flujo laminar a turbulento

### 2.2.3 Velocidad de un fluido que circula por un tubo:

Con la finalidad de poder cuantificar y expresar la velocidad de un fluido cuando este atraviesa la sección transversal de un tubo, tal y como podemos apreciar en la (Figura.2.5), tiene una velocidad media  $v$ .



Fuente (Tippens, 2011)

Se puede observar que un periodo de tiempo  $t$ , cada partícula se mueve de manera constante una distancia con modulo  $vxt$ . Se podrá calcular y definir que el volumen  $V$  que fluye por la sección transversal  $A$  será  $V=Avt$ . Por lo cual se podrá calcular el caudal o gasto partiendo de la siguiente formula:

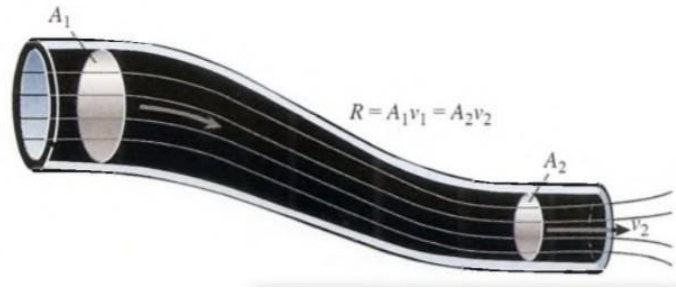
Donde:

- $v$  : Velocidad
- $t$  : Tiempo
- $A$  : Área
- $V$  : Volumen
- $G$  : Gasto

$$Gasto = R = Avt/t = vA \quad (2.1)$$

Por otro lado, como ya se había mencionado anteriormente si consideramos que este fluido al ser liquido es casi incompresible y despreciamos los efectos que puede causar la fricción, podemos afirmar que el gasto o caudal  $G$  permanecerá como una constante.

Flujo laminar - Velocidad del fluido por el área es constante



Fuente (Tippens, 2011)

Esto nos hace suponer que cualquier cambio en la sección transversal de la tubería por la cual está pasando el fluido, generaría un cambio en la rapidez con la cual este fluye a través de ella. Ver (Figura.2.6) Esto se puede escribir de la siguiente manera:

Donde:

$v_1$  : Velocidad en el instante 1

$A_1$  : Área en el instante 1

$v_2$  : Velocidad en el instante 2

$A_2$  : Área en el instante 2

$$R = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$$

Esto nos permite concluir que un fluido incrementara su rapidez cuando este pase por una sección más pequeña en una tubería, siempre y cuando se tengan presente que este no se comprime y tampoco es relevante los efectos de la fricción.

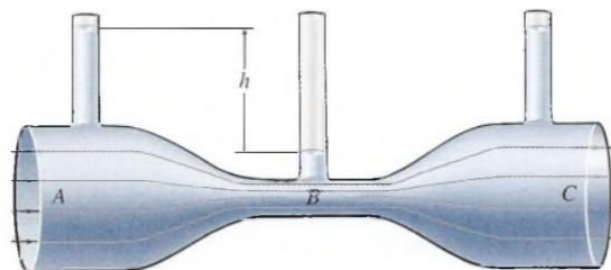
### 2.2.4 Presión y Velocidad de un flujo:

(Tippens, 2011), Sabemos que la velocidad en un fluido que recorre o flujo por una tubería se incrementa cuando la sección de esta se reduce, sin embargo, es esencial saber qué es lo que pasa con otras propiedades de los fluidos, en este caso con el de la presión. Por otro lado, sabemos que, al existir un incremento en la velocidad, esta solo se puede deber a una aceleración, cuya presencia tiene su origen en la existencia de una fuerza de empuje o de aceleración. El aceleramiento de un líquido en una reducción de sección de una tubería solo se puede dar cuando la fuerza de empuje de la sección mayor supera a la fuerza de resistencia de la sección menor. Esto puede ser apreciado de manera grafica en la siguiente (Figura.2.7)

Donde:

- $P_A$  : Presión en A
- $P_B$  : Presión en B
- $\rho$  : Densidad del fluido
- $g$  : Aceleración de la gravedad
- $h$  : Altura

$$P_A - P_B = \rho g h \quad (2.2)$$



Fuente (Tippens, 2011), El incremento de la velocidad de un fluido que se desplaza a través de una sección más estrecha

Dicho de otra manera, podemos afirmar lo siguiente: La presión en el punto A y C que se muestran en la (Figura.2.7) son iguales. La presión en el punto B es menor que la presión en el punto A y C. La diferencia de presión que existe entre el punto A y B, será numéricamente igual al producto de la densidad del fluido ( $\rho$ ), aceleración de la gravedad ( $g$ ) y la diferencia de alturas ( $h$ ) que hay entre cada uno de los puntos.

### 2.2.5 Ecuación de Bernoulli:

¿Quién fue Bernoulli y porque se utiliza esta ecuación en mecánica de fluidos? Daniel Bernoulli (1700-1782), fue un físico y matemático suizo, siendo este el más destacado de una respetable familia de prodigiosos matemáticos suizos. Mott (2006)



FIGURA N° 2.8: Daniel Bernoulli (1700-1782)

Bernoulli fue el primero en establecer una relación entre los siguientes parámetros:

$P$ : Presión

$\rho$ : Densidad

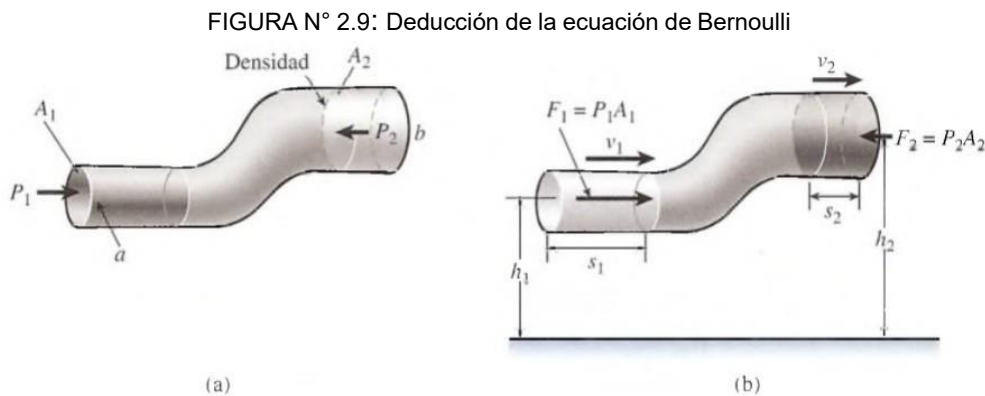
$g$ : Aceleración de la gravedad

$h$ : Altura

Dado que un fluido cuenta con masa, este es afectado por la ley de conservación de la masa, que rige para los sólidos. Por lo tanto, el trabajo que debe de efectuar una fuerza para mover un determinado volumen de fluido en una tubería debe de ser numéricamente igual a la

variación total sobre la energía cinética y potencial gravitatoria del mismo fluido.

Considerando que el trabajo que se necesita para mover un fluido de un determinado punto A hacia otro punto B como se puede apreciar en la (Figura.2.9), es numéricamente igual al trabajo que realiza la fuerza empuje o entrada  $F_1$  y el trabajo negativo realizado por la fuerza de resistencia  $F_2$ .



Fuente (Tippens, 2011)

Entonces el trabajo neto se puede calcular con la siguiente expresión:

$$\text{Trabajo neto} = F_1 s_1 - F_2 s_2$$

Donde:

$$F_1 = P_1 A_1 \text{ y } F_2 = P_2 A_2$$

Reemplazando:

$$\text{Trabajo neto} = P_1 A_1 s_1 - P_2 A_2 s_2$$

Lo cual nos da como resultado que el producto de la distancia y del área son el volumen  $V$  del fluido que viaja por la tubería, dado que este volumen se mantiene constante en la parte superior como inferior se puede sustituir como se muestra en la ecuación 2.3.

Reemplazando:

$$V = A_1 s_1 = A_2 s_2 \tag{2.3}$$

Entonces se obtiene la siguiente expresión:

$$Trabajo\ neto = P_1V - P_2V = (P_1 - P_2)V$$

Con relación a la energía cinética de un fluido, se definirá con la siguiente expresión.

Donde:

$m$  : Masa

$v$  : Velocidad

$Ek$  : Energía cinética

$$Ek = \frac{1}{2}(mv^2)$$

Por otro lado, dado que la masa permanece invariable, la variación en la energía cinética se dará solo por la variación en la velocidad el fluido.

Por lo cual tendremos una nueva expresión. Donde:

$\Delta Ek$  : Variación en la energía cinética

$$\Delta Ek = \frac{1}{2}(mv_2^2 - mv_1^2)$$

En el caso de la energía potencial de un fluido esta se calculará con la siguiente formula.

Donde:

$Ep$ : Energía potencial

$m$ : Masa

$g$ : Aceleración de la gravedad

$h$ : Altura

$$Ep = mgh$$

Por otro lado, dado que el volumen del fluido es invariable, la variación en la energía potencial se dará solo por la variación en la altura del fluido. Por lo cual tendremos una nueva expresión.

