

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Análisis de falla y rediseño de un sistema de tubería metálica subterránea
para transporte de agua potable"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Danny Joel Cobos Dávila

Adrián Mauricio Guamán Barahona

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos por Adrián Guamán

En primer lugar, a Dios, por darme la vida y la paciencia para cumplir este propósito, a mis padres por inculcarme el carácter y dedicación en todas las labores, a mi tutora Ph.D. Ana Rivas por guiarme durante la titulación, a mis hermanos por apoyarme continuamente y a mis amigos más cercanos por resaltar y mejorar varios momentos de mi vida.

Agradecimientos por Danny Cobos

A mi familia, quienes han forjado mi camino y me han dirigido por el sendero correcto, a mi hermano que me ha ayudado a aprender de mis errores y a no volverlos a cometer y a mis amistades por su ayuda y compromiso de apoyarme en cada etapa de mi vida personal y profesional.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Danny Joel Cobos Dávila

Adrián Mauricio Guamán Barahona

Ana Luisa Rivas Ferrín

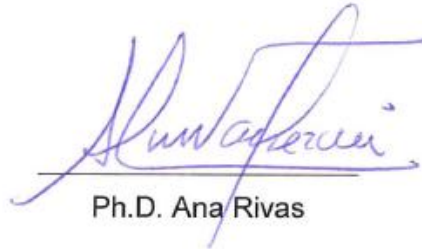
y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Danny Cobos



Adrián Guamán



Ph.D. Ana Rivas

RESUMEN

Los sistemas de transporte de agua potable cumplen con las especificaciones de ingeniería de desempeño y están sometidos a ambientes agresivos durante las etapas de instalación y operación, el diseño de una línea de conducción de agua potable se basa fundamentalmente en la tasa de crecimiento poblacional de la región en estudio. Durante la instalación de las tuberías se suscitó una rotura radial en una de las uniones bridadas que provocó la parada del proyecto, para lo cual, se considera realizar un análisis exhaustivo sobre los factores que provocaron la falla y plantear un diseño del sistema con sus respectivos correctivos.

Para el estudio de la falla se dio uso a las normas ASM y ASTM para los ensayos destructivos y no destructivos, seguido de la validación de los procesos de soldadura asignados por el código ASME sección VIII y IX y la norma AWS D1.1; además, normas de diseño de tubería y selección de materiales como lo son la ASTM B16.5, ASME B31.3 y ASTM A53. Los ensayos no destructivos mostraron los factores principales de la falla como lo fueron la falta de penetración y el agrietamiento del material base de la brida. Los ensayos destructivos identificaron que la brida pertenecía la familia de aceros de bajo carbono con una composición química igual a 0.177%, microestructura constituida principalmente por ferrita y la dureza establecida en un rango de 70 – 80 HRB. La causa principal de la falla radial de la junta soldada involucra las tensiones térmicas provocadas por un precalentamiento inadecuado durante el proceso de soldadura, generando una concentración de esfuerzos residuales que atribuyeron a la fisura intergranular del material base, propagando su magnitud mediante un enfriamiento no uniforme del sistema brida-tubería. Se estableció un rediseño del sistema de distribución acorde a los 3000 habitantes del conjunto habitacional considerando los parámetros de operación de la tubería y la disponibilidad del mercado local; ubicando dos bombas en serie para obtener un cabezal estático de 320 metros. Para la comprobación de los cálculos se realizó una simulación estática del fluido dentro de la tubería.

Palabras claves: falla radial, tensiones térmicas, ferrita, precalentamiento, diseño de tuberías.

ABSTRACT

The transport systems of potable water comply with performance engineering specification, these are subjected to aggressive environments during the installation, and operation processes, the design of potable water pipeline is based fundamentally on the population growth rate of the region study. During the pipe installation, a radial break occurred in one of the flared joints causing the project to stop. In the present graduation project, an exhaustive analysis on the factors that caused the failure was carried out and a design of the system with the respective correction was developed.

For the failure study, ASM and ASTM standards were used for destructive and non-destructive tests, after the validation of the welding processes assigned by the ASME code section VIII and IX and the AWS D1.1 standard; in addition, pipe design standards and material selection such as ASTM B16.5, ASME B31.3 and ASTM A53 were also used. The non-destructive tests showed the main factors of the failure such as the lack of penetration and cracking of the base material of the flange. The destructive tests identified that the flange belonged to the family of low carbon steels with a chemical composition equal to 0.177%, a microstructure consisting principally of ferrite with an established hardness within the range of 70 - 80 HRB. The main cause of the radial weld joint failure involves thermal stresses caused by inadequate pre-heating during the welding process, generating a concentration of residual stresses attributed to the intergranular fissure of the base material, propagating its magnitude by non-uniform cooling of the flange-pipe system. A redesign of the distribution system according to the 3000 inhabitants of the housing complex was established considering the operating parameters of the pipeline and the availability of the local market; placing two pumps in series to obtain a static head of 320 meters. In order to, verify the calculations, a static simulation of the fluid inside the pipe was performed.

Keywords: *Radial failure, thermal stresses, ferrite, preheating, piping design.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE PLANOS	XIII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Marco teórico	4
1.3.1 Análisis de falla	4
1.3.2 Tuberías metálicas para transporte de agua potable	7
1.3.3 Juntas de tuberías de acero.....	8
CAPÍTULO 2.....	9
2. Metodología	9
2.1 Metodología de diseño.....	9
2.2 Bases y Consideraciones	10
2.3 Descripción de las alternativas de solución	11
2.3.1 Rediseño del sistema de tuberías	11
2.3.2 Cambio de la junta bridada	13

2.4	Selección de la mejor alternativa y matriz de solución	14
2.5	Diseño Conceptual del Sistema de tubería metálica	16
2.6	Análisis de Falla.....	17
2.7	Diseño del Sistema de Tubería.....	23
2.8	Modelado y Simulación.....	34
2.8.1	Fluido	34
2.8.1	Soldadura Brida-Tubería	35
CAPÍTULO 3.....		39
3.	RESULTADO Y Análisis de resultados	39
3.1	Análisis de Falla de Brida	39
3.1.1	Ensayos No Destructivos	39
3.1.2	Ensayos Destructivos.....	42
3.2	Análisis de Diseño del Sistema de Tuberías.....	48
3.2.1	Población y caudal de diseño.....	48
3.2.2	Velocidad de fluido.....	49
3.2.3	Dimensiones de tubería	50
3.2.4	Pérdidas del Sistema	51
3.2.5	Sistema de Bombeo	53
3.2.6	Tipo de Junta	54
3.2.7	Análisis de Simulación	57
3.3	Análisis de Costo	60
CAPÍTULO 4.....		65
4.	Discusión y Conclusiones	65
4.1	Conclusiones	65
4.2	Recomendaciones	66
BIBLIOGRAFÍA.....		69

5. APÉNDICES	72
Apéndice A Criterio de Aceptación para Inspección Visual	73
Apéndice B Diagrama de Hierro - Carbono	75
Apéndice C Propiedades Estructurales vs Incremento de Temperatura	76
Apéndice D Métodos de Medición de Tamaño de Grano Norma ASTM E112	77
Apéndice E Requerimientos de la AWS D1.1	80
Apéndice F Diagrama de Moody	85
Apéndice G Características Dimensionales y Diagrama Capacidad – Carga Bombas HIDROSTAL	86
Apéndice H Especificaciones de Brida Norma DN1092-1	90
Apéndice I Especificaciones de Brida ASTM B16.5.....	93
Apéndice J Simulación	97
Apéndice K Especificaciones de Planchas Metálicas en el Mercado Nacional.....	100
Apéndice L Planos de Construcción	101

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWWA	American Water Works Association
AWS	American Welding Society
AISI	American Iron and Steel Institute
SAE	Society of Automotive Engineers
DIN	Instituto de Normalización Alemán
BS	British Standard
NPSH	Net Positive Suction Head
DN	Diámetro Nominal
NPS	Nominal Pipe Size
PN	Presión Nominal
St.	Steel
SEM	Scanning Electron Microscope
HP	Horse Power

SIMBOLOGÍA

mm	Milímetro
m	Metro
Km	Kilómetro
Pulg	Pulgada
s	Segundos
Min	Mínimo
Max	Máximo
Lt	Litro
Kg	Kilogramo
Kgf	Kilogramo-fuerza
Pa	Pascales
kWh	Kilovatio-Hora
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
Cr	Cromo
Si	Silicio
S	Azufre
Mo	Molibdeno
Mn	Manganeso
P	Fósforo
Nital	Alcohol + Ácido Nítrico
Gr.	Grado de acero
P_e	Potencia Eléctrica
Q_D	Caudal de diseño
Q_{Op}	Caudal operativo
$Q_{Día}$	Caudal máximo diario.
Q_{Hor}	Caudal máximo horario.
Re	Reynolds
S_y	Esfuerzo de fluencia

S_{ut}	Esfuerzo ultimo de tensión
G	Factor de tamaño de grano

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Falla radial de Brida ASTM	3
Figura 1.2 Causas y Efectos de la rotura de la Brida ASTM	7
Figura 1.3 Esquema junta brida y tubería soldada.....	8
Figura 2.1 Diagrama de Metodología de diseño para el rediseño del sistema de tubería para agua potable	9
Figura 2.2 Diseño del sistema de tubería	12
Figura 2.3 Dimensiones de las bridas estándar de acero	13
Figura 2.4 Vista 3D del diseño conceptual del sistema de tubería metálica	16
Figura 2.5 Detalle de unión bridada en el diseño conceptual	17
Figura 2.6 Sección de Brida con falla	18
Figura 2.7 Medición del cordón de soldadura	19
Figura 2.8 Sección del cordón de soldadura.....	20
Figura 2.9 Metalografía de Acero ASTM A36, Nital – 250X.....	22
Figura 2.10 Censo Poblacional Imbabura.....	25
Figura 2.11 Perfil de velocidad del fluido	27
Figura 2.12 Brida de Cara Plana para Soldadura	29
Figura 2.13 Diagrama de Tubería de Succión	33
Figura 2.14 Esquema tubería DN 300	34
Figura 2.15 Diagrama del mallado de Tubería de Succión	35
Figura 2.16 Mallado del sistema Tubería - Brida	36
Figura 2.17 Cargas y restricciones aplicadas al sistema	37
Figura 3.1 Dimensiones requeridas de soldadura en junta.....	40
Figura 3.2 Sección transversal de junta tubería – brida.....	40
Figura 3.3 Visualización de grieta longitudinal	41
Figura 3.4 Microestructura del material de la brida, Nital 100X	43
Figura 3.5 Microestructura del material de la tubería, Nital 200X	44
Figura 3.6 Microscopia electrónica de barrido para la zona de la falla, 500X	47
Figura 3.7 Microestructura de la sección de la falla, Nital 100X	48
Figura 3.8 Esquema Dimensional de Brida acorde Norma DN 1092-1.....	55
Figura 3.9 Criterio de soldadura para Brida Slip-On	57

Figura 3.10 Resultados del perfil de velocidad para el sistema 2D.....	58
Figura 3.11 Resultados de simulación del fluido en una tubería en 3D	58
Figura 3.12 Deformación total de la tubería.....	59
Figura 3.13 Resultados obtenidos para el esfuerzo máximo en la junta.....	60
Figura 5.1 Diagrama Hierro - Carbono.....	75
Figura 5.2 Efecto de recocido sobre estructura y propiedades mecánicas del acero	76
Figura 5.3 Plantilla de Tamaño de Grano	78
Figura 5.4 Relaciones de Tamaño de Grano calculados para granos uniformes, orientados aleatoriamente, equiaxiados (ASTM E112).....	79
Figura 5.5 Metales base aprobados para soldadura por la AWS D1.1	80
Figura 5.6 Metales base aprobados para soldadura por la AWS D1.1	81
Figura 5.7 Metal de Aporte por la AWS D1.1	82
Figura 5.8 Tamaño mínimo de Soldadura de Filete (AWS D1.1)	82
Figura 5.9 Temperatura Mínima de Pre calentamiento por la AWS D1.1	83
Figura 5.10 Temperatura Mínima de Pre calentamiento por la AWS D1.1	84
Figura 5.11 Diagrama de Moody.....	85
Figura 5.12 Diagrama Carga - Capacidad Bomba Hidrostral 65-250 (3450 RPM)	86
Figura 5.13 Diagrama de Bombas en Serie y Parámetros de Operación	87
Figura 5.14 Esquema dimensional de Bomba Centrífuga Hidrostral.....	88
Figura 5.15 Dimensiones de Bombas Hidrostral.....	88
Figura 5.16 Tabla Técnica Electro-Bomba Hidrostral.....	89
Figura 5.17 Esquema Dimensional de Brida Plana Soldable.....	90
Figura 5.18 Esquema dimensional de cara elevada de brida plana tipo Pygot.....	90
Figura 5.19 Dimensiones de Brida PN 10.....	91
Figura 5.20 Tabla de Dimensiones con Revestimiento de brida	92
Figura 5.21 Esquemas de Brida Clase 300	93
Figura 5.22 Esquemas de espesores de resalto de brida.....	93
Figura 5.23 Plantillas para perforaciones de Brida Clase 300	94
Figura 5.24 Dimensiones de Brida Clase 300.....	95
Figura 5.25 Dimensiones de resalto de brida	96
Figura 5.26 Deformación de tubería 12 Pulgadas.....	97
Figura 5.27 Esfuerzo de Von Misses, tubería 12 Pulgadas	97
Figura 5.28 Iteraciones de ecuación de turbulencia K-epsilon.....	98

Figura 5.29 Perfil de velocidad de fluido.....	98
Figura 5.30 Factor de seguridad.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Penetración Incompleta en la junta.....	6
Tabla 2-1 Tabla de dimensiones de la tubería según norma AWWA C-207	13
Tabla 2-2 Tabla de ventajas y desventajas de las alternativas de diseño	14
Tabla 2-3 Calificación de la Matriz	15
Tabla 2-4 Matriz de Decisión para Sistema de Transporte de Fluidos.....	15
Tabla 2-5 Composición Química de Aceros usados en Tubería - Brida	21
Tabla 2-6 Placa, lámina y bobina de acero para fabricación de tuberías.....	24
Tabla 2-7 Resultados de variables operativas y de diseño	28
Tabla 3-1 Resultados de la composición química del material de la brida.....	42
Tabla 3-2 Valores de dureza en los elementos.....	46
Tabla 3-3 Tasa de crecimiento poblacional proyectada.....	49
Tabla 3-4 Velocidad estándar en tuberías de acueductos	50
Tabla 3-5 Parámetros Nominales para Tubería 300 DN.....	51
Tabla 3-6 Dimensiones seleccionadas para Tubería de Diseño	51
Tabla 3-7 Factor de fricción y pérdidas por longitud de tubería	52
Tabla 3-8 Perdidas Secundarias.....	53
Tabla 3-9 Resultados de cabezal de bombeo y tubería de succión.....	54
Tabla 3-10 Requerimientos mínimos para Brida.....	55
Tabla 3-11 Dimensiones de Brida DN 600 PN 10.....	56
Tabla 3-12 Suministro de Materia Prima.....	60
Tabla 3-13 Válvulas y Accesorios de Tubería.....	61
Tabla 3-14 Cotización Sistema Motor-Bomba	61
Tabla 3-15 Consumo Energía	62
Tabla 3-16 Suministros y Consumibles.....	62
Tabla 3-17 Elementos de Seguridad Industrial	63
Tabla 3-18 Presupuesto del Personal.....	64
Tabla 3-19 Presupuesto total	64
Tabla 5-1 Criterio de aceptación para Inspección Visual	73
Tabla 5-2 Factor de corrección de magnificación	77

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Esquema de Brida Plana

PLANO 2 Esquema de la Junta entra Brida – Tubería con características del cordón

PLANO 3 Esquema de distribución de agua potable

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, las tuberías de acero para el suministro de agua potable cumplen con todas las especificaciones de ingeniería de desempeño de los sistemas al ser diseñadas para resistir presiones internas y cargas externas siguiendo estrictamente las normativas AWWA, ASTM y AWS. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el material presenta un buen desempeño bajo ciertos grados de estrés y cambios del suelo sin afectar las juntas, de acuerdo con las condiciones de operación bajo las cuales fue diseñado, siempre y cuando las juntas se hayan hecho siguiendo los procedimientos establecidos por las normas que apliquen.

El sistema de tuberías de agua tiene como componentes principales la red de tuberías y las bridas que le sirven de soporte. Bajo ciertas circunstancias, estos materiales pueden sufrir fallas, siendo de una gran relevancia determinar sus causas para tomar medidas preventivas y correctivas. En el presente estudio se realiza un análisis de falla en un sistema de tubería para transporte de agua para determinar las causas de su origen y tomar los correctivos a que haya lugar.

En el primer capítulo se incluye el alcance del proyecto, describiendo el problema a abordar, los objetivos generales y específicos, el marco teórico con información referente al proyecto.

El capítulo 2 describe el análisis de alternativas de diseño para cada caso y se detalla el proceso de selección de la solución más viable a través de la matriz de decisión. También se presenta la metodología del diseño de la solución seleccionada, se ilustra el diseño conceptual del sistema de tubería y se mencionan las normas, estándares de diseño, bases y consideraciones para cada caso. Posteriormente se realiza la descripción de los ensayos destructivos y no destructivos además del proceso de simulación del fluido dentro de la tubería.

El capítulo 3 contiene en su primera sección el análisis de resultados obtenidos para los ensayos propuestos y las causas derivadas de la falla. Mediante los ensayos no

destrutivos se presentan factores superficiales provenientes de la falla. Además, se observa la comparación del porcentaje de composición química y dureza de algunos materiales que se utilizan en este tipo de servicio, para identificar a que material pertenece y de igual manera se analizan sus características micro estructurales.

La segunda sección detalla los análisis para el rediseño de la tubería de conducción, teniendo en consideración la demanda de agua actual y futura, selección y/o configuración del sistema de bombeo con las pérdidas de presión inherentes, estudio y selección de brida para acople con tubería. Del mismo modo se analizan los resultados de la simulación estática del fluido y su recorrido en el interior de la tubería y finalmente se realiza un análisis de costos de la implementación del sistema.

El Capítulo 4 describe las conclusiones generales de la falla en la junta mediante los análisis de los ensayos destructivos y no destructivos, consecuentemente las recomendaciones para llevar a cabo un correcto proceso de soldadura, basado en Normas y Estándares Internacionales; también incluye las conclusiones específicas para la selección de juntas bridadas y la distribución propuesta para las tuberías de conducción, con sus recomendaciones específicas de diseño.

1.1 Descripción del problema

Los sistemas de tubería metálica subterránea son utilizados frecuentemente para transporte de agua potable, los cuales durante la instalación y trabajo son sometidos a ambientes agresivos que provocan el deterioro del material y pueden conducir a sus fallas, ocasionando problemas en la prestación del servicio y pérdidas económicas.

El sistema de transporte de agua potable de la ciudad de Ibarra, un conjunto habitacional ubicado a 214 m de altura desde el nivel de la planta de tratamiento, se compone de un tendido de tuberías y uniones bridadas con un recorrido total de 14500 m. En marzo 2016 se suscitaron fallas durante el proceso de instalación, donde las uniones de las tuberías sufrieron una rotura radial luego de culminado el proceso de soldadura con arco eléctrico. Para corregir este problema se aplicaron técnicas de precalentamiento a los

materiales de soldadura del sistema tubería-brida, pero la falla persistió. (Ver figura 1.1)



Figura 1.1 Falla radial de Brida ASTM

Fuente: Elaboración Propia

Este problema se agrega a una serie de casos relacionados con fallas en uniones soldadas, de las cuales la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME, por sus siglas en inglés) recomienda ensayos no destructivos y destructivos que permiten analizar de manera específica la falla en uniones soldadas de elementos metálicos. Debido a que esta falla sucedía con frecuencia, se disminuyó la adquisición de materiales para las bridas y las tuberías en dicho sistema.

Por tanto, en el presente proyecto se efectuará un análisis exhaustivo de la brida fallida para establecer las posibles causas que dieron origen al problema y plantear las posibles soluciones. Se determinará si la falla está asociada a una penetración incompleta del material de aporte entre los elementos del sistema tubería-brida, se verificará si el material de la brida es el sugerido, o si las causas están asociadas a otros factores.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Analizar las causas de la falla del sistema de la tubería subterránea para transporte de agua potable en la ciudad de Ibarra mediante ensayos destructivos y no destructivos para plantear su rediseño y correctivos que conlleven a minimizar la ocurrencia del problema.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información sobre los antecedentes del problema, condiciones de soldadura y de operación del sistema de agua potable.
- Evaluar las muestras del sistema tubería-brida a través de ensayos no destructivos y destructivos.
- Rediseñar el sistema de tubería mediante la respectiva selección del material y dimensiones apropiadas.
- Simular el flujo del fluido a través del sistema de tubería para determinar parámetros de diseño y evaluar si es de régimen laminar o turbulento.
- Elaborar planos de construcción del sistema utilizando normas pertinentes para su diseño.
- Realizar el respectivo análisis de costos para la implementación del sistema.

1.3 Marco teórico

1.3.1 Análisis de falla

Es un proceso que permite determinar las causas que ocasionan la falla de materiales de ingeniería en servicio, basados en antecedentes sobre el diseño, fabricación e historial de condiciones de operación. Los análisis tienen como propósito definir el método correctivo para la prevención de fallas, logrando generar niveles altos de fiabilidad, calidad, seguridad y desarrollo económico. (ASM International, 2002).

Para determinar la causa de la falla del material, hay que considerar los esfuerzos que pueden ocurrir en ella; entre las cuales están: esfuerzos mecánicos, eléctricos, químicos, electromecánicos, térmicos y radioactivos. Un esfuerzo es una influencia externa que puede ser una causa directa o indirecta de la falla. La comprensión de estas influencias es importante para el análisis eficaz de la falla y la determinación de su causa-raíz. Asimismo, la influencia de los esfuerzos depende en gran medida de la susceptibilidad del componente a tensiones internas generadas durante el calentamiento o fabricación, los criterios de rendimiento, la magnitud del factor de esfuerzo, la exposición y la susceptibilidad del material a presentar fallas. (ASM International, 2002).

Los procesos para realizar un análisis de falla se dividen en: Ensayos destructivos y no destructivos.

Ensayos Destructivos

Los ensayos destructivos como análisis químico, prueba de tracción, metalográfico, prueba de dureza y espectrometría por barrido electrónico, determinan la composición química cuantitativa del material, la resistencia mecánica, tenacidad, resistencia al impacto, elasticidad, así como también el punto de fractura y torsión. Se entiende por ensayos destructivos aquellos que alteran el estado físico del elemento con el objetivo de obtener información de las características mecánicas de los mismos. Para los ensayos destructivos suelen usarse probetas construidas con el material que se desea estudiar con forma y dimensiones normalizadas por la ASTM.

Ensayos No-Destructivos

Los ensayos y evaluaciones no destructivas abarcan el uso de técnicas de medición no invasivas para obtener información acerca de los defectos y diversas propiedades de los materiales, sus componentes y estructuras; así como también para detectar discontinuidades internas o superficiales. Esta información es necesaria para determinar la factibilidad y la capacidad para realizar una función deseada e impedir la falla. Los ensayos no destructivos

más utilizados son: visual, tintas penetrantes, partículas magnéticas, corriente de Eddy, ultrasonido y radiografía, (ASM Intenational, 2002).

En la tabla 1.1, se enumeran diferentes tipos de soluciones si la penetración en la junta es incompleta. Por otra parte, las normas establecen que la temperatura de precalentamiento debe ser la adecuada para evitar grietas. El metal base debe precalentarse, si es necesario, a una temperatura no menor que el valor mínimo listado en AWS D1.1. Durante el proceso de soldadura se mantendrá el precalentamiento del material durante una distancia al menos igual al espesor de la parte soldada más gruesa (pero no inferior a 3" [75 mm]) en todas las direcciones, desde el punto de soldadura. Para las combinaciones de metales comunes, el precalentamiento mínimo se basará en el precalentamiento del material mínimo más alto. (AWS, 2015)

Tabla 1-1 Penetración Incompleta en la junta

Causas	Solución
Cara de soldadura excesivamente gruesa de la raíz o abertura insuficiente de la raíz	Utilizar una junta geométrica adecuada
Insuficiente entrada de calor	Seguir el procedimiento de soldadura
Presencia de escoria delante del arco de soldadura	Ajuste de electrodo o posición de trabajo
Diámetro de electrodo demasiado grande	Usar electrodos pequeños en la raíz o aumentar la apertura de la raíz
Desalineación de la segunda soldadura lateral	Mejorar la visibilidad de trabajo
Puente de la abertura de la raíz	Use la apertura de la raíz del electrodo más pequeño en el paso de la raíz

Fuente: Incomplete Joint Penetration – Common Causes and Remedies (AWS, 2001)

Las posibles causas de la rotura de la brida fueron la penetración incompleta del fundente entre los elementos del sistema tubería-brida y la errónea selección del material de la brida. La penetración incompleta del material de aporte generalmente está asociada con soldaduras de ranura, es una condición de raíz en el cual el metal de soldadura no se extiende a

través del espesor de la junta. No se requiere una penetración completa de la junta en todas las juntas soldadas, ya que algunas juntas están diseñadas con soldaduras de penetración parcial. Sin embargo, tales soldaduras pueden tener una penetración de junta incompleta cuando la garganta efectiva sea menor que la especificada en las condiciones de diseño. (AWS, 2001)

Un análisis de causa y efecto se presenta en la figura 1.2, donde se muestran las causas del problema relacionado con la rotura de la brida en el proceso de soldadura con arco eléctrico.

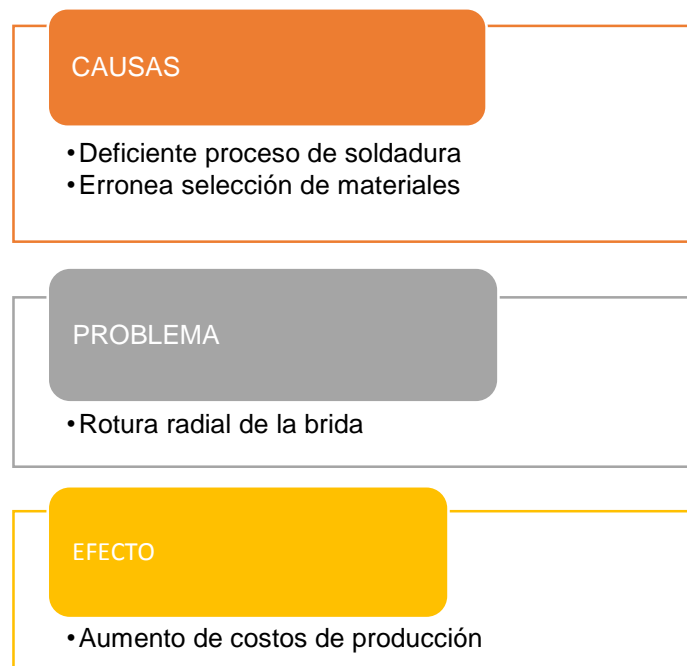


Figura 1.2 Causas y Efectos de la rotura de la Brida ASTM

Fuente: Elaboración Propia

1.3.2 Tuberías metálicas para transporte de agua potable

Las consideraciones de diseño para la selección de tuberías metálicas incluyen características topográficas del terreno, parámetros económicos y propiedades del fluido. Los parámetros esenciales para el dimensionamiento de los ductos son la proyección de la demanda de agua residencial, comercial e industrial; consumo de agua per-cápita; flujo

másico; tamaños máximo y mínimo de tubería, material y consideraciones de fiabilidad. (Prabhata & Ashok, 2008)

1.3.3 Juntas de tuberías de acero

Las juntas con bridas se usan comúnmente en las conexiones a válvulas u otras áreas donde el desmontaje de la junta puede ser necesario para el servicio o el acceso. Las bridas de anillo, que se fabrican de la placa de acero, son el tipo más común para la mayoría de las aplicaciones de transporte o distribución del agua por tuberías. Las juntas son generalmente caucho insertado en tela. Los pernos y tuercas pueden ser de acero al carbono, donde la conexión con bridas está dentro de edificios o estructuras, incluyendo bóvedas. Para aplicaciones de enterramiento directo o al aire libre, los pernos y tuercas de acero inoxidable son preferibles. El diseño y/o selección de la brida deberá cumplir los requerimientos de la ASME B16.5, ASME Sección VIII o AWWA C207. (NorhWest Pipe Company)

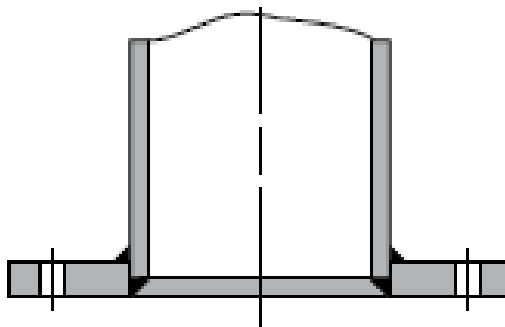


Figura 1.3 Esquema junta brida y tubería soldada

Fuente: (NorhWest Pipe Company)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Metodología de diseño

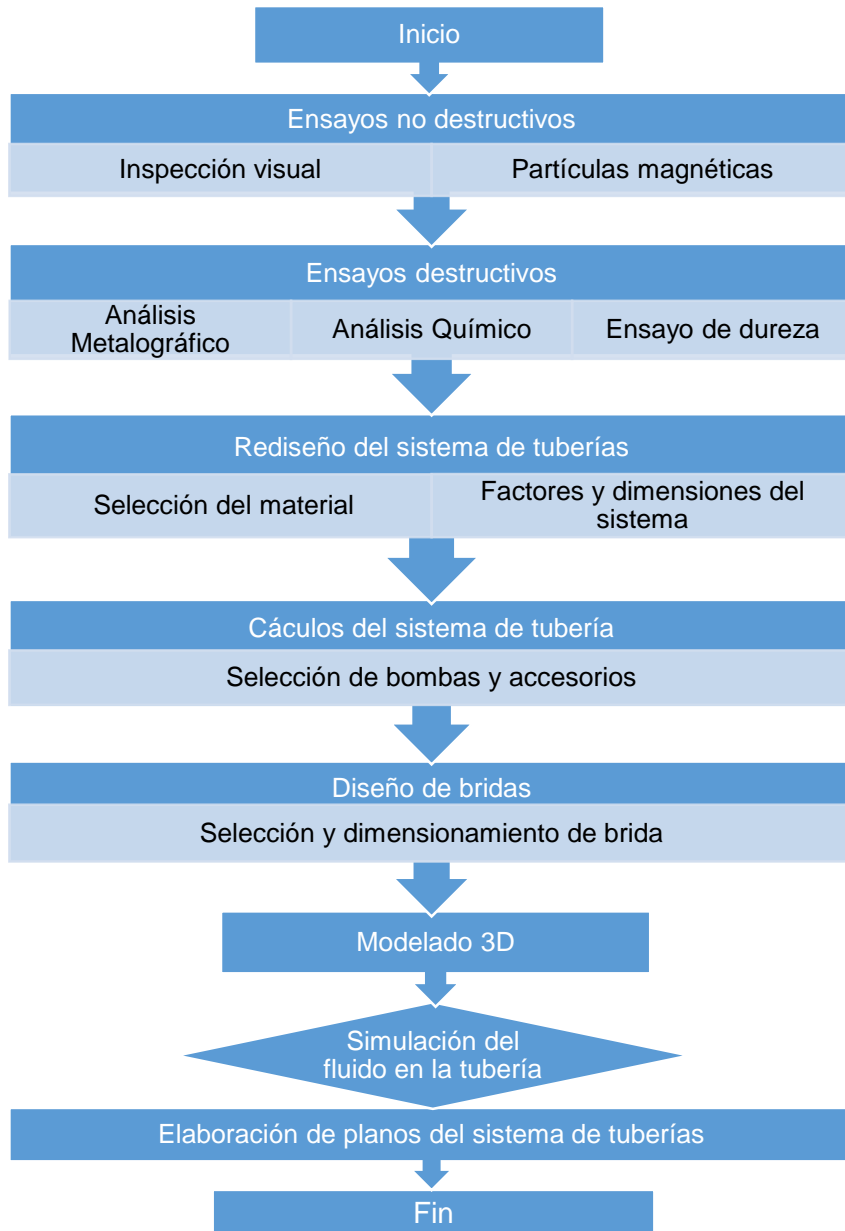


Figura 2.1 Diagrama de Metodología de diseño para el rediseño del sistema de tubería para agua potable

Fuente: Elaboración Propia

2.2 Bases y Consideraciones

Para el desarrollo del análisis de falla de la junta bridada y el rediseño del sistema de distribución de agua potable se tiene en consideración los siguientes parámetros de operación y lineamientos de diseño:

- Los ensayos no destructivos estarán basados por la ASME Sección V, artículo 7 y 9, para los ensayos de partículas magnéticas e inspección visual respectivamente.
- Los ensayos destructivos estarán basados en las siguientes Normas: ASTM E415, ASTM E3-11, ASTM E112 y ASTM A370 para análisis químico, preparación metalográfica, medición de tamaño de grano y ensayos de dureza, respectivamente.
- El fluido a transportar mediante los ductos de tubería de acero será agua potable a 20 °C con una densidad promedio de 998 kg/m³ a una velocidad dentro de la tubería de impulsión de 1 m/s.
- Para la demanda de consumo de agua potable se tendrá en consideración dos enfoques: primero, el diseño de la tubería para un crecimiento poblacional para un periodo de vida útil de 20 años y segundo, el consumo actual para un conjunto poblacional de 3000 habitantes.
- La presión de diseño será establecida mediante el cabezal estático generado por la columna de agua y la presión dinámica dependiente de la velocidad y la densidad del fluido.
- La revisión y selección de bridas de acople estarán basadas en las normativas DN 1092-1, ASME B16.5, AWWA C207.
- Los procedimientos de soldadura estarán basados bajo los lineamientos de las normas: AWS D1.1, ASME Sección VIII y IX.
- La selección de bombas, válvulas, accesorios y/o su configuración acorde a la carga y capacidad del sistema, teniendo en consideración de que no exista cavitación.

2.3 Descripción de las alternativas de solución

Antes de describir las alternativas de solución correspondientes al sistema de tuberías, es necesario explicar el proceso y condiciones de operación en donde se debe implementar este sistema. El sistema de tubería se encuentra enterrado a 1.5 m de profundidad con una presión de operación de 304 psi. La trayectoria comprendida entre la planta de tratamiento y el conjunto habitacional es de 14500 metros y 214 m de diferencia de altura entre la toma de succión y descarga. La distribución de agua potable está proyectada para un conjunto habitacional de 3000 personas.

De acuerdo con estas especificaciones se proponen las siguientes posibles alternativas de solución:

1. Rediseño del sistema de tuberías.
2. Cambio del material de la junta bridada.

2.3.1 Rediseño del sistema de tuberías

Con el fin de obtener las características del material y caracterizar sus respectivas fallas, se deben realizar los correspondientes ensayos destructivos y no destructivos para la selección adecuada del material y sus respectivas dimensiones, además se resaltaré el procedimiento adecuado de soldadura que se aplicará para la respectiva instalación del sistema.

Según la guía de la norma ASME B31.3 se establecen los criterios de diseño de acuerdo con el proceso de trabajo, control mecánico, eléctrico e instrumentación, incluyendo:

- A. Normas de materiales y componentes.
- B. Designaciones dimensionales para elementos de sistema de tuberías
- C. Requisitos para el diseño de componentes, incluidos soportes.

- D. Requisitos para la evaluación y limitación de tensiones, reacciones y movimientos asociados con presión, temperaturas y fuerzas externas.
- E. Requisitos para la fabricación, montaje y desmontaje.

Estos criterios se utilizarán en el proceso de diseño. Además, las condiciones de servicio y operación del sistema de tubería incluyen restricciones como: longitudes de tuberías, giros y accesorios, características de salida, flujo másico, cabezal de presión, características ambientales, temperatura y propiedades químicas del fluido de transporte. A continuación, se presenta el diseño previo de la junta bridada en la figura 2.2.

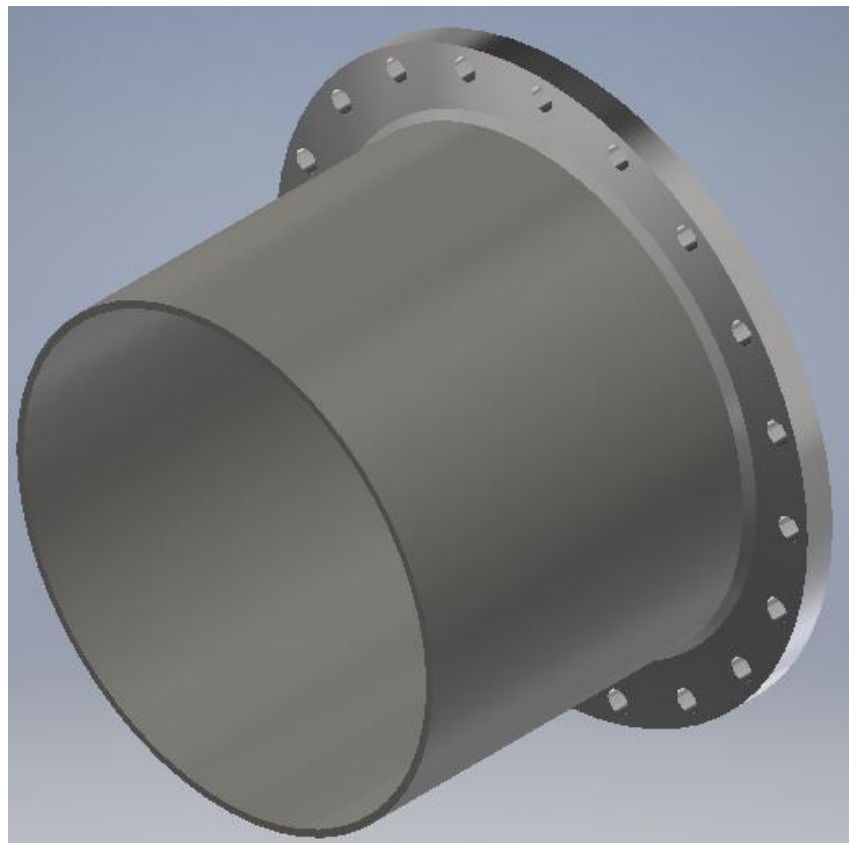


Figura 2.2 Diseño del sistema de tubería

Fuente: Elaboración Propia

2.3.2 Cambio de la junta bridada

Esta alternativa se basa en el diseño y/o selección de una nueva junta bridada mediante el previo análisis de falla, en donde se realizarán los respectivos ensayos destructivos y no destructivos para la correcta selección del material y verificación de sus dimensiones establecidas según la norma AWWA C-207, DN1092-1 y ASME B16.5 que comprenden tipos de bridas y accesorios para acoples a tuberías de acero para servicio de agua.

En la tabla 2.1 se presentan las medidas de las bridas estándar de acero respecto a las dimensiones representadas por letras que se muestran en la figura 2.3, estas se utilizarían para el respectivo diseño tomando en consideración las condiciones de operación acorde a lo estipulado en la Normativa ASME B16.5.

Tabla 2-1 Tabla de dimensiones de la tubería según norma AWWA C-207

Nominal Pipe Size <i>in.</i>	OD of Flange (A) <i>in.</i>	ID of Flange (B†) <i>in.</i>	Number of Bolts	Diam. of Bolt Circle (C) <i>in.</i>	Diam. of Bolt Circle‡ <i>in.</i>	Flange Dimensions — <i>in.</i>		
						(T)§	(L)	(E)
4	9.00	4.57	8	7.50	0.625	0.938	1.312	5.312
5	10.00	5.66	8	8.50	0.750	0.938	1.438	6.438
6	11.00	6.72	8	9.50	0.750	1.000	1.562	7.562
8	13.50	8.72	8	11.75	0.750	1.125	1.750	9.688
10	16.00	10.88	12	14.25	0.875	1.188	1.938	12.000
12	19.00	12.88	12	17.00	0.875	1.250	2.188	14.375
14	21.00	14.19	12	18.75	1.000	1.375	2.250	15.750
16	23.50	16.19	16	21.25	1.000	1.438	2.500	18.000
18	25.00	18.19	16	22.75	1.125	1.562	2.688	19.875
20	27.50	20.19	20	25.00	1.125	1.688	2.875	22.000
22	29.50	22.19	20	27.25	1.250	1.812	3.125	24.000
24	32.00	24.19	20	29.50	1.250	1.875	3.250	26.125
26	34.25	26.19	24	31.75	1.250	2.000	3.375	28.500
28	36.50	28.19	28	34.00	1.250	2.062	3.438	30.750
30	38.75	30.19	28	36.00	1.250	2.125	3.500	32.750

Fuente: (AWWA, 1994)

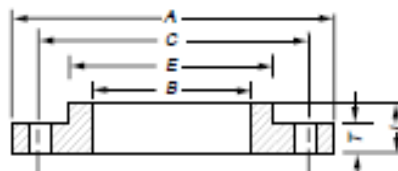


Figura 2.3 Dimensiones de las bridas estándar de acero

Fuente: (AWWA, 1994)

A continuación, la tabla 2.2 presenta las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas de diseño para el sistema de tuberías.

Tabla 2-2 Tabla de ventajas y desventajas de las alternativas de diseño

Opción	Ventajas	Desventajas
Rediseño de sistema de tuberías	<ul style="list-style-type: none">• Disponibilidad de Mercado• Flexibilidad	<ul style="list-style-type: none">• Costo• Tiempo de implementación
Cambio de la junta bridada	<ul style="list-style-type: none">• Disponibilidad del mercado• Tiempo de implementación	<ul style="list-style-type: none">• Costo• Flexibilidad

Fuente: Elaboración Propia

2.4 Selección de la mejor alternativa y matriz de solución

Para el análisis de las alternativas de solución se tomarán en cuenta 4 criterios: costo, facilidad de manufactura, tiempo de implementación y flexibilidad.