Donde:

$\Delta Ep$ : Variación en la energía potencial

$$\Delta Ep = mgh_2 - mgh_1$$



Entonces al aplicar el principio de conservación de la energía. El trabajo aplicado al sistema será igual a la suma de aumento de la energía cinética y potencial.

Por lo tanto:

$$\text{Trabajo Neto: } \Delta E_k + \Delta E_p$$

$$(P_1 - P_2)V = \left(\frac{1}{2}(mv_2^2 - mv_1^2)\right) + (mgh_2 - mgh_1)$$

Si la densidad es  $\rho$ , podemos sustituir  $V = \frac{m}{\rho}$ , con lo que resulta:

$$(P_1 - P_2)\frac{m}{\rho} = \left(\frac{1}{2}(mv_2^2 - mv_1^2)\right) + (mgh_2 - mgh_1)$$

Se

opera y se ordenan los términos obtenemos la ecuación de Bernoulli:

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

Dado en los puntos 1 y 2 hacen referencia a dos puntos cualquiera, la ecuación de Bernoulli se puede escribir:

$$P + \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{constante}$$

### 2.3 REDES DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL:

El sistema de distribución clásico para el gas natural entre dos puntos es el gaseoducto, que normalmente este hecho de tuberías de acero al carbón que además están dotadas de un gran grado de elasticidad, y se encuentran enterrados bajo la superficie ya sea terrestre o marina.

(Figura.2.10)



Fuente: (Osinerming, 2021)

En relación con la capacidad que se puede transportar a través de estos gaseoductos se sabe que esta depende directamente de la diferencia entre las presiones de los extremos de estos y del diámetro de la tubería, teniendo como consecuencia, que la capacidad de transporte aumente si el diámetro o la diferencia de presiones lo hace.

Con respecto al transporte y circulación del gas por las tuberías del gaseoducto, estas se logran con el incremento o subida de presión del gas en determinados puntos de la red. Los puntos que realizan el aumento de la presión del gas natural son conocidos comúnmente como estaciones de compresión, las cuales están diseñadas con el objetivo de asegurar el correcto transporte y flujo del caudal, estas estaciones además están encargadas de ser las que mitigan los efectos de las pérdidas de presión en el transporte del gas. Por otro lado, el

transporte y distribución del gas natural, requiere de puntos de control de los flujos en los cuales se realizan inspecciones y medidas, sobre la presión, caudal, temperaturas y poder calorífico, a estos puntos se les llamara normalmente centro de control.

### 2.3.1 Redes de distribución de gas en el Perú

En el Perú, la distribución del gas natural por los gaseoductos es una de las actividades de forma parte de la cadena de valor de este recurso, el cual tiene como ya mencionamos la finalidad de transportar el gas natural y sus derivados. El gas natural que se extra en los yacimientos es transportado por un sistema de recolección e inyección (flowlines) hacia una planta de separación la cual separa al extracto en dos compuestos, gas natural seco y líquidos del gas natural. Osinergmin (2021) El transporte de cada uno de los compuestos mencionados tendrá varía según cual sea este. En el caso del gas natural seco, este será transportado por gaseoductos para que pueda ser utilizado con fines, comerciales, residenciales, industriales, generación eléctrica y uso vehicular, en tanto que, en el caso de los líquidos del gas natural este será transportado por ductos hacia las plantas de fraccionamiento. (Figura.2.11)



FIGURA N° 2.11: Construcción de los ductos para el transporte de gas natural y derivados. Fuente (Osinergmin ,2021)

### 2.3.2 Redes de distribución de gas de alta presión:

Con el uso masificado del gas natural con fines industriales, se realizan por parte de la industria diverso proyecto que buscan instalar gaseoductos soterrados.

Para el caso de nuestra red que requiere un suministro de 20,000.00 Sm<sup>3</sup>/h, tendremos de la una red con una presión comprendida entre 10 Bar a 20 Bar, por lo cual esta será una red de distribución de alta presión. Con la finalidad de poder comprender mejor, cuáles son los componentes de una red de gas de tuberías de acero al carbono de alta presión se desarrollarán algunos conceptos pertinentes.

### 2.3.3 Suministro

Es el punto desde el cual se inicia la distribución y abastecimiento de del gas natural.

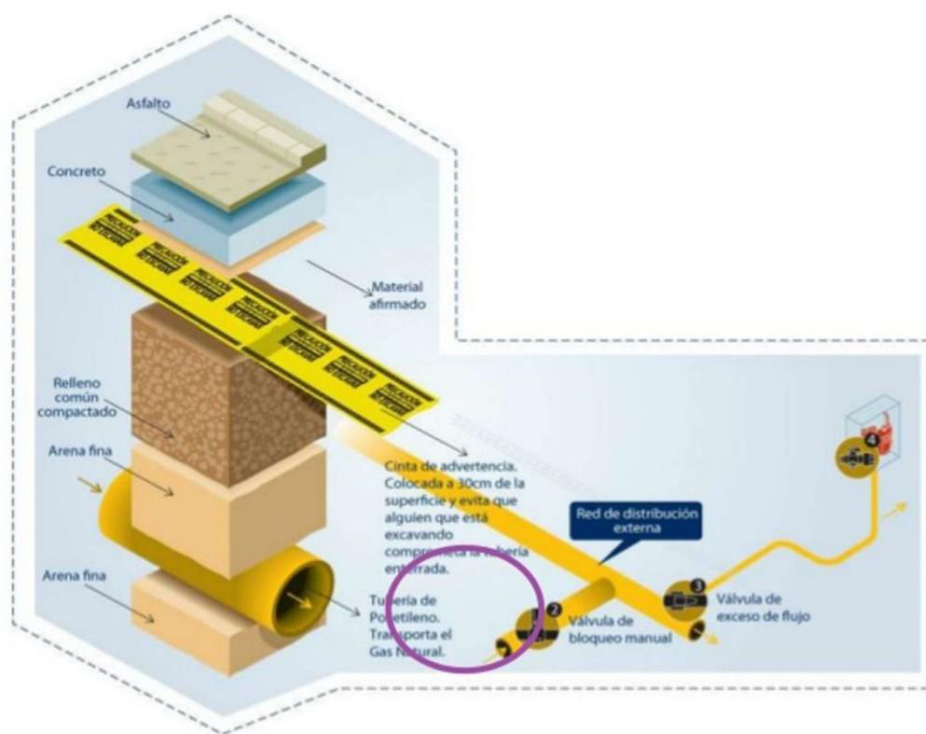


FIGURA N° 2.12: Esquema de suministro de gas natural

### 2.3.4 Tramo:

Es una sección o porción de la longitud de una tubería que sale de la fábrica de fundición, para nuestro proyecto utilizaremos tramos de tubería, las tuberías son fabricadas con un

promedio de 12m de longitud.

### **2.3.5 Tubo**

Un tubo es una pieza de forma cilindro que tiene un hueco en ella, no obstante, se pueden tener tubos con diferentes tipos de secciones, mediante la unión de varios tubos es que se forma una tubería. Estos permiten transportar líquidos o gases.

### **2.3.6 Tuberías:**

Una tubería es el conjunto de tubos unidos, el cual tiene como finalidad transportar un fluido.

Cuando una tubería transporta gas se llamará gaseoducto.

### **2.3.7 Tuberías de Acero al Carbono**

Estas son tuberías fabricadas en acero con un contenido de carbón, el cual dota a estas tuberías de propiedades requeridas en el transporte de grandes caudales de gas.

Alguna de estas propiedades son la maleabilidad, resistencia, y bajo costo.



FIGURA N° 2.13: Tuberías de Acero al Carbono

### **2.3.8 Presión de diseño:**

La presión de diseño es la máxima que puede experimentar una instalación, este es el valor con el que se dimensiona la instalación y se eligen los materiales.

### **2.3.9 Presión máxima admisible de Operación (MAPO)**

La presión máxima admisible de operación es la presión que alcanza la instalación cuando la demanda es máxima.

### **2.3.10 Presión de prueba**

La presión de prueba es la presión a la que el sistema es sometido antes de iniciar operaciones, esta se realiza con la finalidad de asegurar el hermetismo de la estación.

### **2.3.11 Presión de operación**

Presión de operación es la cual con la que las instalaciones operan de manera correcta, cuidando la integridad de los componentes de la red, como accesorios y tuberías. Esta presión podrá ser como máximo en MAPO.

### **2.3.12 Purga**

Es donde se eliminan los restos indeseados del sistema o red, estos pueden ser líquidos o gaseosos.

## **2.4 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA:**

En esta sección, se analiza las definiciones y los conceptos que se requieren comprender para el cálculo del diámetro de la tubería de acero al carbón.

### **2.4.1 Concepto y definición**

En el diseño del proyecto y en su ejecución es necesario conocer las siguientes normativas:

ASME-B10.16 (1997). Face to face and end to end dimensions of valves. The American Society of Mechanical Engineers.

ASME-B.1.20.1 (1998). Pipe threads, general purpose (inch). The American Society of Mechanical Engineers.