A continuación, se detallan las características evaluadas con cada criterio:

- Costo (15%). - Comprende el costo de fabricación y manufactura de la alternativa incluyendo los costos de instalación.
- Disponibilidad del mercado (20%). – Caracterizado por la adquisición de la materia prima dentro del mercado nacional.
- Tiempo de implementación (25%). – Se evalúa el tiempo de instalación y puesta en marcha requerido, así como también los tiempos de producción.
- Flexibilidad (40%). – A este criterio se otorga una ponderación alta porque comprende las capacidades para extenderlo a futuros proyectos, fácil adaptación e incremento de vida útil.

Para la selección de la correcta alternativa de solución al problema descrito, se usará un criterio de ponderación cuantitativa en un rango de 0 a 5. En la tabla 2.3 se detalla la calificación a considerar:

Tabla 2-3 Calificación de la Matriz

Condición	Calificación
Malo	1
Regular	2
Bueno	3
Muy Bueno	4
Excelente	5

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 2.4 se muestra la selección de la mejor solución. En la primera columna se incluyen los criterios de selección y el porcentaje de valoración respectivo, análogamente en la primera fila se describe las alternativas de diseño a considerar. El puntaje total se basará en la multiplicación entre el porcentaje de ponderación del criterio de selección y la calificación dada acorde a los criterios ingenieriles, siendo 1 (*Malo*) la menor ponderación indicando una correlación no favorable y 5 (*Excelente*) la mejor correlación.

Tabla 2-4 Matriz de Decisión para Sistema de Transporte de Fluidos

ALTERNATIVA CRITERIOS		1. Rediseño del Sistema de Tuberías		2. Cambio de la Junta Bridada	
		Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje
Costo	15%	1	0,15	2	0,3
Disponibilidad del Mercado	20%	3	0,6	5	1
Tiempo de Implementación	25%	2	0,5	4	1
Flexibilidad	40%	5	2	2	0,8
		TOTAL	3,25	TOTAL	3,10

Fuente: Elaboración Propia

El rediseño de sistema de tuberías es la alternativa que mejor se ajusta a los criterios propuestos ya que obtuvo un puntaje de 3.25 en comparación con la segunda alternativa de 3,1 puntos, dando una diferencia de efectividad del 5%. Entre los criterios propuestos se muestra que la mayor diferencia de calificación que existe entre las alternativas de solución fueron la

disponibilidad de mercado y la flexibilidad; siendo estos factores predominantes tanto en el diseño, implementación y adquisición de materia prima para la puesta en marcha del proyecto.

2.5 Diseño Conceptual del Sistema de tubería metálica

En la figura 2.4 se muestra el diseño de forma del recorrido de la tubería para transporte de agua potable según las condiciones del terreno y longitudes totales de tubería, en donde además se presentan previamente cambios de dirección en el recorrido, los cuales forman parte del estudio geológico realizado en dicha zona.

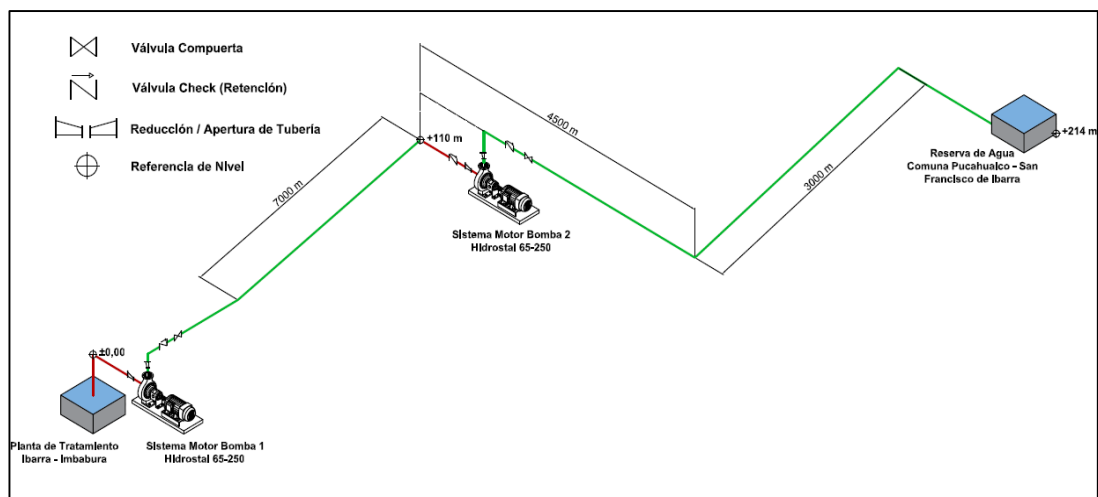


Figura 2.4 Vista 3D del diseño conceptual del sistema de tubería metálica

Fuente: Elaboración propia

El detalle de la unión bridada se muestra en la siguiente figura 2.5, en donde además se emplearán elementos adicionales al diseño de tuberías, como el uso de válvulas para el control de fluido, accesorios como codos de 90° y el respectivo sistema de bombeo.

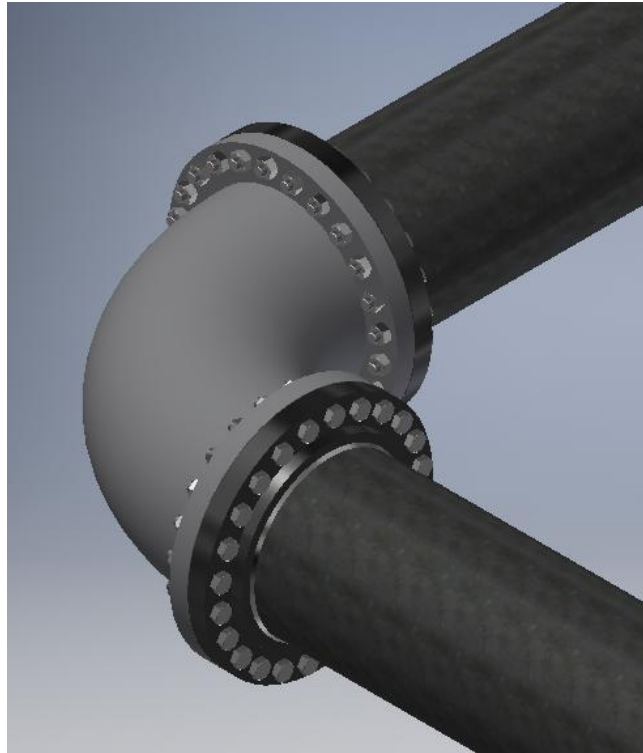


Figura 2.5 Detalle de unión bridada en el diseño conceptual

Fuente: Elaboración propia

2.6 Análisis de Falla

Las uniones soldadas pueden considerarse como una fusión local; frecuentemente sufren defectos descritos como defectos de fundición: Segregación, desgarramiento, porosidad, inclusiones, etc., entre otras deficiencias que se pueden atribuir al mal diseño de las juntas o diferencias dimensionales. Se requieren verificar las deficiencias relevantes que ocurren en los procesos de soldadura por fusión, método utilizado en la mayoría de recipientes a presión y estructuras portantes, y en menor grado sobre los defectos producidos en procesos de fusión por presión que involucra solidificación epitaxial tales como soldadura por puntos y por costura.

Inspección Visual

Con la finalidad de asegurar que la soldadura cumpla con los requisitos de calidad, se realiza una inspección visual en la que se verifican las características macro-visuales que posee la soldadura. Entre las discontinuidades que se pueden apreciar superficialmente mediante este

método están: grietas, socavados, concavidades, superposición, inclusiones de escoria, porosidades y características dimensionales como lo es el pie y garganta del cordón. El proceso se realiza mediante aplicación de iluminación directa, ajustando los ángulos de enfoque para poder captar apropiadamente las características defectuosas. Un resultado válido se obtiene realizando la inspección a una distancia máxima de 600 mm y un ángulo no menor de 30 grados respecto al área de inspección, según lo indica la Norma ASME Sección V Artículo 9.

La mayoría de los códigos y especificaciones describen el tipo y el tamaño de las discontinuidades que son aceptables, se puede realizar un examen visual siguiendo los requerimientos indicados por la AWS D1.1 (ver apéndice A) (ASME, 2015).

A continuación, se muestra un registro fotográfico de las regiones localizadas con fallas de la brida en estudio. (Ver figura 2.6)



Figura 2.6 Sección de Brida con falla

Fuente: Elaboración Propia

La fusión completa debe existir entre las capas adyacentes de metal de soldadura, así como entre el metal de soldadura y el metal de base, según la norma. En todos los casos, la porción inferior de la soldadura no debe exceder el 10% de la longitud de la soldadura. (AWS, 2015)

Galgas y elementos visuales son usados para medir el tamaño de la soldadura y la detección de discontinuidades; a continuación, se muestra en la figura 2.7 la medición del tamaño del pie del cordón de soldadura, para su verificación respecto a la norma aplicada.



Figura 2.7 Medición del cordón de soldadura

Fuente: Elaboración Propia

Ensayo Partículas Magnéticas

El método de partículas magnéticas se aplica para detectar grietas y otras discontinuidades en las superficies de materiales ferromagnéticos, que no son visibles a simple vista. Un yugo crea campos electromagnéticos en la pieza, mientras se esparcen partículas de un material fluorescente que son polvos de óxidos de hierro, de modo que, las discontinuidades pueden ser detectadas visualmente bajo la exposición de luz ultravioleta. La acumulación de estas partículas indica la ubicación de una fuga de campo electromagnético, formando un contorno de la discontinuidad e indicando su tamaño, forma y extensión. (ASM International, 2002)

Sin embargo, todas estas indicaciones no son necesariamente imperfecciones, ya que la rugosidad superficial excesiva, las variaciones de permeabilidad magnética (como en el borde de las zonas afectadas por el calor), etc., pueden producir indicaciones similares. El tamaño de la indicación es la base para la evaluación de aceptación, se considerarán pertinentes las indicaciones lineales que tengan una dimensión superior a 1,5 mm (1/16

pulgadas), indicaciones redondeadas relevantes mayores de 5 mm (3/16 pulgadas) o de cuatro o más indicaciones redondeadas relevantes en una línea separada por 1,5 mm (1/16 pulg.) o menos, de borde a borde. (ASME, 2015)

A continuación, en la figura 2.8 se visualiza la inspección del cordón de soldadura del sistema tubería brida en estudio. Se verificará si con el método de partículas magnéticas resulta relevante alguna imperfección o discontinuidad que no se haya podido obtener mediante la inspección visual, para determinar si se implementó de manera correcta lo requerimientos del proceso de soldadura entre ambos materiales.



Figura 2.8 Sección del cordón de soldadura

Fuente: Elaboración Propia

Análisis Químico

Con este análisis se puede verificar la concentración o composición química de un material por espectrometría de vacío. El ensayo consiste en una descarga de luz ultravioleta entre la superficie de la muestra y un electrodo de forma cónica, el espectrómetro convierte esta intensidad de luz en señales eléctricas medibles, registrando las energías residuales de los elementos presentes. Se realizó según la norma ASTM E-415 (Método de Prueba Estándar para el Análisis de Carbono y Acero de Baja Aleación por Espectrometría de Emisión Atómica de Chispa). (ASTM, 2015)

En la tabla 2.5 se presentan los porcentajes de elementos que componen los aceros utilizados en la fabricación de este tipo de bridas y tuberías.

Tabla 2-5 Composición Química de Aceros usados en Tubería - Brida

Elementos	C	Mn	Si	P (max)	S (max)	Mo
ASTM y API tubos acero						
A36	0,25 - 0,29	-	0,40	0,040	0,050	-
A 53 Grado B	0,30	0,29 - 1,06	0,10	0,035	0,035	0,15
A572 Grado 50	0,17 - 0,23	1,60	0,40	0,040	0,050	
A 106 Grado B	0,30	0,29 - 1,06	0,10 min	-	-	-
API 5L, Grado X52	0,21	0,9	0,26	0,015	0,015	-
ASTM y AISI tubería aceros						
A161	0,10 - 0,20	0,30 - 0,80	0,25			
A 209, Grado T1	0,10 - 0,20	0,30 - 0,80	0,10 - 0,50	0,045	0,045	0,44 - 0,65
1015	0,13 - 0,18	0,30 - 0,60	-	0,040	0,050	-
1018	0,15 - 0,20	0,60 - 0,90	-	0,040	0,050	-
1020	0,18 - 0,23	0,30 - 0,60	0,15 - 0,30	0,040	0,050	-

Fuente: (ASM Intenational, 2002)

Metalografía

Se analizará la microestructura del material correspondiente a la brida y la tubería para verificar si corresponden a los aceros utilizados en este tipo de servicio, además se identificarán las características micro estructurales como su tamaño de grano, homogeneidad y contenido de micro-constituyentes.

Para este ensayo, según la norma ASTM E3 - 11 (Guía estándar para la preparación de especímenes metalográficos) se procedió a preparar la muestra cortando las medidas de 15x15x10 mm para el caso de la brida y de 15x10x10 mm para la muestra de la tubería, seguido del montaje con resina, luego realizar un desbaste con lijas de distintos tamaños de granos (150, 220, 360, 400, 600, 1000) y finalmente un pulido fino con pasta alúmina y pasta de diamante. (ASTM, 2016)

Posteriormente para el ataque químico, de acuerdo con la característica de los aceros al carbono, se aplicó una solución de Nital (Alcohol + Ácido Nítrico) al 3% durante 15 segundos para rápidamente enjuagar con etanol (HNO₃),

esta solución permite un mayor contraste entre las redes de perlita y aclara las secciones de ferrita permitiendo diferenciar los bordes de grano. (ASM International, 2002). Luego la superficie preparada es observada en un microscopio óptico y se compara con un patrón metalográfico proporcionado por la norma ASM sobre algunos de los materiales que se utilizan en la fabricación de estos elementos tal como se muestra en la figura 2.9. Esto nos ayuda a describir de manera clara los patrones de cada muestra identificando las características micro estructurales más importantes.

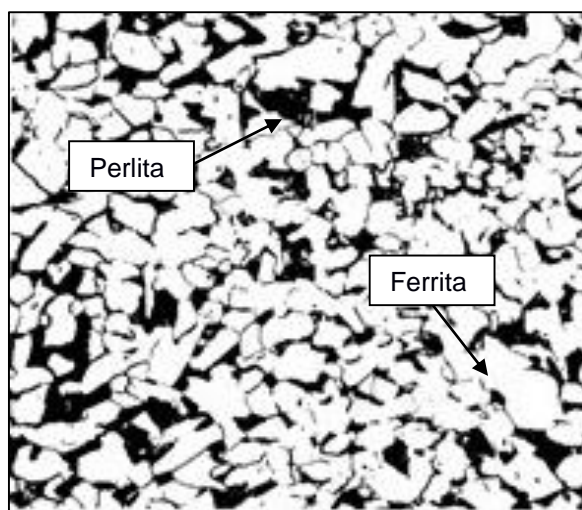


Figura 2.9 Metalografía de Acero ASTM A36, Nital – 250X

Fuente: (ASM International , 2002)

Para identificar la relación de porcentajes de las zonas grises oscuras (Perlita) y las zonas claras (Ferrita) en la imagen obtenida por el microscopio, se utilizará un programa de comparación de imágenes. Según el aumento del lente y la escala usada en el microscopio, se realizará la comparación de cada imagen con el patrón de tamaño de grano apropiado para luego encontrar el valor correspondiente a la medida del grano en mm según la tabla del tamaño de grano otorgada por la norma ASTM E112 (Métodos estándar para determinación de tamaño de grano). (Ver apéndice D)

Ensayo de Dureza

Este ensayo es útil para determinar la resistencia de un material a la deformación plástica localizada y se obtiene midiendo la profundidad de

penetración del penetrador. Se realizó un ensayo de dureza Rockwell B con un penetrador de bola de acero de 1/16 pulgadas en donde se aplica primero una carga menor de 10 Kgf, causando una penetración inicial, luego se aplica una carga mayor de 100 Kgf y se registra este valor de dureza.

Este proceso se realiza tres veces y se calcula el promedio de los valores de dureza obtenidos, según lo establecido en la norma ASTM A370 (Métodos de prueba estándar y definiciones para pruebas mecánicas de productos de acero). (ASTM, 2003)

2.7 Diseño del Sistema de Tubería

Selección de material y proceso de fabricación para la tubería

La óptima selección del material para el desarrollo de las tuberías es crítica para el servicio y distribución de agua potable, considerando factores de seguridad y rendimiento. Para lo cual el desarrollo de la tubería de distribución se basará de mi primera instancia bajo los lineamientos de la Norma AWWA C-200.

La producción de tuberías mediante junta soldada, conllevan un proceso tecnológico más simple con alta eficiencia, producción, bajo costo y rápido desarrollo.

La resistencia de la tubería soldada en espiral es generalmente más alta que la costura longitudinal y pueden adoptar un desarrollo de tuberías de mayor diámetro, por ende, sería el método apropiado para el conformado de las tuberías para el transporte de agua potable. Pero en comparación con la misma longitud de tubería de costura longitudinal, el cordón de soldadura aumenta de un 30% a 100% y la tecnología implementada genera un aumento de costos exhaustivo lo cual repercute directamente en el precio de adquisición de la materia prima. (Weifang East Steel Pipe Co.,Ltd, 2015)

Acorde a los lineamientos de la Norma AWWA C200, se tiene que para el desarrollo y/o fabricación de tuberías para la conducción de agua se puede usar una diversidad de aceros, como lo muestra la tabla 2.6 a continuación:

Tabla 2-6 Placa, lámina y bobina de acero para fabricación de tuberías

Specification	Grade	Minimum Yield Point	
		psi	(MPa)
Steel Sheet—Coil or Flat			
ASTM A570/A570M	30	30,000	(207)
	33	33,000	(228)
	36	36,000	(248)
	40	40,000	(276)
	45	45,000	(310)
	50	50,000	(345)
ASTM A607/A607M	45	45,000	(310)
	50	50,000	(345)
ASTM A907/A907M	30	30,000	(207)
	33	33,000	(228)
	36	36,000	(248)
	40	40,000	(276)
ASTM A935/A935M	45	45,000	(310)
	50	50,000	(345)
ASTM A936/936M	50	50,000	(345)
Steel Plate			
ASTM A36/A36M		36,000	(248)
ASTM A283/A283M	C	30,000	(207)
	D	33,000	(228)
ASTM A572/A572M	42	42,000	(290)
	50	50,000	(345)

Fuente: (AWWA, American Water Works Association, 1997)

La selección del material idóneo debe tener una correlación directa con la disponibilidad dentro del mercado nacional y los costos asociados, por lo que se tiene en consideración los siguientes aceros comerciales: ASTM A36 o ASTM A572 Gr 50. Estos materiales serán considerados en planchas a las medidas comerciales que se encuentra en el mercado, dependiendo de las características dimensionales del sistema.

Población

La determinación del número de habitantes para los cuales ha de diseñarse el acueducto es un parámetro básico en el cálculo del caudal de diseño para la comunidad, para esto se pueden emplear métodos estadísticos para ajustar los valores históricos a la ecuación de regresión para una curva lineal, exponencial, potencial o logarítmica (López, 1995)

En el diagrama de barras de la figura 2.10 se muestra el crecimiento poblacional de la provincia de Imbabura de los últimos 6 periodos de censo, y su tasa de crecimiento mediante la representación lineal.

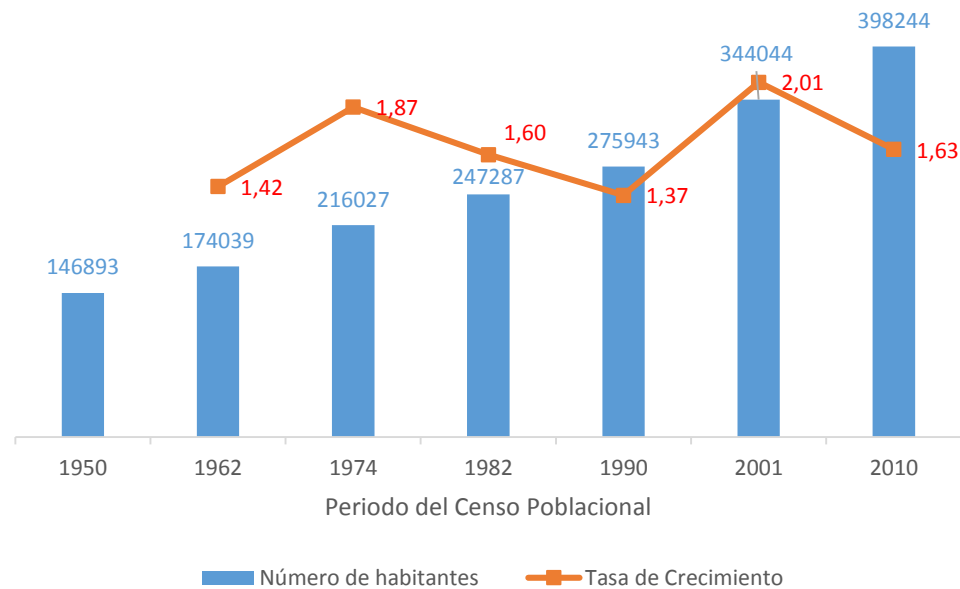


Figura 2.10 Censo Poblacional Imbabura

Fuente: (Instituto nacional de estadística y censos, 2010)

Caudal de Diseño y Operativo

Con el fin de diseñar la línea de conducción del sistema de agua potable, es necesario determinar el caudal de diseño $[Q_d]$ apropiado para el conjunto habitacional de la comuna de Pucahuaico-San Antonio de Ibarra, considerando la tasa de crecimiento poblacional inherente a la provincia que corresponde, para los años de vida proyectado de la tubería (20 años). Para el requerimiento actual de la comuna se define un caudal operativo $[Q_{op}]$ el cual será representativo para la demanda poblacional actual de 3000 habitantes, con un consumo promedio de agua potable de 270 Lt/día.