ASME-B16.11 (1997). Forged fittings, socket-welding and threaded. The American Society of Mechanical Engineers.

ASME-B16.20 (1997). Metallic gaskets for pipe flanges. The American Society of Mechanical Engineers.

ASME-B16.21 (1997). Nonmetallic flat gaskets for pipe flanges. The American Society of Mechanical Engineers.

ASME-B16.34 (1997). Valves-flanged, threaded and welding end. The American Society of Mechanical Engineers.

ASME-B16.5 (1997). Pipe flanges and flanged fittings nps 1/2 through nps 24. The American Society of Mechanical Engineers.

ASME-B31.3 (1999). Process piping asme code for pressure piping. The American Society of Mechanical Engineers.

ASME-B31.4 (1999). Code pipeline transportation systems for liquid hydrocarbons. The American Society of Mechanical Engineers.

ASME-B31.8 (1999). Gas transmission and distribution piping systems. The American

Society of Mechanical Engineers.

ASME-B36.10 (1999). Welded and seamless steel pipe. The American Society of Mechanical Engineers.

ASME-B36.19 (1999). Stainless steel pipe. The American Society of Mechanical Engineers

#### **2.4.2 La fórmula de Weymouth:**

En un proyecto de una instalación de gas industrial, se debe de garantizar el suministro del combustible a partir de un ramal principal de la red.

En este caso se busca obtener el suministro de un caudal de 20,000.00Sm<sup>3</sup>/h, donde además se garantice que la presión se encuentre entre 10 Bar y 25 Bar y además que el diámetro de la tubería no sea mayor a 12 pulgadas, en dichas circunstancias se puede utilizar la fórmula de Weymouth:

$$Q = WZE \sqrt{(P_i^2 - P_f^2)/L_E} \quad \text{ecuación (2.6)}$$

$Q$	: Caudal de gas, m <sup>3</sup> /dia
$W$	: Constante de Weymouth, Tabla N° 2.1
$Z$	: Factor de compresibilidad del gas, Tabla N° 2.2
$E$	: Coeficiente de eficiencia, Tabla N° 2.3
$P_i$	: Presión absoluta al inicio del tramo, kg/cm <sup>2</sup>
$P_f$	: Presión absoluta al final del tramo, kg/cm <sup>2</sup>
$L_E$	: Longitud de cálculo del tramo de tubería, km

Entonces afirmamos que la constante de Weymouth, es dependiente del diámetro, pudiéndose adoptar los valores indicados en la Tabla N° 2.1:



Cuadro N° 1 . Constante de Weymouth

Diámetro		W
mm	pulgadas	
13	1/2	123
19	3/4	260,1
25	1	496,8
38	1 1/2	1552,3
51	2	3022,4
75	3	9085,5
100	4	19054,6
125	5	58526,4
200	8	118662,2
250	10	216032,9
300	12	342813,8

Fuente (Sifuentes Sancho, 2011)

En el caso del factor de compresibilidad Z, este depende de la presión absoluta inicial  $P_j$ .

Se pueden indicar los valores en la Tabla N° 2.2.

Equivalencia

$$1 \text{ bar} = 1,019716 \text{ kg/cm}^2.$$

Tabla N° 2.2. Presión inicial vs Factor Z

Presión inicial: $P_i$ kg/cm <sup>2</sup> abs.	Factor Z
5 a 10	1.01
10 a 20	1.02
20 a 25	1.03

Fuente (Sifuentes Sancho, 2011)

Con respecto al coeficiente de eficiencia E este se encuentra en función del diámetro de la tubería y del caudal diario de gas. Para los cálculos se utilizaron los valores indicados en la Tabla N°2.3.

TABLA N° 2.3: Coeficiente de eficiencia

Diámetro		Caudal en m3/día						
mm	pulgadas	500,000	300,000	200,000	120,000	80,000	50,000	30,000
19	¾							
25	1							
38	1 ½					1.22	1.19	1.15
51	2			1.22	1.20	1.17	1.13	1.06
75	3		1.17	1.16	1.14	1.09	1.02	0.97
100	4	1.13	1.11	1.10	1.05	1.01	0.96	0.92
130	5	1.06	1.02	0.98	0.94	0.88	0.86	0.84
200	8	1.01	0.96	0.92	0.86	0.84	0.82	0.79
250	10	0.94	0.93	0.87	0.84	0.81	0.79	0.72
300	12	0.90	0.87	0.81	0.80	0.76	0.73	

Diámetro		Caudal en m3/día						
mm	pulgadas	20,000	12,000	8,000	5,000	3,000	2,000	1,200
19	¾			1.18	1.10	1.06	1.02	0.95
25	1		1.15	1.10	1.05	1.03	0.99	0.92
38	1 ½	1.11	1.06	1.01	0.96	0.90		
51	2	1.03	1.01	0.96	0.90			
75	3	0.95	0.90	0.85	0.80			
100	4	0.90	0.82					
130	5	0.79						
200	8	0.72						
250	10							
300	12							

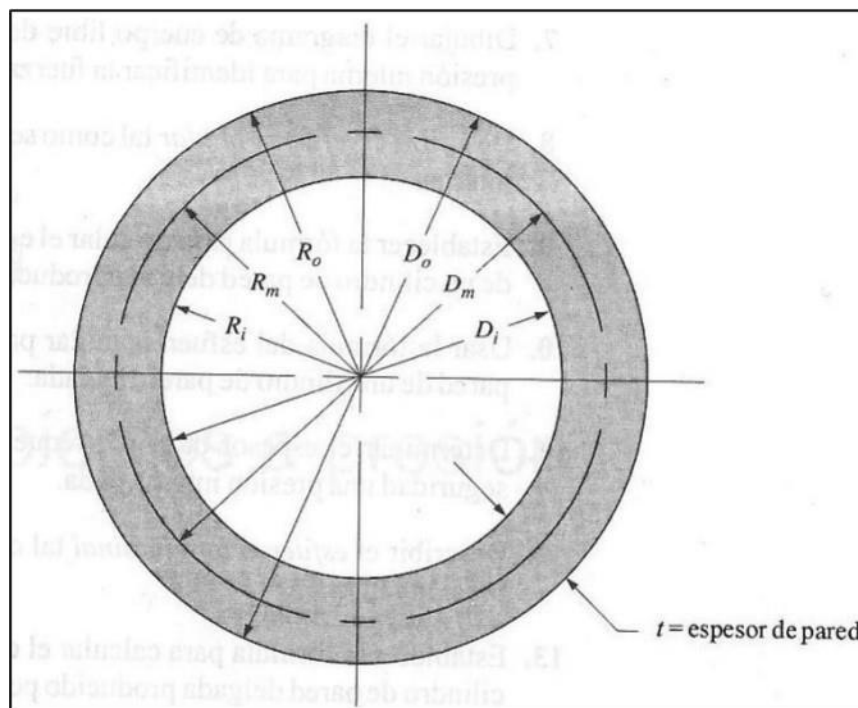
Fuente (Sifuentes Sancho, 2011)

## 2.5 CÁLCULO DEL ESPESOR DE LAS TUBERÍAS DE ACERO AL CARBONO

### 2.5.1 Formula del diseño de tubería de acero

La presión para el diseño de los sistemas de tuberías de gas y para el espesor nominal de la tubería se realiza para una presión de diseño estimada. Este se deberá de determinar mediante según la formula señalada en ASME-B31.8 (1999) y así se observó las limitaciones de esta. El esfuerzo y la magnitud que produce la presión sobre la tubería será válido según a la posición en la pared de la tubería. Sin embargo, cuando los espesores de la tubería a presión son pequeños, se pueden despreciar los efectos de la posición de estos dentro de la pared de la tubería, razón por la cual lo podemos considerar constante al esfuerzo en todo el espesor. Podemos ver esta representación de manera grafica en la Figura 2.17

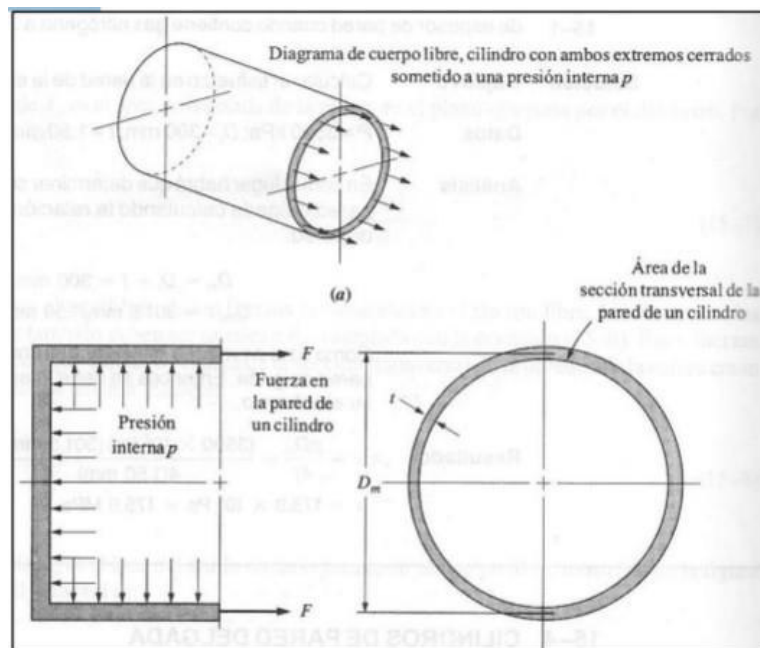
FIGURA N° 2.14: Esquema de espesor de pared de tubería  
Fuente (Mott, 2006)



Las condiciones presentadas nos permiten realizar formular relativamente más sencillas, con las cuales podemos calcular rápidamente el esfuerzo que se produce en la tubería.