Caudal máximo Diario: Es la demanda máxima que se presenta en un día del año, siendo este el día de mayor consumo en el cual está acompañado por un coeficiente de variación $[K_1]$ que es inversamente proporcional al número de habitantes; siendo de 1,3 para poblaciones menores de 12,500 habitantes (López, 1995).

$$Q_{\text{Dia}} = K_1 * Q_{\text{prom}} \quad \text{ecu. 1}$$

Donde:

Q_{prom} = Caudal promedio de consumo [270 Lt/día]

K_1 = Coeficiente de variación poblacional [1,3]

Caudal máximo horario: Corresponde a la demanda máxima que se presenta en una hora durante un año completo, debido a los factores de mayorización [K_2], adquiriendo un valor de 1,8 para poblaciones menores a 5000 habitantes (IEOS, 1992):

$$Q_{\text{Hor}} = K_1 * K_2 * Q_{\text{prom}} \quad \text{ecu. 2}$$

Donde:

K_2 = Factor de mayorización para poblaciones menores a 5000 habitantes

Presión de Diseño

Las tuberías se construyen en diferentes materiales, para elegir la más adecuada se debe tener en consideración factores tales como la capacidad de carga, características hidráulicas como la presión a la que se someterá la tubería y la rugosidad relativa. La presión de diseño se la considera como 1,3 veces la presión máxima estática, es decir (López, 1995):

$$P = 1,3 * P_{\text{est}} \quad \text{ecu. 3}$$

$$P_{\text{est}} = \rho * g * \Delta h \quad \text{ecu. 4}$$

Donde:

P = Presión de diseño [Pa]

P_{est} = Presión estática [Pa]

ρ = Densidad del fluido a 20°C [Agua = 998 kg/m³]

Δh = Cabezal estático [214 m]

Velocidad del fluido y diámetro de tubería

El régimen de flujo en tuberías puede ser laminar o turbulento, los cuales dependen del diámetro de la tubería, de la densidad y viscosidad del fluido y de la velocidad del flujo (Ver figura 2.11). El valor numérico de una

combinación adimensional de estas cuatro variables, conocido como el número de Reynolds, puede considerarse como la relación de las fuerzas dinámicas de la masa del fluido respecto a los esfuerzos de deformación ocasionados por la viscosidad y se determina mediante la siguiente expresión:

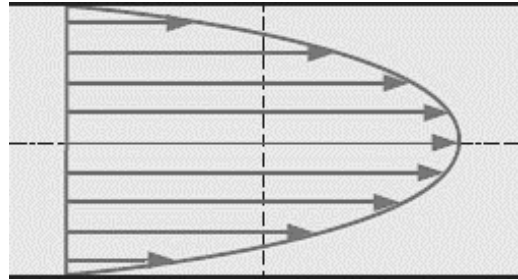


Figura 2.11 Perfil de velocidad del fluido

Fuente: Elaboración Propia

$$Re = \frac{v \cdot d}{\gamma} \quad \text{ecu. 5}$$

Donde:

d = Diámetro interno de la tubería [m].

v = Velocidad del fluido [m/seg].

γ = Viscosidad cinemática del fluido [Agua = $1,01 \times 10^{-6}$ m²/seg]

Para el caudal interno de un fluido incompresible, el teorema de conservación de masa representado por la ecuación 6, establece una relación de flujo volumétrico dependiente de la velocidad del producto transportado y el área circular interna de la tubería.

$$Q_{op} = v \cdot A_t \quad \text{ecu. 6}$$

Donde:

A_t = Área circular interna de tubería formada por el diámetro interno.

Espesor de pared de la tubería

Para el diseño del espesor mínimo requerido de una tubería de transmisión de agua se da uso a la norma AWWA M11, la cual operando bajo parámetros de presión interna está sometido a fuerzas de tensión en sus secciones

longitudinales y transversales y las paredes han de resistir estas fuerzas para evitar que fallen (Singer & Pytel, 1994). Considerando la presión de diseño de 2723 KPa y el esfuerzo de diseño igual al 50% del límite mínimo de elasticidad del Acero ASTM A36 (ver figura 2.10), se tiene la siguiente expresión determinada por la Norma AWWA M11 para calcular el espesor mínimo de la tubería para las condiciones de servicio:

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S} \quad \text{ecu. 7}$$

Donde:

P = Presión de diseño

D = Diametro exterior de la tubería

S = Esfuerzo de Diseño (50% S_y)

Al realizar un proceso iterativo tomando en cuenta, las velocidades permisibles para conducción dentro de una tubería, caudal de diseño para la determinación del diámetro efectivo de la tubería, caudal operativo acorde a la demanda actual del conjunto habitacional, presión de diseño, valores estándar de espesor de tubería acorde al diámetro nominal y disponibilidad de materia prima dentro del mercado local, se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la tabla 2.7:

Tabla 2-7 Resultados de variables operativas y de diseño

Q_D	0,0597 [m ³ /s]
Q_{Op}	21,93 [lt/s]
P	2723 [KPa]
Re	3,02x10 ⁵
D	12 [pulg]
v	1 [m/s]
t	3/8 [pulg]

Fuente: Elaboración Propia

Tipo de Junta

Los sistemas de ingeniería en tubería de acero pueden ser conectados mediante una amplia variedad en diferentes tipos de juntas, las juntas de tubería de sistema para el agua dependerán de los requisitos de desempeño

de las mismas, estas pueden ser mediante empaques, soldadas, acoples y bridas de sujeción acorde a la funcionalidad y parámetros de operación. Las juntas con brida se usan comúnmente en las conexiones a válvulas u otras áreas donde el desmontaje de la junta puede ser necesario para el servicio o el acceso, estas se fabrican en placas de acero y son convenientes para la mayoría de las aplicaciones de transmisión de agua. (Ver figura 2.12)



Figura 2.12 Brida de Cara Plana para Soldadura

Fuente: (BSI British Standards, 2007)

Para el proceso de selección se usarán las normas involucradas respectivas acorde como lo son la AWWA C207, DN 1092-1, ASME B16.5 y ASME Sección VIII.

Perdidas por longitud de tubería

El flujo de los fluidos en tuberías está siempre acompañado de rozamiento de las partículas del fluido entre sí y, consecuentemente, por la pérdida de energía disponible; en otras palabras, tiene que existir una pérdida de presión en el sentido del flujo; la ecuación general de la pérdida de presión para flujo turbulento conocida como la fórmula de “Darcy”, se expresa a continuación (CRANE, 2008):

$$h_f = \frac{f \cdot L \cdot v^2}{d \cdot 2 \cdot g} \quad \text{ecu. 8}$$

Donde:

h_f = Cabezal de pérdidas de la tubería [m]

f = Factor de fricción de tubería

L = Longitud del sistema de tubería [14500 m]

Mediante la ecuación de Haaland (ecuación 9) se puede determinar el factor de fricción de la tubería, y de esta manera se podrán calcular las pérdidas de

cabezal mediante la ecuación 8; en donde el valor de rugosidad [ϵ] respectivo para planchas metálicas nuevas de acero es de 0,05 mm (White, 2011)

$$\frac{1}{f^2} = -1,8 * \log \left[\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{\epsilon/d}{3,7} \right)^{1,11} \right] \quad \text{ecu. 9}$$

Perdidas secundarias

Los accesorios en un sistema de tuberías deben cumplir con lo establecido en la norma para tuberías y accesorios (ASME B16), en la cual se consideran los aspectos de resistencia de accesorios bajo efectos de presión interna y diámetro nominal de la tubería a las cuales se encontrarán en servicio.

Cuando el fluido se desplaza uniformemente por una tubería recta, larga y de diámetro constante, la configuración del flujo indicada por la distribución de la velocidad sobre el diámetro de la tubería adopta un perfil parabólico (ver figura 2.12). Cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial, altera la configuración característica del fluido y ocasiona turbulencia, causando una pérdida de energía mayor de la que normalmente se produce en un flujo de tubería recta.

Ya que los cambios de dirección, válvulas y accesorios alteran la configuración del flujo, producen una pérdida de presión adicional llamada pérdida secundaria. (CRANE, 2008)

El flujo por una válvula o accesorio en una línea de tubería causa también una reducción de la altura estática que puede interpretarse por la siguiente expresión:

$$h_m = \frac{v^2}{2 * g} * (\sum k_{\text{accesorios}}) \quad \text{ecu. 10}$$

Donde:

h_m = Cabezal de perdido por accesorios [m]

$\sum k_{\text{accesorios}}$ = Factor de fricción por accesorios.

El coeficiente de resistencia K, en teoría es una constante para todas las medidas de un cierto diseño o línea de válvulas y accesorios.

Selección de Bomba y Punto de Operación

Para determinar el punto operativo de la bomba para desplazar el caudal operativo del sistema de 21,93 Lt/seg , se aplicará la ley de la energía entre los puntos de succión y descarga, como se muestra a continuación:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + H_p = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + H_m + H_f \quad \text{ecu. 11}$$

Donde: H_p = Cabezal requerido de bomba [m]

Z_1 = Altura de succión de fluido [0 m]

P_1 = Presión de succión del fluido [KPa]

P_2 = Presión de descarga del fluido [KPa]

Z_2 = Altura de descarga de fluido [214 m]

h_m = Cabezal de pérdidas en accesorios [m]

h_f = Cabezal de pérdidas de la tubería [m]

ρ = Densidad del fluido [998 kg/m³]

Reemplazando los valores de las variables en la ecuación 11 y teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: la velocidad de succión [v_1] es cero debido a que la succión se realiza desde una planta de tratamiento de agua, la velocidad de descarga [v_2] se la considera como la velocidad del fluido dentro de la tubería [1 m/s], la presión en succión y descarga son realizadas al entorno (presión atmosférica); se obtuvo un valor de cabezal del sistema requerido de 288,7 metros.

Dentro de los sistemas que incluyen la instalación de bombeo, se debe tener precaución con el fenómeno de la cavitación; para esto se define una variable descrita como $NPSH_{disp}$ la cual es la “Altura neta positiva de succión” que resume todas las características físicas de la instalación y se determina mediante la siguiente expresión:

$$\text{NPSH}_{\text{disp}} = \frac{P_{\text{abs}} - P_{\text{vapor}}}{\rho * g} + Z_s - h_{T_s} \quad \text{ecu. 12}$$

Donde:

$\text{NPSH}_{\text{disp}}$ = Cabezal neto disponible del sistema [m]

Z_s = Altura de aspiración [m]

h_{T_s} = Carga de succión [m]

P_{abs} = Presión absoluta atmosférica a 2285 metros sobre el nivel del mar [76755 Pa]

P_{vapor} = Presión de vapor de fluido a temperatura (20°C) de bombeo [2340 Pa]

Cuando se bombean fluidos, nunca se debe permitir que la presión en cualquier punto dentro de la bomba caiga a menos de la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo. Siempre se debe tener suficiente energía disponible en la succión de la bomba para hacer que el líquido llegue al impulsor y contrarreste las pérdidas entre la boquilla de succión y la entrada al impulsor de la bomba. Una característica de la bomba es el NPSH_{req} la cual es la energía, en unidades de longitud de carga de líquido que se necesita en la succión de la bomba por arriba de la presión del vapor del líquido (Kenneth, 1990). Para evitar el riesgo de la cavitación de la presión de succión, se debe cumplir que:

$$\text{NPSH}_{\text{disp}} > \text{NPSH}_{\text{req}}$$

Teniendo en consideración la selección del sistema de bombeo para la línea de succión y descarga, a través de la ficha técnica se tiene que el NPSH_{req} de la bomba en los parámetros de operación tiene un valor de 2 metros (ver apéndice G).

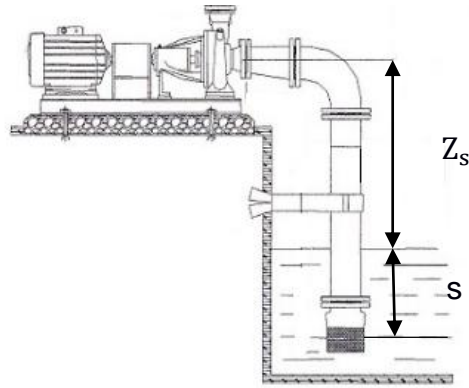


Figura 2.13 Diagrama de Tubería de Succión

Fuente: Elaboración Propia

Para cumplir los requerimientos hidráulicos e impedir el ingreso de aire en la tubería de succión, se determinó la altura mínima de la tubería con respecto a la línea de centro de la bomba [Z_s] aplicando la ecuación 12 el criterio de aceptación para la cavitación, el $NPSH_{req}$ de la bomba seleccionada y las pérdidas generadas en la tubería de succión y sus accesorios [h_{Ts}]. Además, se considera el criterio de sumergencia mínima [S], que se define como la altura del agua entre el nivel mínimo y la unión de la rejilla, o la boca de entrada a la tubería (ver figura 2.13) que debe ser igual o superior al mayor valor de los límites siguientes:

$$S > \frac{v^2}{2 \cdot g} + 0,20 \quad \text{ó} \quad S > 2,5d + 0,10$$

Potencia eléctrica del motor

El cálculo de la potencia del motor debe realizarse con la siguiente ecuación:

$$P_e = \frac{Q_{Op} \cdot h_p}{75 \cdot \eta} \quad \text{ecu. 13}$$

Donde: P_e = Potencia eléctrica del motor [HP]

Q_{Op} = Caudal de operación [Lt/s]

h_p = Cabezal del sistema [m]

η = Eficiencia del sistema de bombeo [$\eta = \eta_{motor} * \eta_{pump}$]

La bomba seleccionada debe impulsar el volumen de agua para la altura dinámica deseada con una eficiencia mayor o igual al 65% y con una eficiencia de servicio de motor eléctrico de 70%.

2.8 Modelado y Simulación

2.8.1 Fluido

La simulación se realizará para el diámetro de tubería de diseño en el programa *ANSYS Fluent*, tendrá como objetivo verificar el comportamiento del fluido dentro de la tubería y confirmar los resultados teóricos obtenidos. La importancia de la simulación es conocer en que distancia aproximada el fluido muestra un ordenamiento de modo que no se generen grandes pérdidas a lo largo de la tubería.

Planteamiento

Se realizará en un tramo de tubería ASTM A36 donde el diámetro interno es de 12 pulgadas (304,8 mm) tal como se muestra en la figura 2.14. El agua es un fluido incompresible y presenta las siguientes características intrínsecas a una temperatura de operación de 20°C: viscosidad dinámica 0,001003 kg/m * s y densidad de 998 kg/m³.

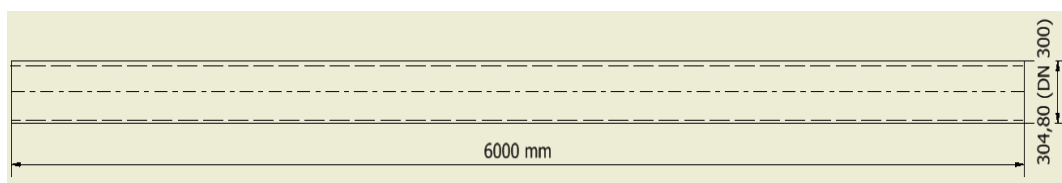


Figura 2.14 Esquema tubería DN 300

Fuente: Elaboración Propia

Pre-procesamiento

Para el mallado respectivo se utilizó un modelo adaptativo 2D en donde se modificó la distribución del mallado aplicando 100 divisiones en la dirección axial y 30 divisiones en la dirección radial, incrementando la calidad del mallado mediante una relevancia del 50%, con esto se obtuvo una calidad igual a 0,80. Finalizando con la caracterización de las condiciones de

frontera como la entrada, salida y paredes de la tubería. El mallado se muestra en la figura 2.15.

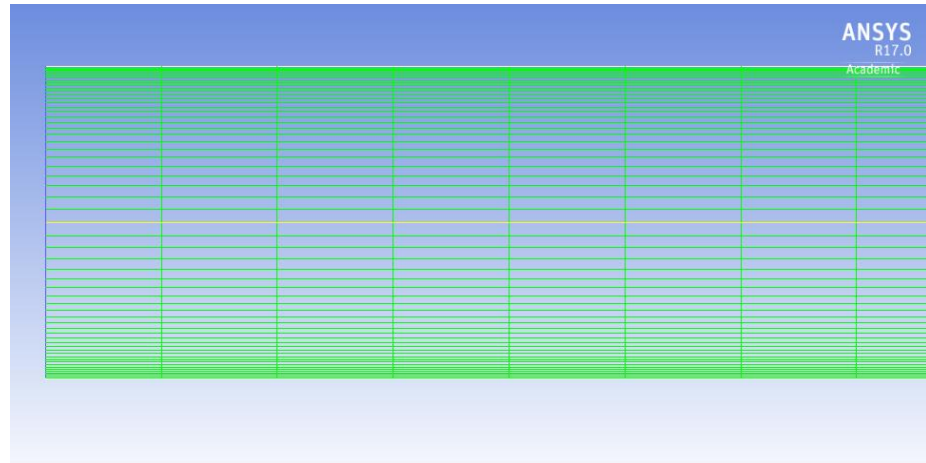


Figura 2.15 Diagrama del mallado de Tubería de Succión

Fuente: ANSYS Fluent

Posteriormente se estableció la velocidad de 1 m/s para el recorrido del fluido dentro de la tubería y con presiones de entrada y salida de 2723 KPa y 74684 Pa respectivamente.

2.8.1 Soldadura Brida-Tubería

En esta parte se utilizará *ANSYS Structural*, estará enfocada en el adecuado dimensionamiento de la tubería y se verificará si los máximos esfuerzos se producen en el cordón de soldadura para corroborar las causas de la falla. Además, se comprobará si la deformación total generada por la fuerza de presión en la superficie se encuentra acorde con los resultados obtenidos.

Planteamiento

El sistema en estudio está compuesto por la brida de Acero AISI 1018 y la tubería de conducción ASTM A-36 de 24 pulgadas (609,6 mm) de diámetro, los cuales son de interés de estudio porque en esta junta subsistió la falla, para lo cual se requiere observar los esfuerzos máximos generados por la presión del fluido en condiciones de operación.

Pre-procesamiento

El mallado se realizó con elementos hexaédricos (ver Figura 2.16) aplicando un modelo de proximidad y curvatura que genera un mallado fino en las regiones con cambios de sección, obteniendo una calidad del mallado de 0,87, aceptable para el análisis propuesto.

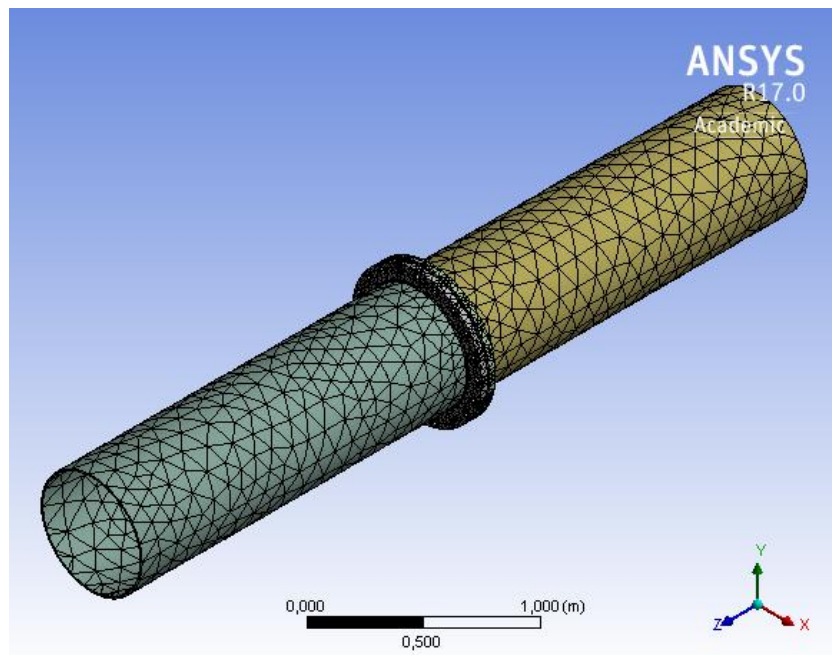


Figura 2.16 Mallado del sistema Tubería - Brida

Fuente: ANSYS Structural

Después se establecieron las condiciones de frontera, como lo son la entrada de la tubería que se encuentra fija, las caras de la unión entre bridas que son conexiones con fricción sin desplazamiento en el eje Z y los agujeros fijos de los pernos de unión entre bridas. La carga a la que se somete la tubería es la presión debido al fluido importada desde el *Fluent*, luego de realizar la misma simulación para un sistema en 3D. Estas restricciones se muestran en la figura 2.17.

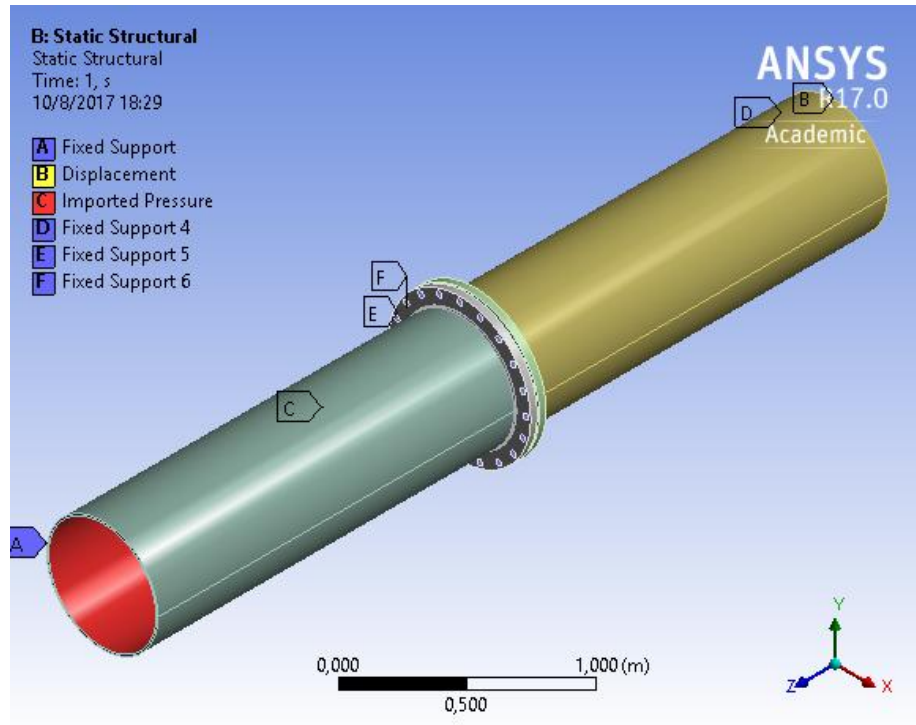


Figura 2.17 Cargas y restricciones aplicadas al sistema

Fuente: ANSYS Structural

CAPÍTULO 3

3. RESULTADO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Análisis de Falla de Brida

El análisis de fallas resulta favorable para la disminución de los costos asociados de materia prima, fabricación y mano de obra, además reduce el tiempo de implementación y prolonga la vida útil del material debido a que se identifica la causa de la falla y los efectos adversos a corto y largo plazo.

3.1.1 Ensayos No Destructivos

Inspección visual

Se tiene en consideración que la junta correspondiente de la tubería con la brida cumple con los requisitos de ser una junta de traslape usando soldadura de filete interno y externo según lo indica el código ASME Sección VIII – División 1. Los cordones de soldadura presentaron pocas irregularidades de las cuales ninguna correspondía a grietas, socavados, inclusiones de escoria, concavidades, porosidades, que pudieran ser causa principal de la falla radial de la brida. Se logró visualizar que la periferia de la brida contaba con desiguales tonalidades de quemaduras que se podrían atribuir a un proceso de precalentamiento no homogéneo del material, para el posterior proceso de soldadura.

Dentro de las características dimensionales de los cordones se verificó que la soldadura tipo filete fue de 7 milímetros, el cual se encuentran en el rango establecido según lo determina el criterio de aceptación de inspección de soldadura estipulado en la Norma AWS D1.1 (ver apéndice A). Además, la mínima dimensión del pie respecto a la soldadura de filete para bridas tipo *slip-on* podría ser 7/10 del espesor de la pared de la tubería (3/8 pulgadas), acorde al código ASME Sección VIII – División 1, que se puede apreciar en la figura 3.1.

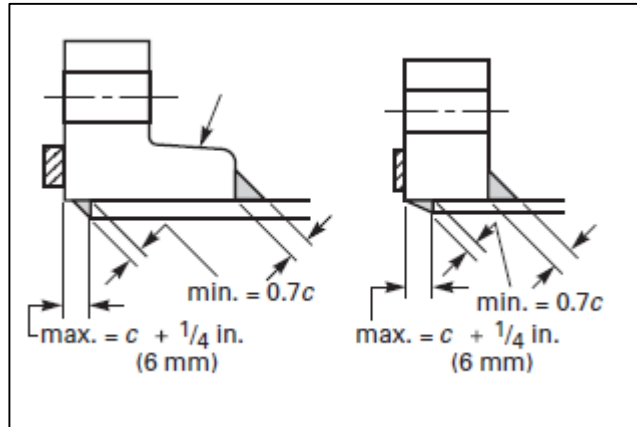


Figura 3.1 Dimensiones requeridas de soldadura en junta

Fuente: (ASME, 2015)

La figura 3.2 muestra la sección transversal de la junta tubería-brida, en la cual se puede visualizar un intersticio entre el material de la brida y la tubería, este efecto se lo denota como falta de penetración. Se tiene presente que los excesos de soldadura son no deseables debido a que los bordes de metal de aportación, una vez solidificado, actúan como concentradores de tensiones o caso contrario, una falta de material de aporte que ocasiona una disminución de la resistencia de la unión.



Figura 3.2 Sección transversal de junta tubería – brida

Fuente: Elaboración Propia

Partículas magnéticas

En el ensayo de partículas magnéticas, se logró corroborar que el cordón de soldadura interior y exterior no contaba con irregularidades relevantes. Sin embargo, en la sección transversal de la junta (ver figura 3.3) donde se produjo la falla, se detectó una grieta en el interior del material base, que fue observada ante la exposición de la lámpara ultravioleta cerca de la zona soldada. Este tipo de defecto puede ocurrir de manera regular en soldadura de filete debido a las tensiones de contracción térmica inducidas que resultan del proceso de soldadura.

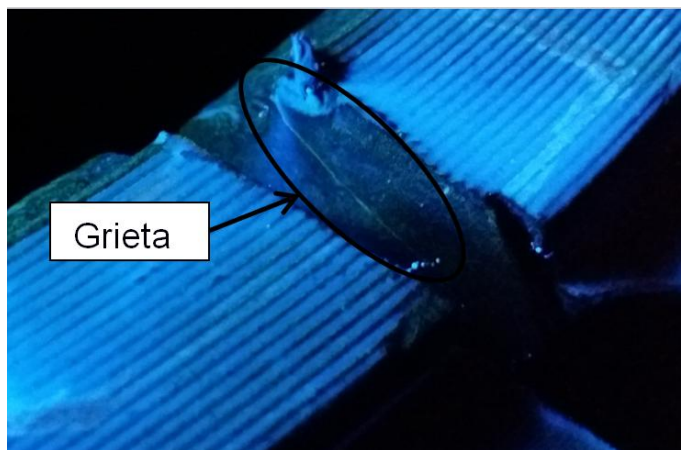


Figura 3.3 Visualización de grieta longitudinal

Fuente: Elaboración Propia

En base al resultado previo se tiene que la junta debió de cumplir con las temperaturas mínimas de precalentamiento para el proceso de soldadura, la cual se encuentra aproximadamente en 65 °C para los aceros ASTM A36 y ASTM A1018, respectivamente (ver apéndice E), como lo indica el código AWS D1.1: *“La temperatura mínima de precalentamiento aplicado a una junta compuesta de metales base con diferentes temperaturas de precalentamientos mínimos, se selecciona el más alto de estos precalentamientos mínimos. Este precalentamiento y todas las subsecuentes temperaturas mínimas de interface deben mantenerse durante la operación de soldadura para una soldadura por lo menos igual al espesor de la parte soldada más gruesa”*

3.1.2 Ensayos Destructivos

Análisis Químico

En este ensayo se obtuvo la composición química del material de la brida. Por lo general en este tipo de trabajo se utilizan aceros de bajo contenido de carbono según lo recomendado por la norma, lo cual se muestra en los resultados descritos en la tabla 3.1. La comparación realizada con la composición química de los materiales descritos en la Tabla 2-5 muestra que el material de la brida y de la tubería están dentro del rango entre 0.15 – 0.23 %C establecido por la norma alemana **DN 1092-1**. El resultado indica que el material pertenece a un acero DN 17100 St 37-2, por lo tanto los materiales utilizados son los apropiados.

Tabla 3-1 Resultados de la composición química del material de la brida

Elemento	Valor promedio (%)	Valor máximo (%)	Incertidumbre (±)	DN 17100 St 37-2
C	0,177	0,192	0,015	0,170
Mn	0,452	0,534	0,082	1,40
Si	0,015	0,062	0,047	-
P	0,015	0,023	0,008	0,045
S	0,006	0,012	0,006	0,045
Mo	0,025	0,071	0,046	-
Cr	0,051	0,083	0,032	-
Ní	0,022	0,104	0,082	-

Fuente: Elaboración Propia

Las propiedades que describen a los aceros vienen determinadas por la cantidad de elementos aleantes en su composición, los que influyen en sus propiedades mecánicas. Uno de ellos es el carbono, ya que, con un bajo porcentaje, presenta alta ductilidad, tenacidad y buena soldabilidad.

Para la fabricación de tuberías se utilizan aceros en donde el manganeso se encuentra entre un 0,5 a 1,7%. El aumento en la composición de este elemento reduce la ductilidad y la soldabilidad, pero en menor grado que el carbono. El silicio se encuentra en menor porcentaje por lo general en este tipo de aceros en debido a sus minerales de fabricación.

Para aceros de bajo carbono se requiere que el contenido de fósforo sea menor que 0,04% ya que su efecto es perjudicial en la soldabilidad y ductilidad. Estos elementos son capaces de influir en las propiedades mecánicas como lo hace el cromo al aumentar la templabilidad, el níquel al endurecer el material reforzando la ferrita de su microestructura, o promover la segregación interna en la matriz de acero como lo hace el azufre. Debido a que ninguno de estos elementos se muestra significativo en el análisis de los porcentajes se puede decir que no afectan en las propiedades de este acero.

Metalografía

En la figura 3.4 se observa una microestructura representativa de la brida constituida por ferrita – perlita; la ferrita aparece clara y los límites de grano se resaltan como líneas oscuras. La perlita se muestra casi uniforme de color gris oscuro debido a su separación interlaminar muy fina.



Figura 3.4 Microestructura del material de la brida, Nital 100X

Fuente: Elaboración Propia

La cantidad de ferrita formada en el acero es inversamente proporcional a la cantidad de carbono en el material, en concordancia al análisis de la composición química, este material presentó un porcentaje de carbono de 0,177 %, lo que le da una buena ductilidad debido a su matriz ferrítica.

Mediante el programa de identificación de imágenes, se analizó que el porcentaje de ferrita (zonas claras) encontrado en la estructura de la brida fue de 73.35% y el de perlita (zonas oscuras) de 26.65 % esto afirma que la brida está constituida principalmente por ferrita. Según el método de comparación del tamaño de grano, éste se encuentra en el patrón #6 con un aumento de 100x, por lo tanto, se obtiene que el valor de G es igual a 6, lo que conlleva a un tamaño de grano con diámetro igual $44.9 \mu\text{m}$ según la norma ASTM E112. (Ver apéndice D)

En la figura 3.5 que corresponde a la muestra de la tubería, se observan varias zonas en donde la ferrita es dominante, ya que se encuentran pocas zonas perlíticas siendo la estructura de tipo ferrítico – perlítica al igual que la de la brida, solo que con un tamaño de grano más fino. Los granos se presentan más alargados, menos equiaxiales y no tan uniformes debido a que proviene de un proceso de laminación en caliente.

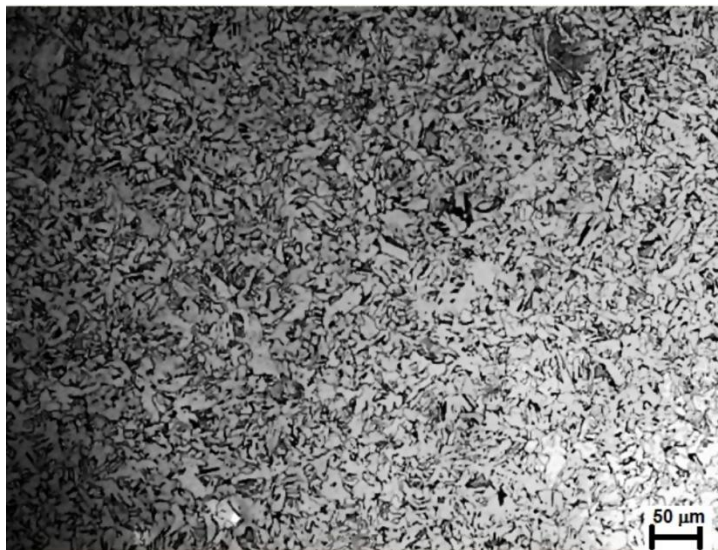


Figura 3.5 Microestructura del material de la tubería, Nital 200X

Fuente: Elaboración Propia

Al tener un tamaño de grano ferrítico más fino se obtiene una mayor dureza, menos ductilidad debido a que sufre un endurecimiento por refinamiento de grano. El porcentaje de ferrita según el procesamiento de la imagen para esta muestra fue de 79.85% y la perlita de 20.15%; con relación a la brida

es ligeramente bajo debido a que este posee mayor dureza. De acuerdo con el método de comparación aplicado, podemos observar una aproximación del tamaño de grano con el patrón #8, ya que se encuentra con un aumento de 200X se debe aplicar un factor de corrección de 2, por lo tanto:

$$G = 8 + 2 = 10$$

Esto corresponde a un tamaño de grano de diámetro igual a 11,2 μm según la norma ASTM E112 (Ver apéndice D). Este resultado corrobora el refinamiento de grano del material de la tubería en comparación con el de la brida, originado por las diferencias en el procesamiento de ambos materiales.

El historial térmico de este tipo de materiales puede dar lugar a diferentes cambios en su microestructura y tamaño de grano, al enfriarse la austenita se transforma en ferrita y dependiendo del tamaño de grano de la austenita y la velocidad de enfriamiento puede variar el tamaño de grano de ferrita y la separación entre láminas de ferrita y cementita en la perlita.

Desde el punto de vista estructural, ambos materiales pueden ser soldados debido a sus bajas propiedades mecánicas y porque pertenecen a la misma familia de aceros al carbono con bajo porcentaje, prácticamente poseen una estructura similar, a diferencia de su proceso de fabricación. La brida posee una mayor área transversal que la tubería, lo que infiere al momento de unir los materiales, para esto se ejecuta el proceso de soldadura más adecuado con tal de que no conduzca a fallas por efectos del proceso.

Una de las causas de la falla es el precalentamiento inadecuado de ambos materiales, debido a que el material de aporte de la soldadura llega al punto de fusión y estos materiales no se encuentran en la temperatura idónea, al enfriarse el material se contrae rápidamente, esto provoca altas tensiones térmicas que pueden dar origen a la fractura del material.

Dureza

Lo resultados de dureza obtenidos que se muestran en la tabla 3.2 corresponden a los materiales de la brida y de la tubería en donde se puede diferenciar una mayor dureza de la tubería. Estos valores se compararon con una serie de materiales que son utilizados en la industria para la fabricación de tuberías y bridas, se observó que poseen una concordancia y se encuentran en el rango de dureza establecido.

Tabla 3-2 Valores de dureza en los elementos

Elemento	HRB
Brida	71
Tubería	77

Fuente: Elaboración Propia

La dureza de la brida y de la tubería suele estar en un rango de 70 – 80 HRB (ASM Intenational, 2002)

Microscopia electrónica de barrido

Para detectar algunos factores relevantes de la falla, se realizó un análisis por microscopia electrónica de barrido, el cual es una técnica que consiste en enfocar sobre una muestra electro-densa un haz de electrones acelerado con energías de excitación desde 0.1kV hasta 30kV, con esto se obtiene información morfológica, topográfica y composicional de las muestras produciendo imágenes de resolución media.

El resultado del análisis se muestra en la figura 3.6 en donde se magnifica la grieta a una escala de 500X, con una energía de excitación de 15 kV.

Se puede recalcar que la falla inicia con una fisura leve en una de las esquinas, esto genera una concentración de esfuerzos que mediante el paso del tiempo se propaga con ausencia de deformación plástica.

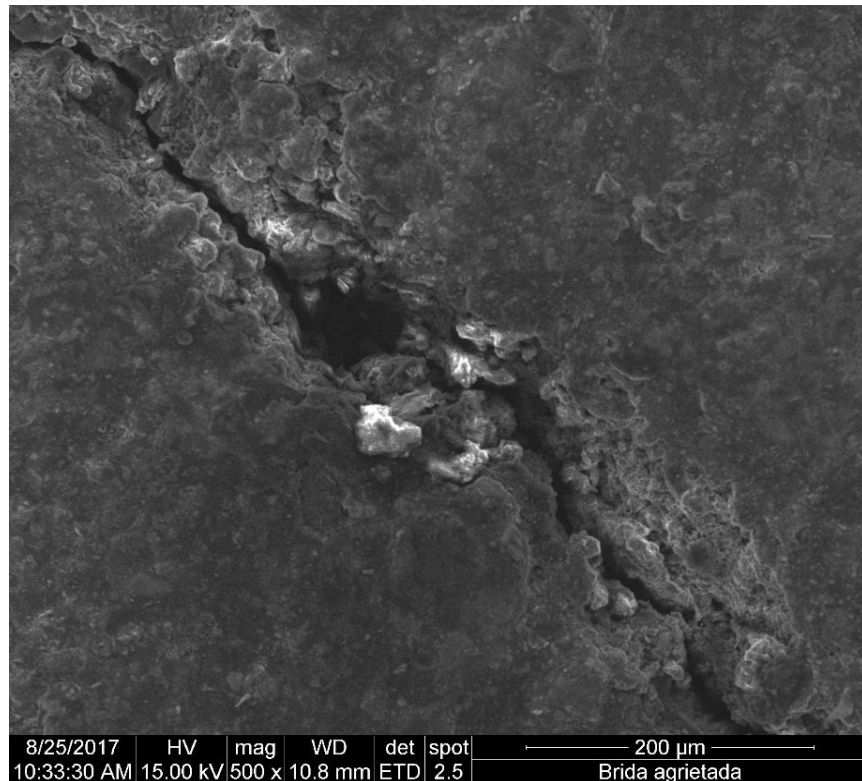


Figura 3.6 Microscopia electrónica de barrido para la zona de la falla, 500X

Fuente: Elaboración Propia

La figura 3.7 presenta una imagen ampliada de la figura 3.6, donde se aprecia un detalle de la zona agrietada. Esta imagen revela una propagación de la grieta a lo largo de los bordes de grano, delineada por la decohesión entre bordes de granos adyacentes, que separan granos pequeños, revelando una fractura tipo intergranular. Las fracturas intergranulares pueden originarse por la presencia de impurezas en los bordes de grano, hidrógeno y fusión incipiente. Estos efectos se magnifican por la presencia de tensiones residuales de tipo tensil en las adyacencias del cordón de soldadura por precalentamientos inapropiados.

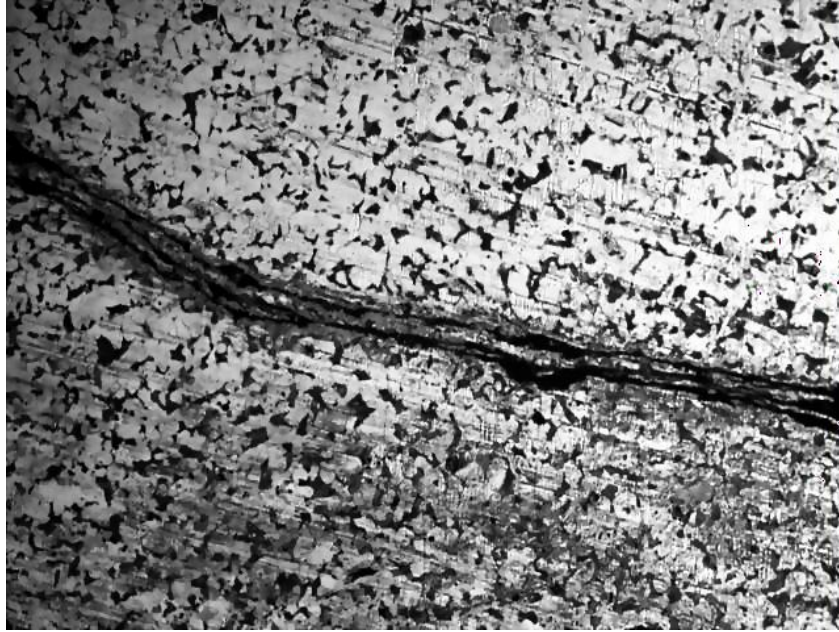


Figura 3.7 Microestructura de la sección de la falla, Nital 100X

Fuente: Elaboración Propia

El agrietamiento suele producirse debido al calentamiento durante la soldadura, donde ocurren complejos esfuerzos térmicos, obteniéndose después esfuerzos residuales y de distorsión. Estos esfuerzos reducen la resistencia de los miembros estructurales. Con un precalentamiento adecuado antes de iniciar el proceso de soldadura se pretende alcanzar lo siguiente:

- Evitar un enfriamiento rápido para prevenir un endurecimiento, martensita frágil y un agrietamiento repentino.
- Prevenir la pérdida de ductilidad en la zona afectada por el calor (ZAC) evitando una baja velocidad de enfriamiento.