Por lo general la manera en la que las tuberías de este tipo que conducen gas fallan gracias a los esfuerzos de tracción que se generan en si interior de manera paralela al eje del flujo. La fuerza de tracción es resistida generalmente por los esfuerzos de tensión que se generan en la pared de la tubería.

FIGURA N° 2.15: Esfuerzo longitudinal



Fuente (Mott, 2006)

La fuerza que produce la presión interna  $P_i$ :

$$F r = P_i A_i = P_i \pi D^2 / 4$$

Donde la presión interna en la tubería:

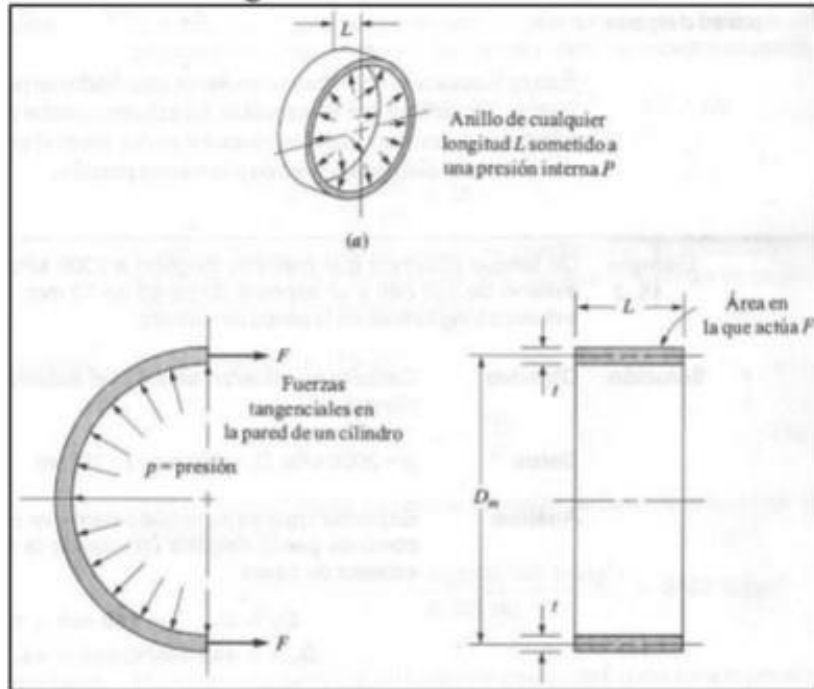
$$P = 4\sigma t / D \quad (2.7)$$

Y el esfuerzo longitudinal se calcula:

$$\sigma = P D / 4t$$

La fuerza que se produce al empujar hacia afuera uniformemente alrededor del anillo del cilindro hace que se desarrolle un esfuerzo de tensión tangencial a su circunferencia para resistir la tendencia de la presión interior a reventar el cilindro. A este esfuerzo de tensión en la pared de la tubería se le denomina esfuerzo anular.

FIGURA N° 2.16: Esfuerzo anular



Fuente (Mott, 2006)

En resumen, se tiene:

El diámetro medio está dado por  $D_m = (D_i + D_o)/2$

Si se verifica que  $D_m/t \geq 20$ ,

En este caso se trata de un cilindro con pared delgada y se puede aplicar la ecuación 2.8:

$$P = 2\sigma t/D \quad (2.8)$$

Donde:

P: presión de diseño, (Psi)

$\sigma$ : Esfuerzo admisible a que se puede someter el material sin que éste falle.

D: Diámetro nominal exterior de la tubería, (Pulg)

t: Espesor nominal de pared de la tubería, (Pulg)

Es usual considerar  $\sigma_a = \sigma_u/6$ . También referirlo al esfuerzo último  $\sigma_a = \sigma_u/9$ ;

Este esfuerzo  $\sigma_u$  es el valor en el cual se considera que la tubería falla y estalla por acción de la presión interna. Estos valores de 6 y 9, son valores generales cuando no se tenga conocimiento específico de la situación. La bibliografía no se responsabiliza por usar estos

valores y recalca que la responsabilidad es la del calculista o diseñador. Considerando el factor de diseño  $N = 6$ , se tiene:

$$\sigma_a = s/6 \quad (2.9)$$

Donde:

s: Tensión de fluencia del material, (Psi) para obtener los valores de la tensión de fluencia del material lo obtenemos de la tabla 2.4:

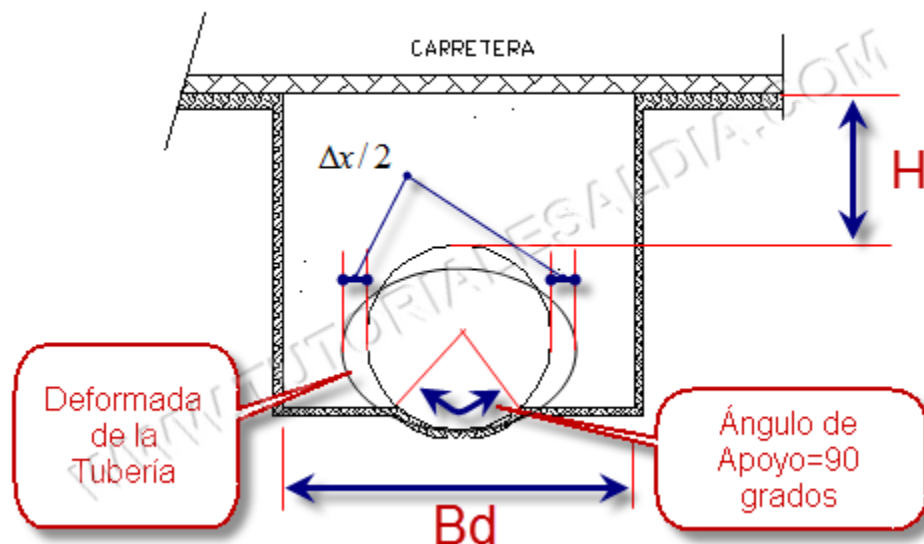
TABLA N° 2.4: Tensión de fluencia

Especificación	N°	Grado	Tipo	S(Psi)
API 5L		A25	BW, ERW, S	25,000
API 5L		A	ERW, S, DSA	30,000
API 5L		B	ERW, S, DSA	35,000
API 5L		x42	ERW, S, DSA	42,000
API 5L		x46	ERW, S, DSA	46,000
API 5L		x52	ERW, S, DSA	52,000
API 5L		x56	ERW, S, DSA	56,000
API 5L		x80	ERW, S, DSA	60,000
API 5L		x85	ERW, S, DSA	65,000
API 5L		x70	ERW, S, DSA	70,000
API 5L		x80	ERW, S, DSA	80,000
ASTM A 53		Tipo F	BW	25,000
ASTM A 53		A	ERW, S	30,000
ASTM A 53		B	ERW, S	35,000
ASTM A 108		A	S	30,000
ASTM A 108		B	S	35,000
ASTM A 108		C	S	40,000
ASTM A 135		A	ERW	30,000
ASTM A 135		B	ERW	35,000
ASTM A 139		A	EFW	30,000
ASTM A 139		B	EFW	35,000
ASTM A 139		C	EFW	42,000
ASTM A 139		D	EFW	48,000
ASTM A 139		E	EFW	52,000
ASTM A 333		1	S, ERW	3,000
ASTM A 333		3	S, ERW	35,000
ASTM A 333		4	S	35,000
ASTM A 333		6	S, ERW	35,000
ASTM A 333		7	S, ERW	35,000
ASTM A 333		8	S, ERW	75,000

Fuente (ASME B31.8, 1999)

## 2.6 TEORÍA DE DEFLEXIÓN DE SPANGLER:

En la figura se grafica una tubería instalada en Zanja y la Deflexión de la tubería que se genera por las Cargas Muertas y Viva: (figura N°2.17)



(Figura N°2.17) Diagrama de teoría de Spangler, Fuente (tutoriales al día - ingeniería Civil, 2016)

Para determinar la Deflexión de Tuberías soterradas en zanja, se utiliza la ecuación planteada por M. Spangler:

$$\Delta x = D_1 \left( \frac{KxWxr^3}{E \times I + 0,061.E'.r^3} \right) \quad (2.10)$$

Donde:

$Dx$ : Deformación horizontal, se tiene los siguientes valores:

-tuberías con recubrimiento de mortero de cemento:  $Dx/D < 2\%$

-tuberías de Hierro Fundido Dúctil:  $Dx/D < 3\%$

-tuberías con recubrimiento bituminoso:  $Dx/D < 5\%$

*D1*: Factor de Deflexión en Tuberías. Se emplea normalmente un valor de 1.30, oscilando entre 1.25 a 1.50.

*k*: Coeficiente de apoyo de la tubería en lazanja, se utiliza con regularidad un valor igual a 0,10 (ángulo de apoyo = 90°).

*r*: Radio medio de la tubería (m).

*E*: Módulo de Elasticidad de la tubería según el material

(Acero =  $2,1 \times 10^{10}$  Kg/m<sup>2</sup> – HFD =  $6 \times 10^9$  Kg/m<sup>2</sup> - PVC =  $2,81 \times 10^4$  Kg/cm<sup>2</sup>).

*I*: Momento de Inercia de la tubería en una sección rectangular, de base de longitud unitaria y altura *e*.  $I = e^3/12$ .

*E'*: Módulo de reacción del suelo = 49,20 Kg/cm<sup>2</sup> (spangler propone, 700psi).

*W*: Carga total que actúa sobre la tubería, la cual se calcula con la siguiente ecuación.

$$W = W_r + W_{cv} \quad \text{ecuación (2.11)}$$

### 2.6.1 Cargas Muertas

Se denominan cargas muertas a las cargas o esfuerzos generados por el terreno o relleno sobre la tubería soterrada, es decir, el peso del relleno que influye sobre el gasoducto.

Siendo *W<sub>r</sub>* (cargas muertas), Según la ecuación de Marston:

$$W_r = C_d * \gamma_s * B d^2 \left( \frac{D}{Bd} \right) \quad \text{ecuación (2.12)}$$



Donde:

Cd: Es el Coeficiente de carga, según la ecuación:

$$Cd = \frac{1 - e^{-2K\mu(\frac{H}{Bd})}}{2K\mu} \quad \text{ecuación (2.13)}$$

$\gamma_s$ : Peso específico del material de relleno.

$Bd$ : Ancho de la zanja.

### 2.6.2 Cargas Vivas

Se denominan cargas vivas a las diversas cargas generadas sobre la tubería, debido al tránsito vehicular y/o peatonal en una vía.

Para determinar las cargas vivas se utilizará el método ATV el cual nos ayuda determinar las cargas generadas por el tráfico vehicular.

El método ATV utiliza la siguiente fórmula para determinar las cargas vivas:

$$p = a_F \cdot p_F \quad (2.14)$$

Donde:

$$p_F = \frac{F_A}{r_a^2 \cdot \pi} \left\{ 1 - \left[ \frac{1}{1 + \left(\frac{r_A}{h}\right)^2} \right]^{\frac{3}{2}} \right\} + \frac{3F_E}{2 \cdot \pi \cdot h^2} \left[ \frac{1}{1 + \left(\frac{r_E}{h}\right)^2} \right]^{\frac{5}{2}} \quad (2.15)$$

$$a_F = 1 - \frac{0.9}{0.9 + \frac{4h^2 + h^6}{1.1d_m^{\frac{2}{3}}}} \quad (2.16)$$

$$d_m = \frac{d_e + d_i}{2} \quad (2.17)$$

Tener presente que los datos presentados en la tabla anterior están en Kg/m<sup>2</sup>, para utilizar las cargas en la Ecuación de Marston (Wr), debemos multiplicar las cargas por el diámetro de tubería para obtener (Kg/m). Para alturas superiores a los 2.40m, la fuerza de la carga viva en la deflexión de tuberías se puede omitir.

r: Radio medio de la tubería (m).

$E$ ; Módulo de Elasticidad de la tubería según el material

(Acero =  $2,1 \times 10^{10} \text{ Kg/m}^2$  – HFD =  $6 \times 10^9 \text{ Kg/m}^2$  - PVC =  $2,81 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$ ).

$I$ : Momento de Inercia de la tubería en una sección rectangular, de base de longitud unitaria y altura  $e$ .  $I = e^3/12$ .

$E'$ : Módulo de reacción del suelo =  $49,20 \text{ Kg/cm}^2$  (spangler propone, 700psi).

## CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

### 3.1 Datos iniciales

La demanda de gas natural de una fábrica de cerámicos de la empresa Celima que se encuentra ubicada en el distrito de Punta Hermosa, la cual requiere de un suministro diario de 20,000.00 Sm<sup>3</sup>/h, pero que no cuenta en sus cercanías con una tubería de la red matriz o troncal del gas natural, por lo cual hace complejo el obtener el suministro.

El proyecto comprende en la instalación de gaseoductos de tubería en acero al carbono una longitud de 2.5 km desde el punto de empalme hasta el punto de ingreso del cliente. El caudal de suministro al cliente es 20,000.00 Sm<sup>3</sup>/h, el tipo de tubería a utilizar es API 5L grado B, y la presión de suministro es 10 Bar.



Figura 3.1 fábrica de cerámicos

### 3.2 Cálculo del diámetro y espesor del gasoducto

Teniendo los requerimientos de caudal podemos obtener el diámetro necesario del gasoducto de Acero a instalar. Determinar el valor del espesor del gasoducto que vayamos a instalar.

Caudal necesario para alimentar es de 20000Sm<sup>3</sup>/h.

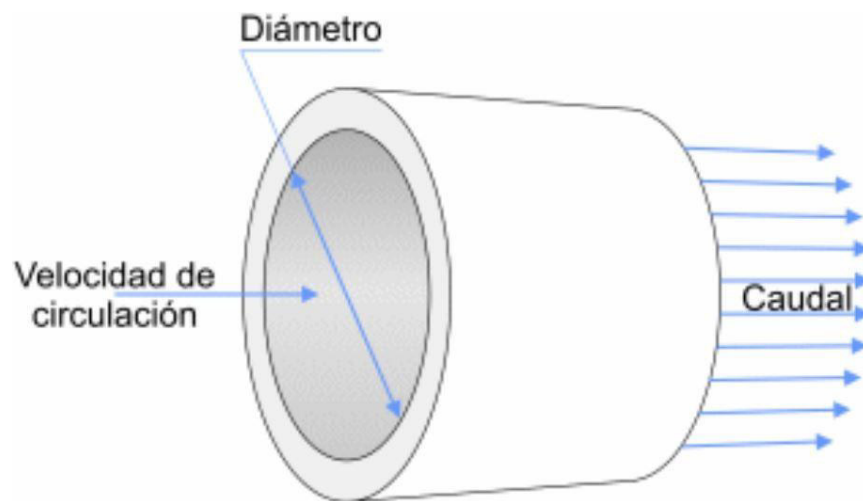


Figura 3.2 diámetro de tubería

### 3.3 Excavaciones de Exploración:

Se realizan calicatas para verificar las interferencias que van tanto transversalmente como longitudinalmente al gasoducto.

Figura 3.3 calicata



Fuente propia

### **3.4 Trazado de la línea de Acero:**

Luego de ver las calicatas realizamos el trazado del eje de nuestro eje del gasoducto separándonos y cumpliendo las distancias mínimas de seguridad a otros servicios.

Además, se observa que se debe cruzar la av. separadora, por debajo del mismo, haciendo que nuestro gasoducto tenga una tapada mayor de lo normal.

### **3.5 Excavación de zanja:**

Luego del trazado se procede a la excavación de zanjas cumpliendo los mínimos valores de profundidad y ancho de zanja según lo establecido en nuestro procedimiento de instalación de tuberías. La excavación puede ser de 2 tipos: Manual (Realizada por personal obrero) y Mecánica (Realizada por un equipo de maquinaria pesada).



FIGURA N° 3.5: Instalación de tuberías

### **3.6 Cruce Especial:**

El tramo de la Av. Antigua Panamericana Sur por ser una vía muy transitada y ser vía metropolitana se profundiza más de la tapada normal, no se puede realizar con personal obrero por seguridad y se tendrá que realizar con una retroexcavadora con el fin de evitar accidentes y realizar el trabajo de manera más rápida y eficiente.

#### **3.6.1 Cálculo de Deflexión de Tubería:**

Con nuestras ecuaciones determinaremos las cargas muertas dadas por el peso del relleno de zanja. También, las cargas vivas dadas por el tránsito peatonal y vehicular en este cruce. Con los resultados se determinará el valor de deflexión de la tubería.

#### **3.6.2 Sistema de mitigación y/o protección:**

Al verificar el valor de deflexión del gasoducto se podrá comparar con su límite máximo permitido. En este límite sea superado se utilizara una protección Tipo A,B (Según el manual de Cálidda, Protección con un TUBO DE PVC PESADO) con el fin de disminuir la deflexión del gasoducto. No debe pasar del 2%.