3.2 Análisis de Diseño del Sistema de Tuberías

3.2.1 Población y caudal de diseño

Con base en los datos del censo poblacional de la provincia de Imbabura (ver figura 2.10), se determinó mediante una proyección de la tasa de crecimiento local en un periodo de 20 años (2015 - 2035) un valor de 1.65 según se muestra la tabla 3.3. La cual fue considerada usando métodos

estadísticos para ajustar los valores históricos de la provincia a la comuna de Pucahuaico, en la parroquia de San Antonio, con un total de 3000 habitantes hasta la actualidad.

Tabla 3-3 Tasa de crecimiento poblacional proyectada

Periodo	Tasa
1950 – 1962	1,42
1962 – 1974	1,87
1974 – 1982	1,60
1982 – 1990	1,37
1999 – 2001	2,01
2001 – 2010	1,63
Periodo de Diseño	1,65

Elaboración: Propia

Para el fin del periodo de diseño del acueducto (2035), se tiene en consideración que la comuna contará con 8168 habitantes y que la demanda promedio actual de agua potable es de 270 lt/día; para el cual se estableció y calculó el caudal de diseño máximo horario mediante la ecuación 2 en donde se obtuvo un valor de $0,05973 \text{ m}^3/\text{seg}$.

3.2.2 Velocidad de fluido

Teniendo en cuenta la posibilidad de transportar sólidos suspendidos en una conducción a presión, se recomienda una velocidad mínima de 0,6 m/seg. La velocidad máxima depende del tipo de material de la tubería; como criterio general se recomienda una velocidad máxima de 6 m/seg. La tabla 3.4 muestra las velocidades nominales que se manejan en las diferentes líneas de un sistema de acueducto, lo que para cuestiones del diseño de la tubería principal se seleccionó una velocidad de 1 m/seg, otorgándole al fluido un flujo turbulento con perfil de velocidad parabólico.

Tabla 3-4 Velocidad estándar en tuberías de acueductos

Tipo de Tubería	Velocidad Mínima [m/seg]	Velocidad Máxima [m/seg]
Tubería Succión	0,5	1,0
Tubería principal	1,0	2,0
Tubería lateral	0,5	0,7
Tuberías muy largas	1,5	3,0

Fuente: (Sotelo Avila, 1997)

3.2.3 Dimensiones de tubería

Las dimensiones de la tubería se obtuvieron mediante un proceso iterativo en conjunto con las variables: caudal de diseño, presión de diseño y medidas estándar disponibles en el mercado para la manufactura de tubería con plancha estructural ASTM A36.

El valor del diámetro interior se calcula de la relación de flujo volumétrico (ver ecuación 6), teniendo en consideración el caudal de diseño de 0,05973 m³/seg y una velocidad dentro de la línea de conducción de 1 m/seg. Con estos valores se obtuvo un diámetro interior de 275,7 mm, la cual se ajusta a medidas estándar correspondiente a una tubería tipo 300 Diámetro Nominal. Posteriormente el valor del espesor de la tubería se encontró mediante la ecuación 7 citada por la Normativa AWWA M11, con referencia a la Norma ASME B31.1; considerando la presión de diseño, como 1,3 veces la presión máxima estática que la tubería soportaría (2723 KPa). Para esto se obtuvo como resultado inicial un espesor de 3,55 milímetros. Considerando valores estándar para manufactura de tuberías de gran diámetro, se muestra a continuación la tabla 3.5 la cual presenta los espesores nominales de pared para la manufactura de tuberías tipo 300 DN ensayadas a diferentes rangos de presión estipulado en la norma ASTM-A53. En base a lo previsto se selecciona el espesor nominal para esta tubería la cual corresponde a 9,52 milímetros (3/8 pulgada).

Tabla 3-5 Parámetros Nominales para Tubería 300 DN

Designación NPS	Designación DN	Diámetro Exterior		Espesor Pared	
		pulg.	mm	pulg.	mm
12	300	12,750	322,8	0,203	5,16
				0,219	5,56
				0,250	6,35
				0,281	7,14
				0,312	7,92
				0,330	8,38
				0,344	8,74
				0,375	9,52
				0,406	10,31
				0,438	11,13
				0,500	12,70
				0,562	14,27
				0,688	17,48
				0,844	21,44
1,000	25,40				
1,125	28,57				

Fuente: (ASTM, 2012)

Finalmente, los valores seleccionados dentro del proceso de dimensionamiento de tubería se presentan en la tabla 3.6.

Tabla 3-6 Dimensiones seleccionadas para Tubería de Diseño

DN	300
D	323,8 [mm]
d	304,76 [mm]
t	9,52 [mm]

Fuente: Elaboración Propia

3.2.4 Pérdidas del Sistema

La pérdida de presión en un sistema de tuberías se debe a varias características del sistema, como lo es el rozamiento en las paredes de la tubería acorde a la rugosidad superficial inherente del material, del diámetro interior de la tubería y de la velocidad, densidad y viscosidad del fluido. Además, se tiene los cambios de dirección del flujo y las obstrucciones generadas por el servicio de las válvulas y accesorios.

Para el proceso de cálculos de pérdidas generadas por la fricción de los 14500 metros de tubería, inicialmente se determinó el factor de fricción de las tuberías de acero mediante la ecuación de Haaland (ecuación 9); teniendo en consideración que el régimen del flujo desarrollado es totalmente turbulento con un número de Reynolds $3,02 \times 10^5$. Las pérdidas generadas expresadas en unidades de longitud se presentan en la tabla 3.7 mostrada a continuación:

Tabla 3-7 Factor de fricción y pérdidas por longitud de tubería

Rugosidad Tubería ϵ [mm]	0,05
Rugosidad Relativa ϵ/d	0,0001640
F	0,0158
hf [m]	38,22

Fuente: Elaboración Propia

Para corroborar la información respecto al factor de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa del material se puede implementar el uso del diagrama de Moody (ver figura 5.11, apéndice F)

Posteriormente para el cálculo de pérdidas por accesorios se consideró: pérdidas de carga a la entrada y salida de las bombas fundamentando los respectivos ensanchamiento y estrechamiento de las boquillas a la entrada y salida de la bomba, pérdidas por válvulas y por codos, considerando el coeficiente de resistencia K que representa la pérdida de altura de velocidad para los accesorios respectivos en función del factor de fricción del diámetro de la tubería (CRANE, 2008).

Las pérdidas secundarias generadas tienen un valor representativo de 34,60 metros y se muestra en la tabla 3.8.

Tabla 3-8 Perdidas Secundarias

Descripción	Factor	Cantidad	K	Total
Perdidas Accesorios Entrada de la Bomba				
Codo de 90 Grados	50	1	0,79	0,79
Entrada de Agua	1	1	0,5	0,5
Estrechamiento Entrada Bomba 1	1	1	38,51	38,51
Válvula Check	55	1	0,869	0,869
Perdidas Accesorios Salida de la Bomba				
Válvula Check	55	3	0,869	2,607
Codo de 90 Grados	50	3	0,79	0,94
Válvula Compuerta	8	6	0,1264	0,7584
Salida de Tubería	1	1	1	1
Ensanchamiento Salida Bomba 1	1	1	296,44	296,44
Estrechamiento Entrada Bomba 2	1	1	38,51	38,51
Ensanchamiento Salida Bomba 2	1	1	296,44	296,44
			∑ K	678,80
			hm [m]	34,60

Fuente: Elaboración Propia

3.2.5 Sistema de Bombeo

En base al cabezal estático y las pérdidas menores y locales del sistema de tuberías y accesorios se diseña el sistema de bombeo para cubrir una carga de 288,7 metros a un caudal de operación de 0,025 m³/seg; para cumplir estos requerimientos se seleccionó dos bombas centrífugas geoméricamente similares, ubicadas en serie operando al 65% de eficiencia cada uno. Las bombas independientemente operan a 3540 RPM con un impulsor de 282 mm de diámetro, la cual en la capacidad operativa requerida entrega una carga de 160 metros aproximadamente (ver figura 5.13, apéndice G).

Con la configuración de las dos bombas en serie se tiene que el cabezal entregado por el sistema fue de 320 metros, mayor al requerido de 288,9 metros que se obtuvo a través de la expresión de Bernoulli (ecuación 11). Mediante la curva de carga-capacidad de la bomba seleccionada se verificó

que el equipo trabaja correctamente ya que cumple con la relación de valores de cabezales netos positivos y la ecuación 12, es decir: el NPSH disponible (8,78 m) es mayor al NPSH requerido (2,0 m) (ver figura 5.12, apéndice G).

Dentro del análisis del sistema de bombeo, se tiene en consideración la longitud de tubería de succión [Z_s], las pérdidas de carga estática de succión [h_{Ts}] y el nivel mínimo sumergido [S] de la tubería de succión; los cuales se muestran en la tabla 3.9.

Tabla 3-9 Resultados de cabezal de bombeo y tubería de succión

h_p	288,9 [m]
$NPSH_{disp}$	8,78 [m]
Z_s	2,0 [m]
h_{Ts}	2,08 [m]
S	0,86 [m]

Fuente: Elaboración Propia

3.2.6 Tipo de Junta

La brida en estudio con la descripción **DN 600 PN 10 St-37.2** representa a un tipo de brida según la Norma Alemana **DN 1092-1**; la cual indica que es una brida para alojar en una tubería de 600 mm de diámetro nominal para un sistema en el cual se ha determinado una presión de diseño de 10 kg/cm² (980665 Pa) y el material del cual esta manufacturado es un acero **St 37.2**, en la tabla 3.1 se muestra la composición química de la misma. Análogamente dentro de los estándares americanos podría ser equivalente mediante sus propiedades físicas y químicas a un acero ASTM A283 Gr.C, ASTM A36 y un ASTM A1018. Acorde a la Norma AWWA C207 se debe cumplir los siguientes requisitos mínimos para la fabricación de bridas para la fijación a tubos de acero de agua y accesorios:

Tabla 3-10 Requerimientos mínimos para Brida

S_{ut} (Min)	345 MPa
S_y (Min)	221 MPa
C (Max)	0,29 %
P (Max)	0,04 %
S (Max)	0,05 %

Fuente: Elaboración Propia

Mediante la inspección visual del material y rigiéndose mediante la Norma DN 1092-1 la brida en estudio representa a una brida de placa plana, con un sobresalto tipo macho; la figura 3.8 representa el esquema de este tipo de bridas y en la tabla 3.11 se muestra las dimensiones representativas de la muestra obtenida y del estándar normalizado con sus tolerancias dimensionales; concluyendo así que las medidas se encuentran en el rango permisible a excepción del espesor de la brida con una diferencia representativa de 5 mm.

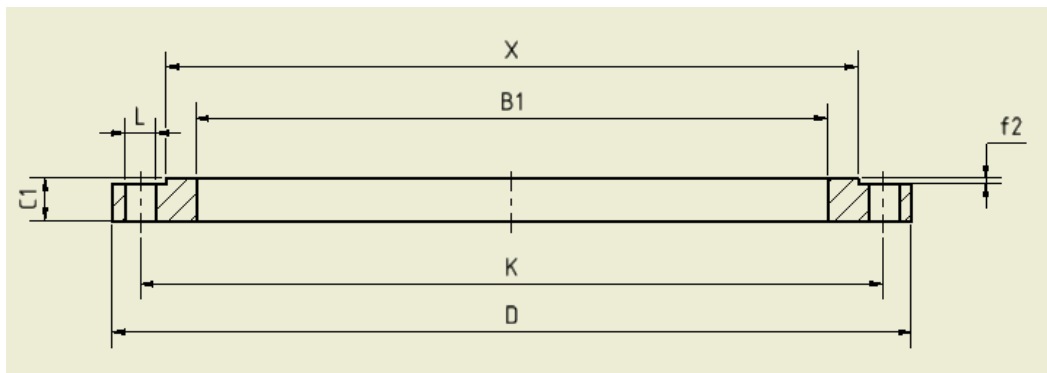


Figura 3.8 Esquema Dimensional de Brida acorde Norma DN 1092-1

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-11 Dimensiones de Brida DN 600 PN 10

Variables	Dimensiones acordes a la Norma [mm]	Tolerancia [mm]	Dimensiones Experimentales [mm ± 0,50]
D	780,00	± 5,00	776,00
K	725,00	± 1,50	722
X	675,00	+ 0,00 - 0,50	678,50
B1	616,50	+1,50 - 0,00	618,50
C1	42,00	± 1,50	37
L	30	-	30
f2	5,50	+ 0,50 - 0,00	5,25

Fuente: Elaboración Propia

En base al análisis químico de la brida en estudio se puede concluir que el acero cumple con los requerimientos mínimos de composición química de una brida para acople con tubería de agua, acorde a los valores mostrados en la tabla 3.10.

Acorde al rediseño del sistema de distribución se tiene en consideración que la tubería a usar será una de 300 DN, por lo que se selecciona para las juntas bridadas en base a la presión de diseño (2723 KPa) y temperatura de operación una brida deslizante (*slip on*) con resalto de cara macho clase 300 acorde a la Norma ASME B16.5 para asegurar la viabilidad de las juntas dentro del proceso de soldadura y condiciones de operación.

El esquema dimensional de la brida seleccionada con sus respectivas dimensiones, acoples, resaltos de cara, etc., se presentan en la sección de Apéndice I y los parámetros de soldadura que debe cumplir la junta entre la brida *Hub Slip-On* y la tubería se muestran en figura 3.9, donde:

t_n = Espesor de tubería.

X_{min} = La menor medida entre $1.4t_n$ y el espesor de tubería

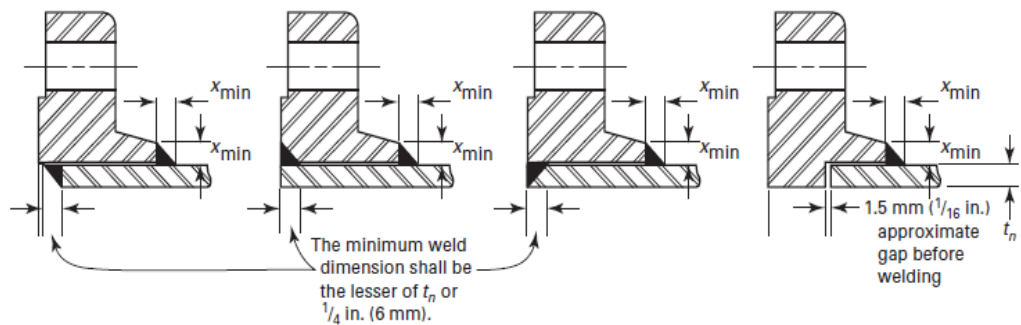


Figura 3.9 Criterio de soldadura para Brida Slip-On

Fuente: (ASME, 2015)

3.2.7 Análisis de Simulación

Fluido

En la figura 3.10 se presenta la simulación del fluido dentro de la tubería en donde los resultados se exponen en una escala de colores en la parte superior izquierda, estos valores representan las variaciones de la velocidad del fluido dentro de la tubería en m/s. Se muestra el perfil de velocidad turbulento en donde el fluido desarrolla su velocidad máxima en el eje neutro de la tubería con un valor de 1.2 m/s y un valor de 0.12 m/s en las proximidades de las paredes, cumpliendo con la condición de no deslizamiento en función de los efectos viscosos.

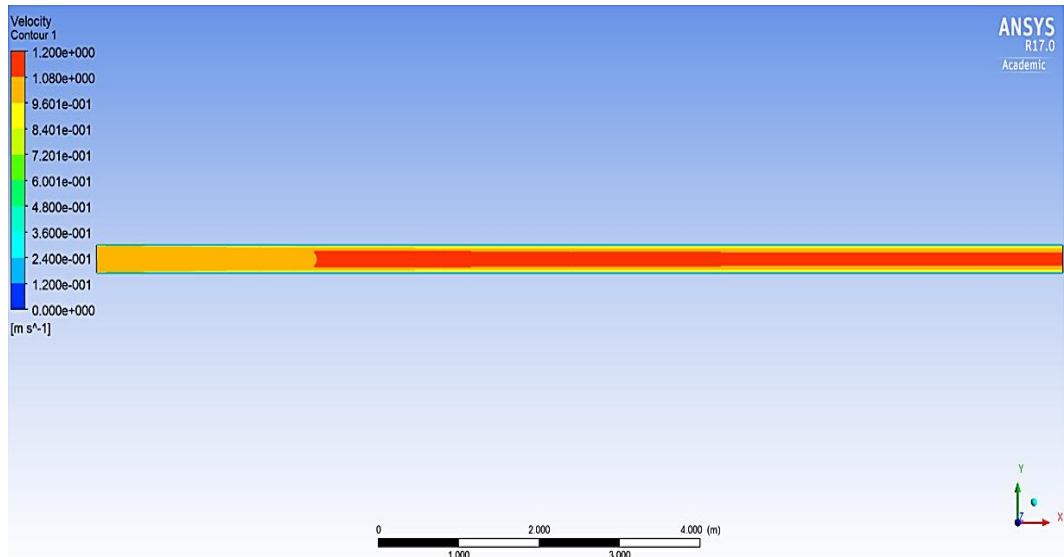


Figura 3.10 Resultados del perfil de velocidad para el sistema 2D

Fuente: ANSYS FLUENT

Además, se realizó la misma simulación, pero para un sistema 3D de la tubería y el fluido, estos resultados expuestos en la figura 3.11 son similares al anterior y se utilizan para realizar el análisis estructural con la unión bridada.

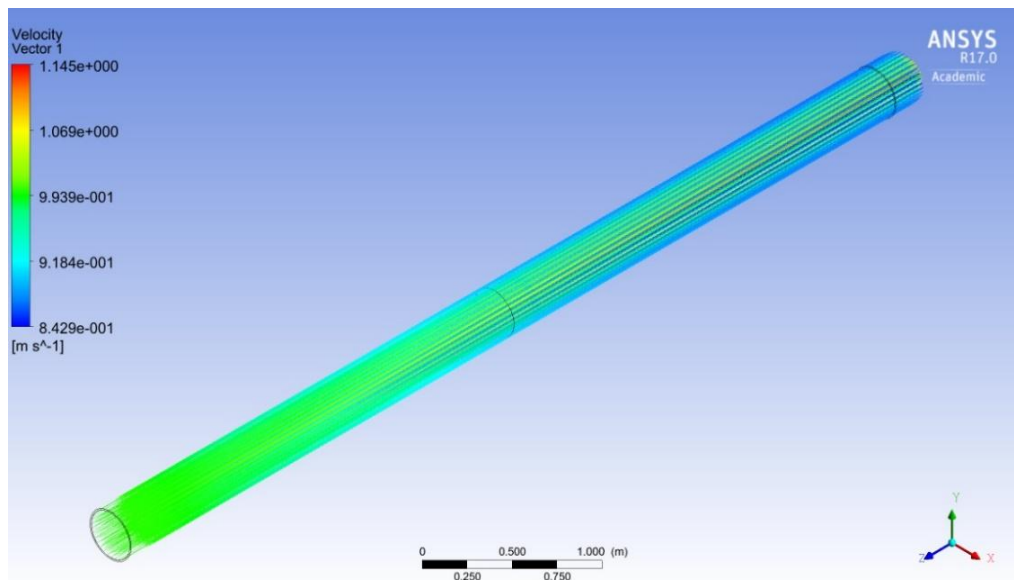


Figura 3.11 Resultados de simulación del fluido en una tubería en 3D

Fuente: ANSYS FLUENT

Soldadura Brida – Tubería

Los resultados presentados en la figura 3.12 muestran una deformación uniforme máxima de 0.023 mm de la tubería debido a la presión del fluido. Del mismo modo, se verifica que el mayor esfuerzo de Von Misses ocurre en la soldadura de la junta tubería - brida y tiene un valor de 40,9 MPa.