## CAPÍTULO IV: CALCULOS Y RESULTADOS

### 4.1 Cálculo del diámetro de la tubería de acero al carbono

Para calcular el diámetro de tubería utilizaremos:

La fórmula de Weymouth (Ecuación.2.6)

$$Q = WZE \sqrt{(P_i^2 - P_f^2)/L_E}$$

$Q$	: Caudal, $m^3/dia$
$W$	: Constante de Weymouth, Tabla N° 2.1
$Z$	: Factor de compresibilidad del gas, Tabla N° 2.2
$E$	: Coeficiente de eficiencia, Tabla N° 2.3
$P_i$	: Presión absoluta al inicio, $kg/cm^2$
$P_f$	: Presión absoluta al final, $kg/cm^2$
$L_E$	: Longitud del tramo de tubería, km

Reemplazamos

$$\text{Caudal: } Q = 20000m^3/h = 20000(24)m^3/dia = 480000m^3/dia$$

Presión absoluta al inicio de tramo:

$$P_{abs.i} = P_i + P_{atm}$$

$$P_i = 10Bar = 10.2Kg/cm^2$$

$$P_{atm} = 1.013Bar = 1.033Kg/cm^2$$

$$P_{abs} = 10.2 + 1.033 = 11.233Kg/cm^2$$

Presión absoluta al final del tramo:

(se considerado el 10% de caída de la presión inicial):

$$P_{abs.f} = P_f + P_{atm}$$

$$P_f = 11.233 \text{ Bar} \cdot 90\% = 10.11 \text{ Kg/cm}^2$$

Factor de compresibilidad Z, para una Presión absoluta inicial, se obtiene de la Tabla N°2.2

$P_{absi}$  de 11.23 kg/cm<sup>2</sup>.

$$Z=1.02$$

Coefficiente de eficiencia E, para un caudal de 480,000m<sup>3</sup>/día, se obtiene de la Tabla

N° 2.3 y asumiendo para un diámetro de tubería de Ø10”.

$$E=0.94$$

Reemplazando los valores obtenemos:

$$Q = WZE \sqrt{(P_i^2 - P_f^2)/L_E}$$

$$480000 = W(1.02)(0.94) \sqrt{(11.233^2 - 10.11^2)/2.5}$$

$$W = 161683.46$$

Con este valor de W (constante de Weymouth) buscamos en la Tabla N° 2.1:

$$D = 250 \text{ mm} = 10 \text{ Pulg}$$

TABLA N° 2.5: Dimensiones y masas de tuberías de acero

Pipe Size (inches)	Outside Diameter (inches)	Identification			Wall Thickness - t (inches)	Inside Diameter - d (inches)	Area of Metal (square inches)	Transverse Internal Area		Moment of Inertia - I - (inches <sup>4</sup> )	Weight Pipe (pounds per foot)	Weight Water (pounds per foot)	External Surface (square feet per foot of pipe)	Elastic Section Modulus (in <sup>3</sup> )
		Steel		Stainless Steel Schedule No.				- a -	- A -					
		Iron Pipe Size	Schedule No.					(square inches)	(square feet)					
10	10.750	.	.	5S	.134	10.482	4.36	86.29	.5992	63.0	15.19	37.39	2.814	11.71
		.	.	10S	.165	10.420	5.49	85.28	.5922	76.9	18.65	36.95	2.814	14.30
		.	20	.	.250	10.250	8.24	82.52	.5731	113.7	28.04	35.76	2.814	21.15
		.	30	.	.307	10.136	10.07	80.69	.5603	137.4	34.24	34.96	2.814	25.57
		STD	40	40S	.365	10.020	11.90	78.86	.5475	160.7	40.48	34.20	2.814	29.90
		XS	60	80S	.500	9.750	16.10	74.66	.5185	212.0	54.74	32.35	2.814	39.43
		.	80	.	.594	9.562	18.92	71.84	.4989	244.8	64.43	31.13	2.814	45.54
		.	100	.	.719	9.312	22.63	68.13	.4732	286.1	77.03	29.53	2.814	53.22
		.	120	.	.844	9.062	26.24	64.53	.4481	324.2	89.29	27.96	2.814	60.32
		.	140	.	1.000	8.750	30.63	60.13	.4176	367.8	104.13	26.06	2.814	68.43
		.	160	.	1.125	8.500	34.02	56.75	.3941	399.3	115.64	24.59	2.814	74.29

Fuente: (ASME B 36.10, 1996)



#### 4.1 Cálculo del espesor de la tubería de acero al carbono

Para el cálculo del espesor de la tubería de acero utilizaremos la (Ecuación.2.9)

$$\sigma_a = s/6$$

Donde:

s: Tensión de fluencia del material, (Psi) para obtener los valores de la tensión de fluencia del material lo obtenemos de la tabla N° 2.4:

debido a que la especificación de la tubería es API 5L Gr. B. el "s" obtenido de la tabla es

$$s = 35000 \text{ Psi}$$

Reemplazando en la (Ecuación.2.9):

$$\sigma_a = s/6 = 35000/6 = 5833.33 \text{ Psi}$$

Con el  $\sigma_a$  obtenido podemos reemplazar valores en la (Ecuación.2.8)

$$P = 2\sigma_a t/D$$

Donde:

P: presión de diseño, (Psi)

$\sigma_a$ : Esfuerzo admisible a que se puede someter el material sin que éste falle

D: Diámetro exterior nominal de la tubería, (Pulg)

t: Espesor de pared nominal de la tubería, (Pulg)

De la tabla figura N°2.5 tenemos la longitud del diámetro exterior de la tubería de acero al carbono:

$$D=10.750 \text{ pulg.}$$

De las condiciones iniciales tenemos la presión de diseño:

$$P = 19\text{Bar} = 19.38\text{Kg/cm}^2 = 275.57\text{P si}$$

Reemplazando valores para obtener t (Espesor de pared de tubería de acero)

$$275.57 = 2(5833.33)t/10.75$$

$$t = 0.2539\text{Pulg}$$

La tubería a utilizar debe tener un espesor mínimo de 0.2539 Pulg, sin embargo, ese diámetro no lo tenemos como dato en la tabla N°2.6. En consecuencia, utilizaremos el más próximo.

$$t \text{ (Espesor de pared de tubería)} = 0.307 \text{ pulg o } 7.80 \text{ mm}$$

#### 4.2 Cálculo de cargas muertas

la carga ejercida por el relleno de la zanja utilizaremos el Método de Martson.

Las cargas muertas se determinarán mediante la Ecuación:

$$W_c = C_d * \gamma * B_d$$

Donde:

$W_c$ : Carga muerta en un tubo flexible por unidad de longitud(kg/m)

$C_d$ : Coeficiente de carga.

$B_d$ : Ancho de la zanja encima de la corona del tubo

$\gamma$ : Peso volumétrico total del relleno ( $\text{kg/m}^3$ )

$$C_d = \frac{1 - e^{-2k\mu(H_R/B_d)}}{2k\mu} \quad (\text{ecuación 2.14})$$

Donde:

$C_d$ : Coeficiente de carga.

$B_d$ : Ancho de la zanja. (m)

$k$ : Coeficiente de Rankine

$\mu$ : Coeficiente de fricción

$H_R$ : Profundidad del relleno sobre la corona de la tubería. (m)

Los valores de  $k$  y  $\mu$  se obtienen de TABLA N° 2.6:

TABLA N° 2.6: Valores de  $k\mu$  para diferentes tipos de terreno

Tipo de relleno	$k\mu$
No Cohesivo. Rocas Machacadas	0.19
No Cohesivo. Rocas con gravas	0.17
Cohesivo. Arena arcillosa	0.15
Cohesivo. Arcillas ordinarias	0.13
Cohesivo. Arcillas plásticas	0.11

Fuente: (Galvez, 2011)

Para una tubería de acero el ancho de zanja es de 0.60 m. Y según (ASME, 2016) nos menciona que las redes de acero deben ir a una profundidad no mayor a 0.61m.

El valor del peso específico del relleno es de  $2380 \text{ kg/m}^3$  y se considera un grado de compactación del 100%.

Se considera un terreno cohesivo con arcillas plásticas con un valor de  $k\mu$  de 0.11.

*Datos*

Datos	Valor
$B_d$	0.60 m
$H_R$	0.61 m
$\gamma$	$2380 \text{ kg/m}^3$
$k\mu$	0.11

Determinamos el valor de  $C_d$ .

$$C_d = \frac{1 - e^{-2(0.11)(0.61/0.60)}}{2(0.11)}$$

$$C_d = 3.880058$$

Luego con el valor de  $C_d$ , pasamos a calcular  $W_c$ .

$$W_c = 3.880058 * 2380 * 0.60$$

$$W_c = 5540.722 \text{ kg/m}^2$$

#### 4.4 Cálculo de cargas vivas

Las cargas vivas son aquellas que son generadas por la carga del tráfico vehicular. Para esto utilizamos el método ATV.

El método ATV utiliza la siguiente fórmula para determinar las cargas vivas:

$$p = a_F \cdot p_F \quad \text{ecuación 2.14}$$

Donde:

$$p_F = \frac{F_A}{r_a^2 \cdot \pi} \left\{ 1 - \left[ \frac{1}{1 + \left(\frac{r_A}{h}\right)^2} \right]^{\frac{3}{2}} \right\} + \frac{3F_E}{2 \cdot \pi \cdot h^2} \left[ \frac{1}{1 + \left(\frac{r_E}{h}\right)^2} \right]^{\frac{5}{2}}$$

$$a_F = 1 - \frac{0.9}{0.9 + \frac{4h^2 + h^6}{1.1d_m^{\frac{3}{2}}}}$$

$$d_m = \frac{d_e + d_i}{2}$$

p: Carga ejercida por los efectos del tráfico sobre la tubería soterrada.

p<sub>F</sub>: Es una aproximación para la tensión máxima según Boussinesq bajo rueda cargas y superficies de contacto de las ruedas según DIN 1072.

h: Profundidad hasta el lomo de la tubería enterrada.

d<sub>m</sub>: Diámetro medio.

F<sub>A</sub> y F<sub>E</sub>: Son cargas auxiliares dadas por tabla N°2.7

r<sub>A</sub> y r<sub>E</sub>: Son radios auxiliares dadas por tabla N°2.7

Como datos de entrada tenemos la profundidad al lomo de la tubería, los valores auxiliares

F<sub>A</sub>, F<sub>E</sub>, r<sub>A</sub> y r<sub>E</sub> según el tipo de vehículo, en este caso utilizaremos el vehículo HGV 60.

TABLA N° 2.7: Fuerzas y radios auxiliares

VEHÍCULOS STANDARD	F <sub>A</sub> (KN)	F <sub>E</sub> (KN)	R <sub>A</sub> (M)	R <sub>E</sub> (M)
HGV 60	100	500	0.25	1.82
HGV 30	50	250	0.18	1.82
CV 12	40	80	0.15	2.26

Fuente: (ATV-DVWK, 2000)

Datos:

Identificación	Descripción	Valor
B <sub>d</sub>	Ancho de zanja	0.60 m
h	Profundidad al lomo de la tubería	0.61 m
D <sub>e</sub>	Diámetro externo	0.27305 m
D <sub>i</sub>	Diámetro interno	0.25745 m
F <sub>A</sub>	Fuerza auxiliar A	100 kN/m <sup>2</sup>

$F_E$	Fuerza auxiliar E	500 kN/m <sup>2</sup>
$r_A$	Radio auxiliar A	0.25 m
$r_E$	Radio auxiliar E	1.82 m

Determinamos el diámetro medio

$$d_m = \frac{d_e + d_i}{2}$$

$$d_m = \frac{0.27305 + 0.25745}{2}$$

$$d_m = 0.26525 \text{ m}$$

Determinamos  $a_F$ :

$$a_F = 1 - \frac{0.9}{0.9 + \frac{4(0.61)^2 + (0.61)^6}{1.1(0.26525)^{2/3}}}$$

$$a_F = 1 - \frac{0.9}{0.9 + \frac{1.53992037}{0.45411196}}$$

$$a_F = 0.790261516$$

Además, calculamos  $p_F$

$$p_F = \frac{F_A}{r_a^2 \cdot \pi} \left\{ 1 - \left[ \frac{1}{1 + \left(\frac{r_A}{h}\right)^2} \right]^{\frac{3}{2}} \right\} + \frac{3F_E}{2 \cdot \pi \cdot h^2} \left[ \frac{1}{1 + \left(\frac{r_E}{h}\right)^2} \right]^{\frac{5}{2}}$$

$$p_F = \frac{100}{0.25^2 \cdot \pi} \left\{ 1 - \left[ \frac{1}{1 + \left(\frac{0.25}{0.61}\right)^2} \right]^{\frac{3}{2}} \right\} + \frac{3 * 500}{2\pi(0.61)^2} \left[ \frac{1}{1 + \left(\frac{1.82}{0.61}\right)^2} \right]^{\frac{5}{2}}$$

$$p_F = \frac{100}{0.196349541} \left\{ 1 - [0.8561896]^{\frac{3}{2}} \right\} + \frac{1500}{2.33797325} [0.100990636]^{\frac{5}{2}}$$

$$p_F = 509.295818\{0.207763363\} + 641.581335 [0.00324117715]$$

$$p_F = 105.813012 + 2.079478783$$

$$p_F = 107.8924911 \text{ kN/m}^2$$

Pasando a kg/m<sup>2</sup>:

$$1 \text{ kN/m}^2 = 101.971 \text{ kg/m}^2$$

$$p_F = 107.8924911 \frac{kN}{m^2} * \frac{101.97162129779 \text{ kg}/m^2}{1 \text{ kN}/m^2}$$

$$p_F = 9084.616401 \text{ kg}/m^2$$

De la ecuación 2.14 las cargas vivas

$$p = a_F \cdot p_F$$

$$p = (0.790261516) \cdot (9084.616401)$$

$$p = 7179.2226 \text{ kg}/m^2$$

#### 4.5 Cálculo de la deflexión de la tubería de Acero

Para realizar el cálculo de la deflexión de la tubería de acero, primero tenemos que realizar el cálculo de las cargas muertas, vivas, y finalmente el cálculo de la deflexión.

Para el cálculo de la deflexión utilizamos la ecuación de Spangler.

$$\Delta x = D_1 \left( \frac{KxWxr^3}{E \times I + 0,061 \cdot E' \cdot r^3} \right) \quad (2.10)$$

Donde:

$\Delta x$ : Deformación horizontal de la tubería. (m)

$k$ : Coeficiente de apoyo de la tubería en lazanja, se utiliza con regularidad un valor igual a 0,10 (ángulo de apoyo = 90°).

$D_1$ : Factor de Deflexión en Tuberías. Se emplea normalmente un valor de 1.30, oscilando entre 1.25 a 1.50.

$W$ : Carga total sobre la tubería. (kg/cm)

$r$ : Radio medio de la tubería (m)

$E'$ : Módulo de reacción del suelo=49,20 Kg/cm<sup>2</sup> (spangler propone, 700psi).

$E$ : Modulo de elasticidad de la tubería. (kg/cm<sup>2</sup>)

$I$ : Momento de Inercia de la tubería en una sección rectangular, de base de longitud unitaria y

altura e.

$$I = \frac{e^3}{12}$$

e: Espesor de la tubería. (cm)

Para el cálculo de la deflexión tenemos como datos de entrada el valor del módulo de elasticidad de la tubería E, módulo de elasticidad del suelo E', ancho de zanja B<sub>d</sub>, diámetro interno de la tubería d y las cargas totales que se obtienen a partir de la suma de las cargas muertas y vivas calculadas anteriormente.

Datos

Identificación	Descripción	Valor	Unidades
d	Diámetro interno	257.45	mm
t	Espesor de tubería	7.8	mm
E	Módulo de elasticidad de acero	2,1 x 10 <sup>10</sup>	Kg/m <sup>2</sup>
W <sub>c</sub>	Cargas muertas	5540.7220	kg/m <sup>2</sup>
W <sub>v</sub>	Cargas vivas (p)	7179.2226	kg/m <sup>2</sup>
E'	Módulo de elasticidad del suelo	49.2	Kg/cm <sup>2</sup>

Determinamos el valor del radio interno

$$r = \frac{d}{2}$$

$$r = \frac{176.2}{2}$$

$$r = 88.1 \text{ mm}$$

$$r = 8.81 \text{ cm}$$

Convirtiendo W<sub>c</sub> y W<sub>v</sub> de kg/m<sup>2</sup> a kg/cm<sup>2</sup>:

$$10000 \text{ kg/m}^2 = 1 \text{ kg/cm}^2$$

$$W_c = 5540.7220 \text{ kg/m}^2 \times \frac{1 \text{ kg/cm}^2}{10000 \text{ kg/m}^2}$$

$$W_c = 0.5540722 \text{ kg/cm}^2$$

$$W_v = 7179.2226 \text{ kg/m}^2 \times \frac{1 \text{ kg/cm}^2}{10000 \text{ kg/m}^2}$$

$$W_v = 0.7179226 \text{ kg/cm}^2$$

Determinamos las cargas totales que soporta la tubería.

$$w = W_c + W_v$$

$$w = 0.5540722 \text{ kg/cm}^2 + 0.7179226 \text{ kg/cm}^2$$

$$w = 1.2719948 \text{ kg/cm}^2$$

Determinando la carga por metro lineal.

$$W = D \cdot w$$

$$W = 27.30 \times 1.030775052$$

$$W = 28.1401589 \text{ kg/cm}$$

Determinamos el momento de inercia:

$$I = \frac{t^3}{12}$$

$$I = \frac{0.78^3}{12}$$

$$I = 0.039546 \text{ cm}^3$$

Determinamos el valor de la deflexión:

$$\Delta x = D_1 \left( \frac{KxWxr^3}{E \times I + 0.061 \cdot E' \cdot r^3} \right) \quad (2.10)$$

$$\Delta x = \left( \frac{1.3 \times 0.1 \times 28.1401589 \times 8.81^3}{(39546 \times 10^{-6}) \times (2.1 \times 10^6) + 0.061 \times (49.2) \times (8.81^3)} \right)$$

$$\Delta x = 0.29361 \text{ cm}$$

Determinando la deflexión en porcentaje.