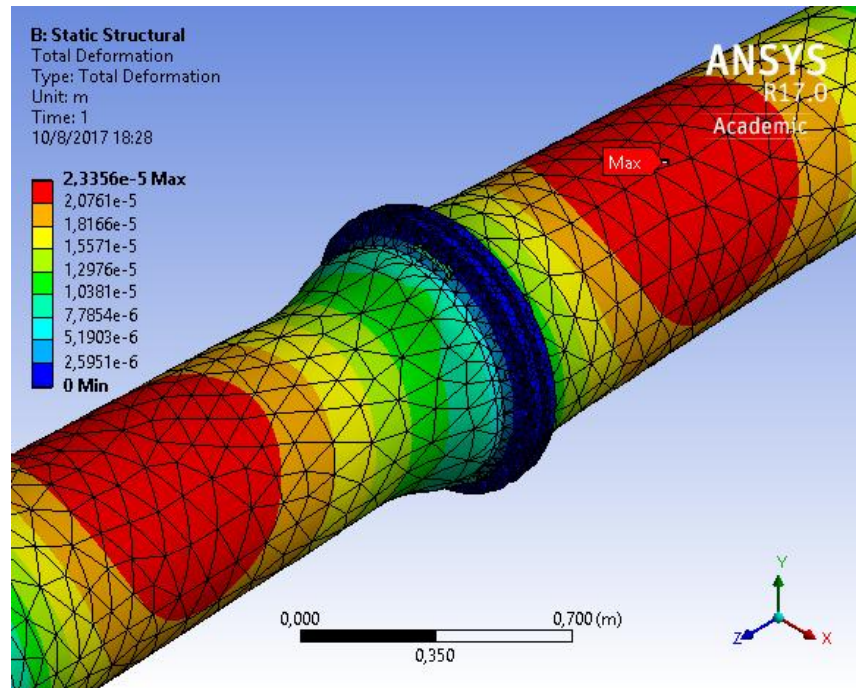


Figura 3.12 Deformación total de la tubería

Fuente: ANSYS STRUCTURAL

La deformación generada por la presión interna es aceptable ya que se encuentra dentro del rango de los valores obtenidos en los cálculos, estos son menores al rango límite de falla para el acero estructural que es de máximo 0.15 mm.

Según el resultado obtenido por el esfuerzo de Von Misses (ver figura 3.13) observamos que la mayor concentración de esfuerzos se da en el cordón de soldadura, el diseño es aceptable porque el material soporta las cargas de presión del fluido para un dimensionamiento de la tubería con un factor de seguridad mayor a 6.

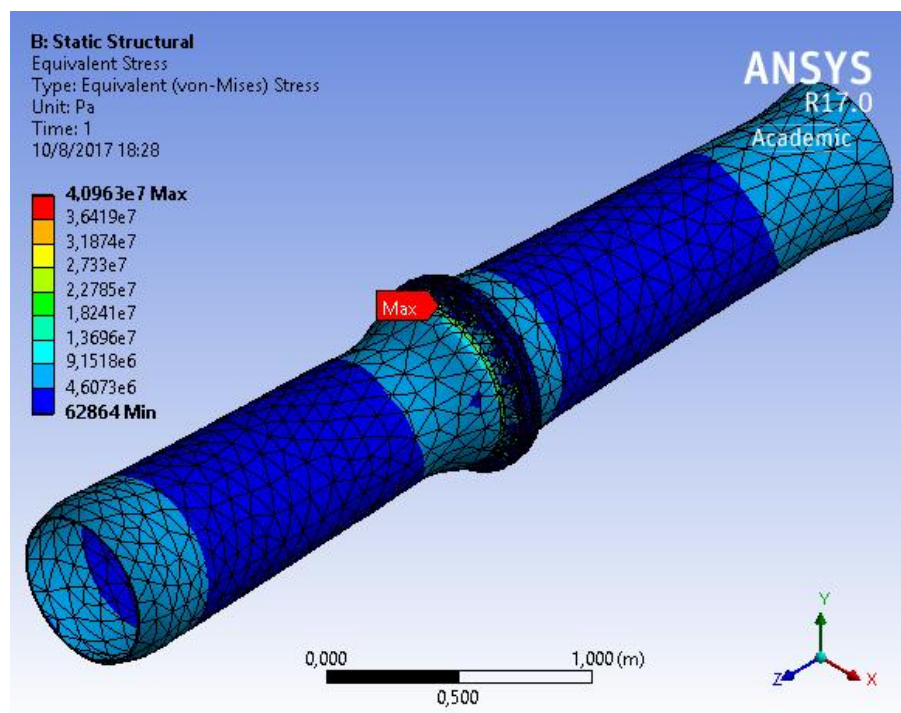


Figura 3.13 Resultados obtenidos para el esfuerzo máximo en la junta

Fuente: ANSYS STRUCTURAL

3.3 Análisis de Costo

Como primer factor de evaluación de los costos asociados al proyecto se tiene los costos de la materia prima, válvulas y accesorios considerados a instalar en la línea de conducción de agua potable, como lo son: manufactura de tubería 300 DN, válvula compuerta, válvula globo y bridas *slip-on*. Estos valores se muestran a continuación a detalle en la tabla 3.12 y tabla 3.13.

Tabla 3-12 Suministro de Materia Prima

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
PLANCHA DE ACERO A-36 2440x1200x9.53 mm	Kg	1297736,4	\$ 0,20	\$ 259.547,28

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-13 Válvulas y Accesorios de Tubería

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Brida Slip On 12 In	U.	34	\$ 75,90	\$ 2.580,60
Válvula Check 12 In - Bridada	U.	4	\$ 3.008,00	\$ 12.032,00
Válvula Compuerta 300 - 12 in; Hierro bridada	U.	8	\$ 1.686,00	\$ 13.488,00
				\$ 28.100,60

Fuente: Elaboración Propia

Se puede lograr considerables ahorros de energía en los sistemas de bombas, pero lo primero que se debe tener en consideración es maximizar el ahorro en el diseño del sistema. Para esto, en base a un análisis costo-beneficio se seleccionó dos bombas geoméricamente similares que entregan una altura dinámica de 320 metros en conjunto, a un caudal de 25 Lt/s para cumplir con la demanda actual de la comuna Pucahuaico.

Las bombas son impulsadas mediante motores tipo WEG IE2 de alta eficiencia, con una potencia nominal de 125 HP; sumando un consumo energético mensual del sistema de 55920 kWh para un periodo de operación de 10 horas diaria; considerando que el costo de kWh para el sector comercial de bombeo de agua para el servicio público de agua potable es de \$ 0,066 (CNEL, 2017)

El valor de adquisición del sistema motor-bomba y el costo de operación por consumo de energía para el suministro de agua potable se encuentran en la tabla 3.14 y tabla 3.15 respectivamente.

Tabla 3-14 Cotización Sistema Motor-Bomba

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Electrobomba Centrífuga HIDROSTAL	U.	4	\$ 14.567,84	\$ 58.271,36

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-15 Consumo Energía

Consumo (Kwatt)	Consumo [kWh/mes]	\$/kWh	\$/mes
186,4	55920	0,066	3690,72

Fuente: Elaboración Propia

Dentro de los costos asociados para la instalación del sistema, se considera los consumibles para el proceso de soldadura y los equipos de protección personal (ver tabla 3.16 y tabla 3.17 respectivamente), pronosticados para un periodo de operación de tres meses, los cuales suman un costo de adquisición de \$4992,61.

Tabla 3-16 Suministros y Consumibles

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Dióxido de Carbono 25KG	U.	24	\$ 61,60	\$ 1.478,40
Alambre Tubular LINDE E71T-1 1.2MM	KG.	250	\$ 1,78	\$ 445,20
Boquilla HEAVY DUTTY KP23H-62	U.	24	\$ 14,00	\$ 336,00
Contact TIP KP14H-45	U.	34	\$ 3,58	\$ 121,86
Difusor KP54A	U.	15	\$ 3,58	\$ 53,76
Disco de Corte 7" X 1/8	U.	48	\$ 1,90	\$ 91,39
Disco de Corte NORTON 7" X 1/16"	U.	48	\$ 1,79	\$ 86,02
Disco de Corte 4"1/2 X 1/8" X 7/8"	U.	48	\$ 1,10	\$ 52,68
Disco de Desbaste 7" X 1/4	U.	48	\$ 2,41	\$ 115,58
Disco de Desbaste 7" X 3/16"	U.	48	\$ 3,36	\$ 161,28
Disco de Desbaste 4"1/2 X 1/4"	U.	48	\$ 1,68	\$ 80,64
Disco POLIFAN Grano 36 7"	U.	36	\$ 10,64	\$ 383,04
Electrodo 6011 1/8	KG.	10	\$ 4,14	\$ 41,40
Electrodo 7018 1/8	KG.	10	\$ 4,59	\$ 45,90
Gel NOZZLE	U.	5	\$ 9,24	\$ 46,20
Grata Plana Trensada 5/8-T	U.	24	\$ 17,70	\$ 424,70
			TOTAL	\$ 3.964,06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3-17 Elementos de Seguridad Industrial

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Arnés para casquete de esmerilar	U.	10	\$ 5,82	\$ 58,24
Arnés para careta de soldar	U.	6	\$ 10,02	\$ 60,14
Capucha para soldador jean	U.	6	\$ 10,02	\$ 60,14
Careta para soldar	U.	6	\$ 5,88	\$ 35,28
Campera cuero	U.	6	\$ 25,20	\$ 151,20
Filtro rosado p/mascarilla 3m 2097	PAR.	18	\$ 6,64	\$ 119,55
Gafas claras	U.	24	\$ 2,07	\$ 49,73
Gafas oscuras	U.	12	\$ 7,04	\$ 84,54
Guantes API	PAR.	24	\$ 8,57	\$ 205,63
Guantes Napa	PAR.	6	\$ 3,28	\$ 19,69
Mandil de cuero	U.	5	\$ 5,26	\$ 26,32
Mangas de cuero	U.	10	\$ 4,63	\$ 46,26
Respirador desechable 8210	U.	24	\$ 0,97	\$ 23,39
Respirador 3m 6200	U.	5	\$ 14,17	\$ 70,84
Tapón para oídos	U.	24	\$ 0,43	\$ 10,21
Vidrio rectangular claro	U.	12	\$ 0,25	\$ 2,96
Vidrio rectangular oscuro	U.	12	\$ 0,37	\$ 4,44
			TOTAL	\$ 1.028,55

Fuente: Elaboración Propia

El desarrollo de la instalación de la tubería y accesorios respectivos se realizará con tres grupos de trabajo, conformado por: un soldador, un armador, un pulidor y un ayudante; a estos se suman dos ingenieros de proyecto y un fiscalizador calificados para asegurar la viabilidad de las juntas, los procesos de soldadura y el cumplimiento de la planificación. Los costos respectivos para el presupuesto del personal contratado se muestran en la tabla 3.18.

Tabla 3-18 Presupuesto del Personal

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Soldador	U.	3	\$ 2.400,00	\$ 7.200,00
Amador	U.	3	\$ 2.100,00	\$ 6.300,00
Pulidor	U.	3	\$ 1.500,00	\$ 4.500,00
Ayudante	U.	3	\$ 1.200,00	\$ 3.600,00
Fiscalizador	U.	1	\$ 3.600,00	\$ 3.600,00
Ingeniero de Proyecto	U.	2	\$ 5.400,00	\$ 10.800,00
			TOTAL	\$ 36.000,00

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 3.19 se muestra la información de los precios totales y la suma total del presupuesto del proyecto:

Tabla 3-19 Presupuesto total

DESCRIPCIÓN	TOTAL
Materia Prima Tubería	\$ 259.547,28
Válvulas y Accesorios	\$ 28.100,60
Electro - Bomba	\$ 58,271,36
Suministros y Consumibles	\$ 3.964,06
Elementos de Seguridad Industrial	\$ 1.028,55
Presupuesto Operativo	\$ 36.000,00
TOTAL	\$ 386,911,85

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Conclusiones

El análisis químico de la brida reveló que existe una serie de aceros que cumplen con los porcentajes de elementos principales y aleantes, todos ellos aceros de bajo carbono para aplicaciones estructurales y diseño de tuberías.

Mediante el análisis metalográfico de las probetas de la tubería y brida se corroboró que su estructura es predominantemente ferrítica, representación ideal para un acero de bajo carbono generalmente dúctil, con dureza baja y con un comportamiento ideal para la soldadura.

La forma alargada de los granos de la muestra de la tubería es una característica propia de láminas de acero, además de que su tamaño de grano es muy pequeño en comparación al de la brida producto del procesamiento del material.

Mediante los ensayos de dureza Rockwell B se puede corroborar que los valores resultan aceptables en el rango que es de 70 – 80 HRB acorde a su composición química baja en carbono, esto resulta de gran importancia porque al poseer menor dureza estos materiales se muestran más amigables al entorno de soldadura.

Basados en los análisis realizados se puede concluir en parte que la causa de falla radial proviene de las tensiones térmicas inducidas. También se presentó una zona en la junta que denota falta de penetración del material de aporte y esto provoca una disminución de la resistencia de la junta soldada. Todos estos factores involucrados en el entorno del análisis de los ensayos no destructivos dieron lugar a que la falla se propague causando la rotura radial de la unión bridada.

Debido a la disponibilidad en el mercado se escogió un material para la tubería de ASTM A 36 que se encuentra apto para el nuevo diseño, tomando en cuenta cada uno de los factores y cálculos realizados que confirman la selección del material adecuado.

A partir de la simulación estructural del sistema tubería – brida se pudo concluir que el área más afectada se ubica en la brida, donde se observan mayores concentraciones de esfuerzos hasta un máximo de 40,9 MPa, sin embargo, se obtiene un diseño aceptable debido a que la resistencia del material supera a los esfuerzos obtenidos.

El análisis del fluido dentro de la tubería dio a conocer que se presenta un perfil de velocidad turbulento que da lugar a una amplia longitud de entrada de 35 m, esto se debe a que factores como la alta presión y las dimensiones influyen en el ordenamiento del fluido.

La velocidad de diseño debe ser la apropiada para evitar las sedimentaciones de partículas y la sobrepresión en las paredes de la tubería. La velocidad máxima en tuberías de succión depende del diámetro respectivo, pero la velocidad mínima en esta tubería será de 0,45 m/s. Para la tubería de impulsión la velocidad del fluido debe estar entre 1,0 y 3,0 m/s.

4.2 Recomendaciones

En sistemas de ingeniería que intervienen válvulas, codos, uniones en T, bombas, etc., se recomienda que la junta se realice mediante acoples bridados, por propósitos de mantenimiento, acceso y ahorro de costos.

Se deben seguir en lo posible las normas de fabricación de tuberías y la selección de los materiales debido a que estas han sido evaluadas y detalladas cuidadosamente los trabajos en servicio.

De primera instancia dentro de la metodología de junta de partes y/o piezas se debe analizar los materiales respectivos de las partes, para proceder a

seleccionar apropiadamente el material de aporte y el proceso de soldadura de arco eléctrico que aporte una mayor resistencia y calidad mecánica a la junta, basándose en el código AWS.

Al realizar soldaduras bajo condiciones severas de contracción externa, una vez inicializada la soldadura, no se permitirá que la junta se enfríe por debajo del precalentamiento mínimo especificado hasta que se haya completado la junta y se haya depositado suficiente soldadura para garantizar que no sea agriete.

Para corregir la falta de penetración de la brida con la tubería se puede tener en consideración realizar un biselado a la brida bajo los lineamientos de la ASME Sección VIII – Apéndice 2, siendo pertinente la obtención de una junta integrada.

Para considerar al análisis de la soldadura con exactitud se deberá caracterizar las propiedades mecánicas y dimensiones del cordón tipo filete interno y externo a la junta. En la simulación del fluido se consideró solo un tramo corto de tubería por lo que sería aconsejable ampliar el rango de la simulación considerando los cambios de dirección y los accesorios dispuestos a lo largo de la tubería.

El dimensionamiento y tipo de bombas debe realizarse en conjunto con la tubería de impulsión y con los accesorios pertinentes, buscando siempre la condición de mínimo costo incluidos costo inicial de operación, expansión y mantenimiento. El diámetro de tuberías de succión e impulsión no pueden ser menores que los admitidas por el equipo de bombeo. Se recomienda que el diámetro de la tubería de succión sea mayor que el de impulsión, por lo menos en 50 mm.

Para la estación de bombeo se deberá prever, además de las unidades necesarias para cubrir el caudal máximo, por lo menos una bomba con capacidad igual a la mayor de las bombas instaladas, como reserva. El sistema de bombeo contará en la respectiva línea de impulsión con una

válvula de retención o válvula cheque, así como una válvula tipo compuerta y una unión de desmontaje de acero inoxidable. Considerando que los pernos para montaje de válvulas, uniones, acoples, etc., deberán ser también de acero inoxidable.

La tubería instalada para la succión de la estación de bombeo podrá ser construida en hierro dúctil y en acero; el cual deberá tener protección para la corrosión tanto interna como externa, como también será obligatorio el uso de ánodos de zinc en las bombas.

BIBLIOGRAFÍA

- ASM International. (2002). Failure Analysis and Prevention. En A. International, *Failure Analysis and Prevention* (Vol. XI, pág. 577). Ohio.
- ASM International . (2002). En A. International, *Atlas of Microstructure Volume 7* (págs. 18, Figura #116). Ohio.
- ASM International. (2002). Failure Analysis and Prevention. En *ASM HANDBOOK* (Vol. XI, pág. 50). Ohio: The Materials Information Company.
- ASM International. (2002). Failure Analysis and Prevention. En A. HANDBOOK. Ohio: The Materials Information Company.
- ASME. (2015). Boiler and Pressure Vesel Code. En ASME, *Nondestructive Examination* (Vol. V). New York, EEUU: ASME.
- ASME. (2015). Boiler and Pressure Vessel Code. En ASME, *Rules for construction of pressure vessels - Division 1* (Vol. VIII). New York, EEUU: ASME.
- ASTM. (1996). *Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*. West Conshohocken, Pensilvania, United States of America: ASTM International.
- ASTM. (2003). *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM. (2012). *Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM. (2015). *Standard Test Method of Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM. (2016). *Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*. West Conshohocken: ASTM International.
- Avner, S. (1979). *Introducción a la metalurgica física*. México: McGraw-Hill.
- AWS. (2001). Welding Handbook. En AWS, *Welding Science and Technology* (Second ed., Vol. 1, págs. 534-577). Miami, Florida, United States of America: American Welding Society.
- AWS. (2015). Structural Welding Code - Steel. En A. W. Society, *AWS D1.1* (Twenty Third ed., pág. 168). Miami: AWS.
- AWS. (2015). *Structural Welding Code-Steel* (Twenty Third ed.). Miami, Florida, United States of America: AWS.

- AWWA, A. W. (1994). Steel Pipe flanges for waterworks service - sizes 4 in. through 14 in. En A. W. AWWA. Denver: AWWA. Obtenido de <https://www.awwa.org/>
- AWWA, American Water Works Association. (1997). Steel Water Pipe - 6 In (150 mm) and Larger. En AWWA, *Steel Water Pipe - 6 In (150 mm) and Larger* (pág. 7). Denver: American Water Association.
- BSI British Standards. (2007). *Flanges and their joints - Circular flanges for pipes, valves, fittings and accessories, PN designated - Part 1: Steel Flanges*. Brussels, Brussels, Bélgica: EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION.
- CNEL. (2017). *Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas*. CNEL. Quito: Agencia de Regulación y Control de Electricidad. Obtenido de www.cnelep.gob.ec/
- CRANE. (2008). *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. (V. S.A., Trad.) Gaudalajara, Jalisco, México: McGraw Hill. Obtenido de <http://www.cucei.udg.mx>
- Cruz, J. L. (2011). *Evaluación de la distribución de corrientes y potenciales eléctricos en un sistema de protección catódica en tuberías*. Guayaquil .
- DIN. (2002). *Part 1: Steel Flanges and their joints - Circular flanges for pipes, valves, fittings and accessories, PN designated*. British Standards.
- DNV. (2010). *DNV-RP-B401 Cathodic Protection Design*. Noruega: Det Norske Veritas.
- Hidrostal S.A. (2012). *Bombas Centrifugas ISO 2858*. Ingeniería. Lima: Hidrostal S.A.
- IEOS. (1992). *Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*. Secretaría del Agua. Quito: Secretaría del Agua. doi:10.07 - 602
- IEOS. (1992). *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. Secretaría del Agua. Quito: Secretaría del Agua. doi:10.07-601
- Instituto nacional de estadística y censos. (01 de 12 de 2010). *INEC*. (B. Villacis, Ed.) Obtenido de INEC: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec>
- Interagua S.A. (2015). *Construcción de proyectos de Agua Potable y Alcantarillado* . Guayaquil: Interagua.
- Kenneth, M. (1990). *Bombas: Selección, uso y mantenimiento*. México, México: McGraw-Hill.
- López, R. (1995). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. En R. López, *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados* (Segunda ed., págs. 53-65). Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- NorhWest Pipe Company. (s.f.). *Joint Design. NorhWest Pipe Company*, 6 - 7.

- Prabhata, S., & Ashok, S. (2008). *Design of water supply pipe networks*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Serrano, O. (2008). *Guía de estudio del curso de Materiales de Ingeniería*. Guayaquil: ESPOL.
- Singer, F., & Pytel, A. (1994). *Resistencia de materiales* (Cuarta ed.). (F. Paniagua, Ed., & R. Gaspar, Trad.) México, México: Alfaomega Grupo Editor.
- Sotelo Avila, G. (1997). *Hidráulica General* (Vol. I). México, México: LIMUSA S.A.
- Weifang East Steel Pipe Co.,Ltd. (26 de Marzo de 2015). *East Steel Pipe*. Obtenido de East Steel Pipe Web site: <https://www.eaststeelpipe.com>
- White, F. (2011). *Fluid mechanics* (Seventh ed.). New York, EEUU: McGraw-Hill.