$$\frac{\Delta x}{D} = \frac{0.29361 \text{ cm}}{27.305 \text{ cm}} \times 100\%$$

$$\frac{\Delta x}{D} = 1.075297\% < 2\% \text{ si cumple}$$



## CONCLUSIONES

1. Se calculó el diámetro nominal de la tubería que es 10 pulgadas.
2. Se calculó el espesor de pared de la tubería de acero de Ø10 pul, con valor de 7.80 mm o 0.312 pulg.
3. Se tomó el dato del catálogo de fabricante para determinar el peso de la tubería de AC Ø10" API 5L Gr. B, el cual es de masa 61.71 kg/m, equivalente en peso 605.38 N.
4. Se calculó el valor de las cargas ejercidas por el relleno de zanja (cargas muertas) sobre la tubería a una profundidad de 0.61m, siendo el valor de 5540.722kg/m<sup>2</sup>.
5. Se determinó el valor de las cargas ejercidas por el tránsito vehicular (cargas vivas) para eso escogió un vehículo modelo el cual fue el HGV-60, teniendo en cuenta que la profundidad del gasoducto es de 0.61m, dando un valor de 7179.2226  $kg/m^2$
6. Se determinó la deflexión a una profundidad del gasoducto de 0.61m siendo el valor de 0.305849071 cm, Comparando con el diámetro de la tubería utilizada, el gasoducto tendría una deflexión del 1.075297%.  
la deflexión máxima que puede soportar una tubería de acero es del 2%, entonces nuestro gasoducto instalado está por debajo del límite.
7. Para una profundidad de 0.61m del gasoducto la tubería soporta el tránsito vehicular pesado y la carga del relleno por ende no necesita un sistema de protección adicional.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se debe de tener siempre en cuenta en este caso de estudios, cual es el entorno por el cual va a pasar nuestra red de tuberías. Puesto del el mismo nos ayuda a dimensionar, y diseñar la misma.
2. También es importante señalar que, para este tipo de casos, se debe de tener mucho cuidado con los cálculos a realizar, porque como bien se indica, en la bibliografía, muchas aproximaciones y consideraciones para simplificar los cálculos están a libre criterio del diseñador, por lo cual habrá diseños ligeramente diferentes según qué tan conservador sea el calculista.
3. Se sugiere que se realice un mayor estudio o profundidad sobre la forma en como se viene distribuyendo las redes de gas natural en el Perú, pues esto puede ayudar a que se tome en consideración las dificultades que tendrá una fábrica o la industria para poder abastecerse de dicho recurso.

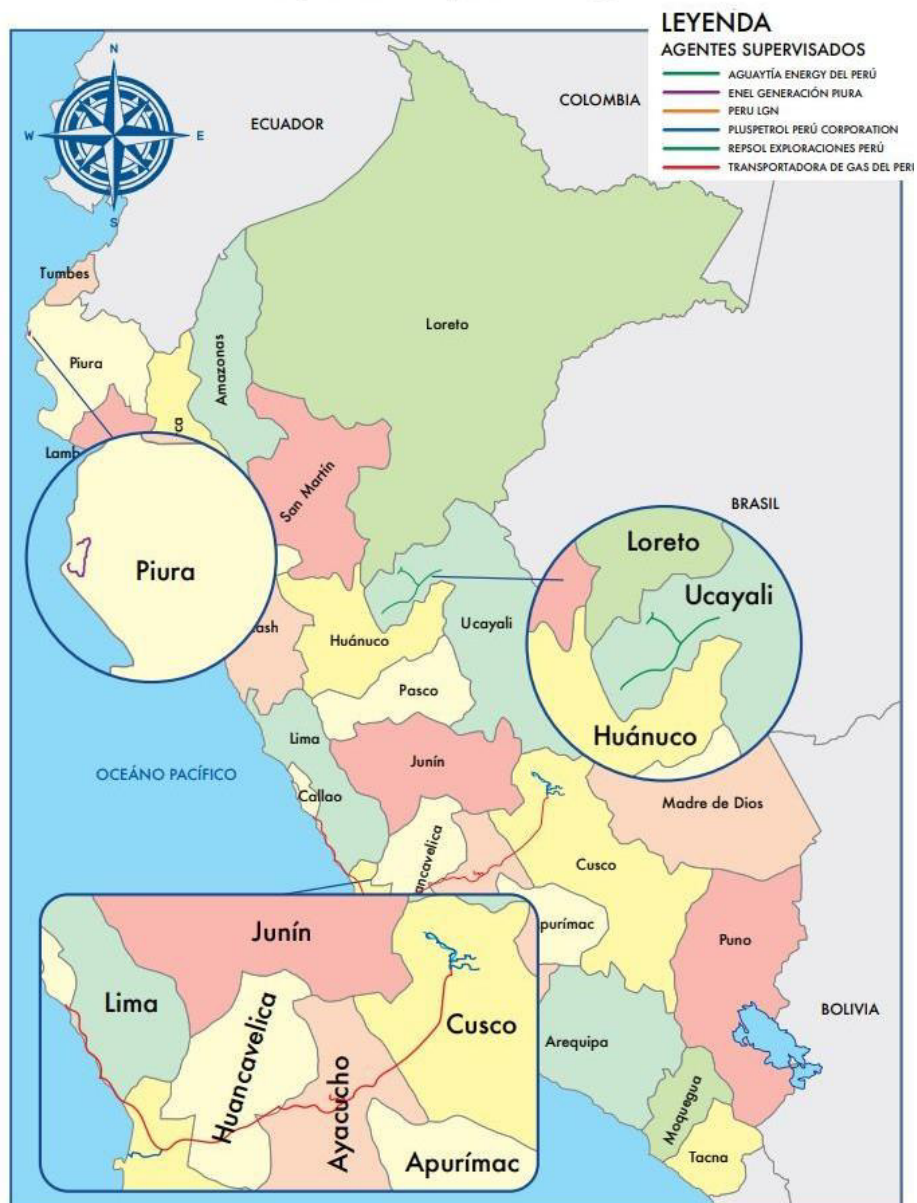
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agüera Soriano, J. (2011). Mecánica de fluidos. Impulsión de fluidos. In *Mecánica De Fluidos*. <http://repositorio.uladech.edu.pe/handle/123456789/>
- ASME B31.8. (1999). *sistema de tuberia para transporte y distribucion de gas*. 1999.
- Mott, R. L. (2006). *mecanica de fluidos*. In *Mecánica de fluidos* (sexta edic).
- Osinerming. (2021). La Industria del Gas Natural en el Peru. In *Problemas del Desarrollo*. *Revista Latinoamericana de Economía* (Vol. 19, Issue 75).  
<https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.1988.75.35448>
- Periodico El Comercio. (2022). *conexiones de gas natural en negocios de Lima y Callao*. 8–10. <https://elcomercio.pe/publirreportaje/gas-natural-combustible-mueve-industrias-noticia-641374-noticia>
- Sanchez, C. (2014). *Efectos de la Generación Distribuida sobre los Sistemas de Protección de una Red de Distribución Radial Típica en 10 kV de la ciudad de Arequipa*. 163.  
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1711>
- Sifuentes Sancho, jorge. (2011). *Instalaciones industriales P2. 4º Curso Del Grado En Ingeniería Mecánica*, 120.
- Tippens, P. E. (2011). *fisica conceptos y aplicaciones* (septima ed).
- tutoriales al dia -ingenieria Civil. (2016). *Cálculo de la Deflexión en Tuberías por Efecto de las Solicitaciones por Relleno y Carga Viva | Tutoriales al Día - Ingeniería Civil*. 2–4.  
<https://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/calculo-de-la-deflexion-en-tuberias-por-efecto-de-las-solicitaciones-por-relleno-y-carga-viva/>

## ANEXOS

### ANEXO 1

Mapa 2-1:  
Redes de transporte de gas natural  
supervisadas por Osinergmin



Fuente y elaboración: UTDGN-Osinergmin.

FIGURA B.1: Redes de transporte de gas natural. Fuente(Osinerning, 2021)

ANEXO 2

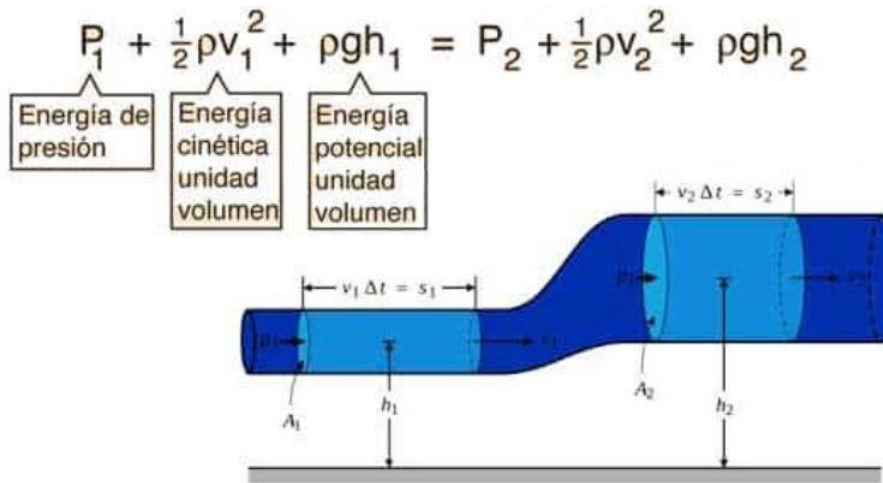


FIGURA B.2: Ecuación de Bernoulli