5. APÉNDICES

Apéndice A

Criterio de Aceptación para Inspección Visual

Tabla 5-1 Criterio de aceptación para Inspección Visual

Categoría de la Discontinuidad y Criterio de la Inspección	Conexión No-Tubular Carga Estática	Conexión No-Tubular Carga Cíclica	Conexión Tubular (Todas las Cargas)										
(1) Prohibición de grietas Cualquier grieta deberá ser inaceptable, sin importar el tamaño o la ubicación	X	X	X										
(2) Fusión de la soldadura/metal base Deberá haber fusión completa entre las capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y el metal base	X	X	X										
(3) Cráter en la sección transversal Todos los cráteres deberán ser llenados para proporcionar el tamaño de soldadura especificado, excepto para los extremos de las soldaduras de filete intermitente fuera de su longitud efectiva	X	X	X										
(4) Perfiles de la Soldadura Los perfiles de soldadura deberán ser de acuerdo con el 5.24	X	X	X										
(5) Tiempo de Inspección La inspección visual de las soldaduras en todos los aceros puede iniciar inmediatamente después de las soldaduras se hayan enfriado a temperatura ambiente. Los criterios de aceptación para aceros ASTM A514, A517, A709 Gr 100 y 100W, deberá estar basado en la inspección visual realizada en no menos de 48 horas después de la terminación de la soldadura.	X	X	X										
(6) Soldadura sub-dimensionadas El tamaño de una soldadura de filete en cualquier soldadura continua puede tener menos del tamaño (L) poco nominal especificado sin corrección de las siguientes cantidades (U) <table style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">L</th> <th style="text-align: center;">U</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Tamaño de soldadura nominal específica, pulg, [mm]</td> <td style="text-align: center;">Disminución permitida de L, pulg, [mm]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≤ 3/16 [5]</td> <td style="text-align: center;">≤ 1/16 [2]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1/4 [6]</td> <td style="text-align: center;">≤ 3/32 [2,5]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≥ 5/16 [8]</td> <td style="text-align: center;">≤ 1/8 [3]</td> </tr> </tbody> </table>	L	U	Tamaño de soldadura nominal específica, pulg, [mm]	Disminución permitida de L, pulg, [mm]	≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]	1/4 [6]	≤ 3/32 [2,5]	≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3]	X	X	X
L	U												
Tamaño de soldadura nominal específica, pulg, [mm]	Disminución permitida de L, pulg, [mm]												
≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]												
1/4 [6]	≤ 3/32 [2,5]												
≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3]												
En todos los casos, la soldadura sub-dimensionada no deberá exceder el 10% de la longitud de la soldadura. En soldadura alma-ala de vigas, la reducción deberá ser prohibido en los extremos de una longitud igual a dos veces el ancho del ala.													

<p>(7) Socavado (A) Para el material menor de 1 pulg. [25 mm] de espesor, el socavado no deberá exceder 1/32 pulg. [1 mm], con la siguiente excepción; el socavado no deberá exceder 1/16 pulg. [2 mm] para cualquier longitud acumulada de hasta 2 pulg. [50 mm] en cualquier longitud de 12 pulg. [200 mm]. Para material igual o mayor a 1 pulg. [25 mm] de espesor, el socavado no deberá exceder 1/16 pulg. [2 mm] para cualquier longitud de soldadura.</p>	X		
<p>(B) En miembros principales, el socavado deberá ser de no más de 0,01 pulg. [0,25 mm] de profundidad cuando la soldadura es transversal al esfuerzo de tracción bajo cualquier condición de diseño de carga. El socavado deberá ser no más de 1/32 pulg. [1 mm] de profundidad para todos los otros casos.</p>		X	X
<p>(8) Porosidad (A) Las soldaduras de canal de penetración completa CJP en juntas a tope transversal en dirección al esfuerzo de tracción calculado no deberán tener porosidad tubular visible. Para todas las otras soldaduras de canal y soldadura de fileta, la suma de porosidad tubular visible de 1/32 pulg. [1 mm] o mayor en diámetro, no deberá exceder 3/8 pulg. [10 mm] en cualquier pulgada lineal de la soldadura y no deberá exceder 3/4 pulg. [20 mm] en cualquier longitud de soldadura de 12 pulg. [300 mm]</p>	X		
<p>(B) La frecuencia de la porosidad tubular en soldadura de filete no deberá exceder de 1 por cada 4 pulg. [100 mm] de la longitud de la soldadura y el diámetro máximo no deberá exceder 3/32 pulg. [2,5 mm]. Excepción: para soldaduras de filete conectando refuerzos al alma, la suma de los diámetros de la porosidad tubular no debe exceder 3/8 pulg. [10 mm] en cualquier pulgada lineal de la soldadura y no deberá exceder 3/4 pulg. [20 mm] en cualquier longitud de soldadura de 12 pulg. [300 mm].</p>		X	X
<p>© Las soldaduras de canal de penetración completa CJP en juntas a tope transversal a la dirección del esfuerzo de tracción calculado no deberá tener porosidad tubular. Para todas las otras soldaduras de canal, la frecuencia de la porosidad tubular no deberá exceder de 1 en 4 pulg. [100 mm] de longitud y el diámetro máximo no deberá exceder de 3/32 pulg. [2,5 mm]</p>		X	X

Fuente: (AWS, 2015)

Apéndice B

Diagrama de Hierro - Carbono

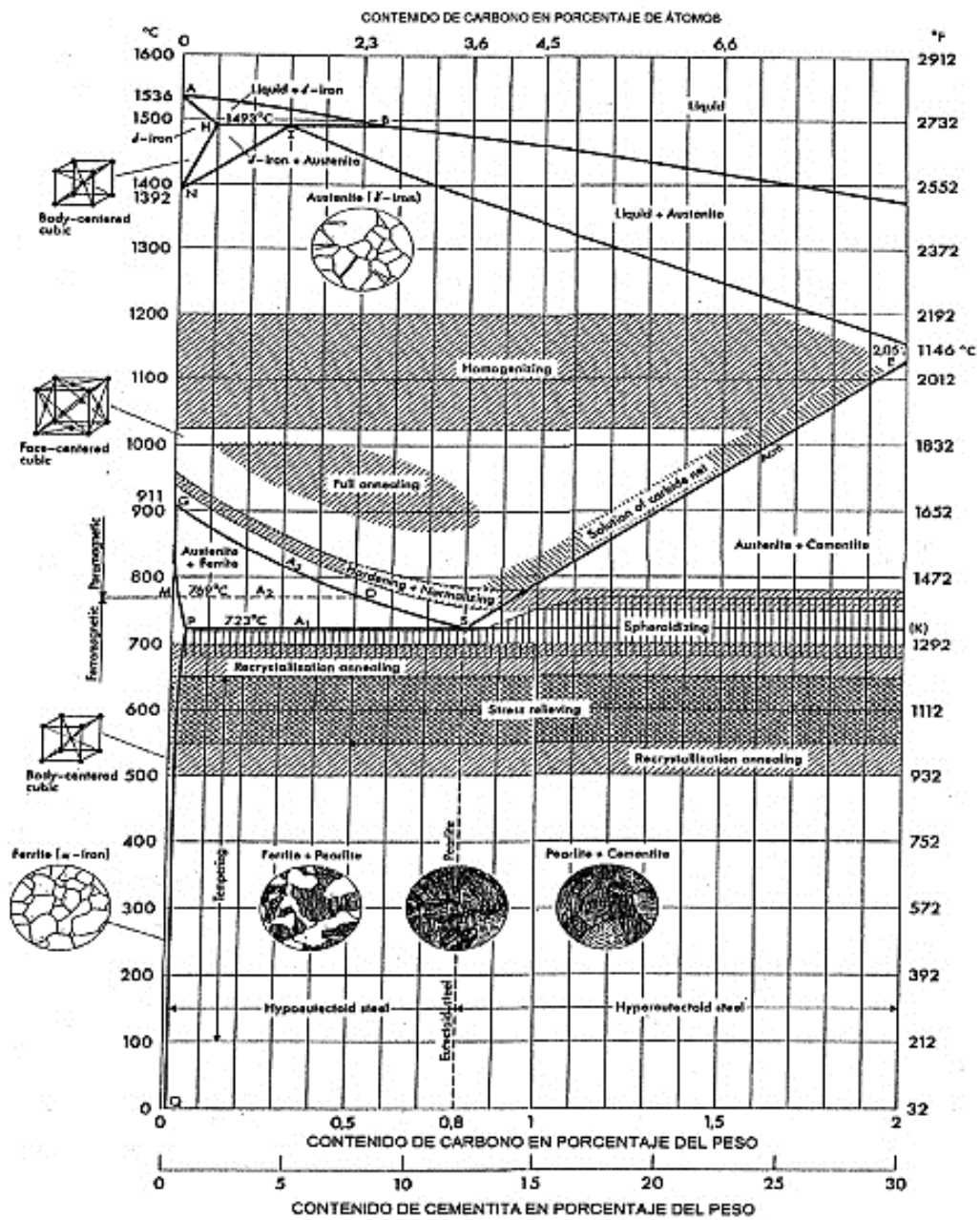


Figura 5.1 Diagrama Hierro - Carbono

Fuente: (Serrano, 2008)

Apéndice C

Propiedades Estructurales vs Incremento de Temperatura

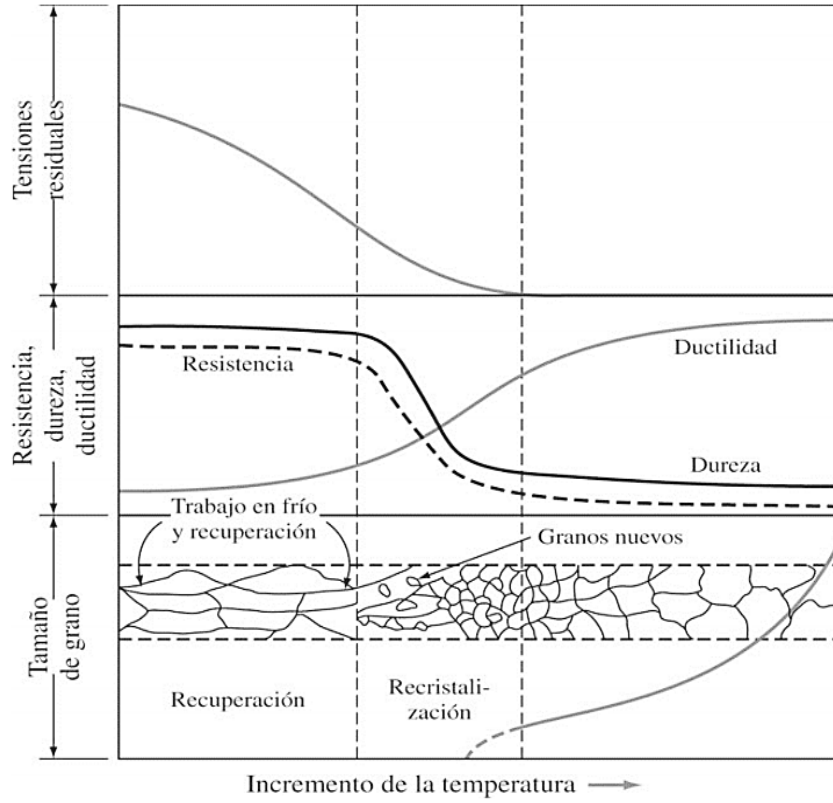


Figura 5.2 Efecto de recocido sobre estructura y propiedades mecánicas del acero

Fuente: (Serrano, 2008)

Apéndice D
Métodos de Medición de Tamaño de Grano
Norma ASTM E112

Para la medición del tamaño de grano se utiliza un ocular especial mediante el procedimiento de comparación. En la figura 5.3 se observan las diferentes plantillas de comparación visualizadas a través de dicho ocular. El círculo exterior posee un diámetro de 175mm, y debe coincidir con el borde de la imagen de la metalografía, cabe recalcar que se respetan las magnificaciones. El número de cada plantilla corresponde al tamaño de grano "G" si se observa con una magnificación de 100x. En caso de utilizar otra magnificación debe corregirse este valor mediante la suma del factor de corrección Q. Estos valores se presentan en la tabla 5.2:

Tabla 5-2 Factor de corrección de magnificación

Magnificación [M]	Factor de corrección Q (para Mb=100x) $Q = 6,64 \log_{10} \left(\frac{M}{M_b} \right)$
50x	-2
100x	0
200x	2
400x	4

Fuente: (ASTM, 1996)

Del mismo modo una vez hallado el factor G y corregido según la magnificación se recurre a la figura 5.4 que muestra una tabla de valores correspondientes a la longitud del tamaño de grano en mm según el factor G

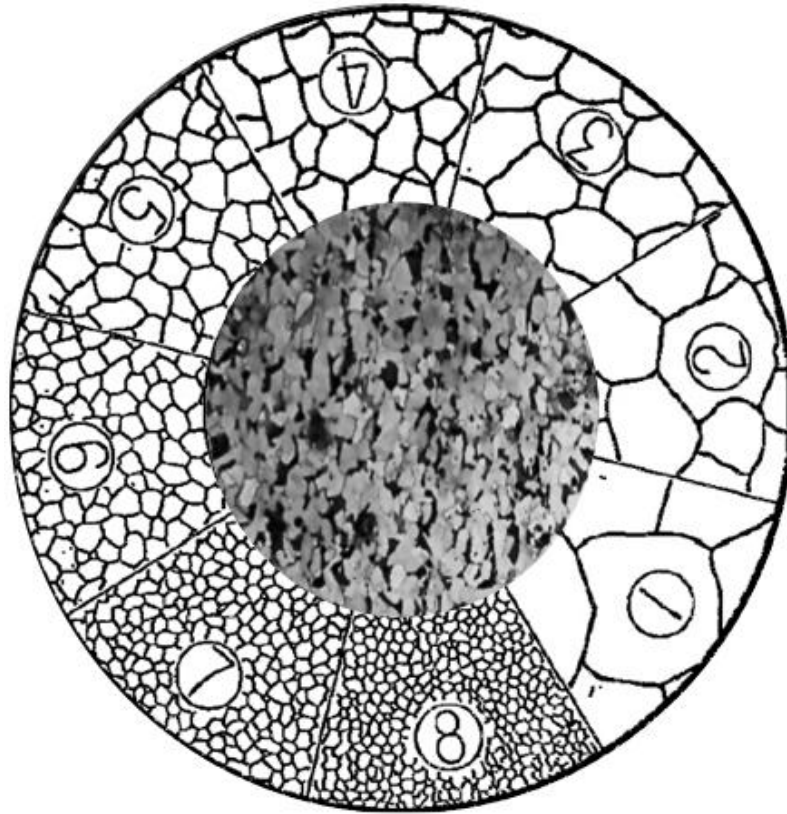


Figura 5.3 Plantilla de Tamaño de Grano

Fuente: (ASTM, 1996)

Este es un ejemplo de la comparación del tamaño de grano de la muestra de la brida la cual se encuentra a un aumento de 100X, por tanto, el valor G es igual a 6 porque es el sector que más se asemeja a la figura principal.

De acuerdo con la tabla tenemos que $G=6$ corresponde a un tamaño de grano con diámetro igual a $44.9 \mu\text{m}$.

Grain Size No. G	\bar{N}_A Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{d} Average Diameter		\bar{r} Mean Intercept		\bar{N}_L
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm ²	mm	μm	mm	μm	No./mm
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.0
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

Figura 5.4 Relaciones de Tamaño de Grano calculados para granos uniformes, orientados aleatoriamente, equiaxiados (ASTM E112)

Fuente: (ASTM, 1996)

Apéndice E

Requerimientos de la AWS D1.1

G r o u p	Steel Specification Requirements					
	Steel Specification	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Range		
		ksi	MPa	ksi	MPa	
	ASTM A36	(≤3/4 in [20 mm])	36	250	58–80	400–550
	ASTM A53	Grade B	35	240	60 min.	415 min.
	ASTM A106	Grade B	35	240	60 min.	415 min.
	ASTM A131	Grades A, B, CS, D, DS, E	34	235	58–75	400–520
	ASTM A139	Grade B	35	240	60 min.	415 min.
	ASTM A381	Grade Y35	35	240	60 min.	415 min.
	ASTM A500	Grade A	33	230	45 min.	310 min.
		Grade B	42	290	58 min.	400 min.
		Grade C	46	315	62 min.	425 min.
	ASTM A501	Grade A	36	250	58 min.	400 min.
	ASTM A516	Grade 55	30	205	55–75	380–515
		Grade 60	32	220	60–80	415–550
	ASTM A524	Grade I	35	240	60–85	415–586
		Grade II	30	205	55–80	380–550
	ASTM A573	Grade 65	35	240	65–77	450–530
		Grade 58	32	220	58–71	400–490
I	ASTM A709	Grade 36 (≤3/4 in [20 mm])	36	250	58–80	400–550
	ASTM A1008 SS	Grade 30	30	205	45 min.	310 min.
		Grade 33 Type 1	33	230	48 min.	330 min.
		Grade 40 Type 1	40	275	52 min.	360 min.
	ASTM A1011 SS	Grade 30	30	205	49 min.	340 min.
		Grade 33	33	230	52 min.	360 min.
		Grade 36 Type 1	36	250	53 min.	365 min.
		Grade 40	40	275	55 min.	380 min.
		Grade 45	45	310	60 min.	410 min.
	<u>ASTM A1018 SS</u>	<u>Grade 30</u>	<u>30</u>	<u>205</u>	<u>49 min.</u>	<u>340 min.</u>
		<u>Grade 33</u>	<u>33</u>	<u>230</u>	<u>52 min.</u>	<u>360 min.</u>
		<u>Grade 36</u>	<u>36</u>	<u>250</u>	<u>53 min.</u>	<u>365 min.</u>
		<u>Grade 40</u>	<u>40</u>	<u>275</u>	<u>55 min.</u>	<u>380 min.</u>
	API 5L	Grade B	35	241	60	414
		Grade X42	42	290	60	414
	ABS	Grades A, B, D, CS, DS	34	235	58–75	400–520
		Grade E ^b	34	235	58–75	400–520

Figura 5.5 Metales base aprobados para soldadura por la AWS D1.1

Fuente: (AWS, 2015)

G r o u p	Steel Specification Requirements					
	Steel Specification	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Range		
		ksi	MPa	ksi	MPa	
II	ASTM A36	(>3/4 in [20 mm])	36	250	58–80	400–550
	ASTM A131	Grades AH32, DH32, EH32	46	315	64–85	440–590
		Grades AH36, DH36, EH36	51	355	71–90	490–620
	ASTM A441		40–50	275–345	60–70	415–485
	ASTM A501	Grade B	50	345	70 min.	485 min.
	ASTM A516	Grade 65	35	240	65–85	450–585
		Grade 70	38	260	70–90	485–620
	ASTM A529	Grade 50	50	345	70–100	485–690
		Grade 55	55	380	70–100	485–690
	ASTM A537	Class 1	45–50	310–345	65–90	450–620
	ASTM A572	Grade 42	42	290	60 min.	415 min.
		Grade 50	50	345	65 min.	450 min.
		Grade 55	55	380	70 min.	485 min.
	ASTM A588 ^b	(4 in [100 mm] and under)	50	345	70 min.	485 min.
	ASTM A595	Grade A	55	380	65 min.	450 min.
		Grades B and C	60	410	70 min.	480 min.
	ASTM A606 ^b		45–50	310–340	65 min.	450 min.
	ASTM A618	Grades Ib, II, III	46–50	315–345	65 min.	450 min.
	ASTM A633	Grade A	42	290	63–83	430–570
		Grades C, D (2-1/2 in [65 mm] and under)	50	345	70–90	485–620
	ASTM A709	Grade 36 (>3/4 in [20 mm])	36	250	58–80	400–550
		Grade 50	50	345	65 min.	450 min.
		Grade 50W ^b	50	345	70 min.	485 min.
		Grade 50S	50–65	345–450	65 min.	450 min.
		Grade HPS 50W ^b	50	345	70 min.	485 min.
	ASTM A710	Grade A, Class 2 (>2 in [50 mm])	50–55	345–380	60–65	415–450
ASTM A808	(2-1/2 in [65 mm] and under)	42	290	60 min.	415 min.	
ASTM A913	Grade 50	50	345	65 min.	450 min.	
ASTM A992		50–65	345–450	65 min.	450 min.	

Figura 5.6 Metales base aprobados para soldadura por la AWS D1.1

Fuente: (AWS, 2015)

Base Metal Group	AWS Electrode Specification	SMAW		SAW	
		A5.1, Carbon Steel	A5.5 ^a , Low-Alloy Steel	A5.17, Carbon Steel	A5.23 ^c , Low-Alloy Steel
I	AWS Electrode Classification	E60XX	E70XX-X	F6XX-EXXX	F7XX-EXXX-XX
		E70XX		F6XX-ECXXX F7XX-EXXX F7XX-ECXXX	F7XX-ECXXX-XX
II	AWS Electrode Classification	E7015	E7015-X	F7XX-EXXX	F7XX-EXXX-XX
		E7016	E7016-X	F7XX-ECXXX	F7XX-ECXXX-XX
		E7018	E7018-X		
		E7028			
III	AWS Electrode Classification	N/A	E8015-X E8016-X E8018-X	N/A	F8XX-EXXX-XX F8XX-ECXXX-XX
			E9015-X	N/A	F9XX-EXXX-XX
			E9016-X E9018-X E9018M		F9XX-ECXXX-XX

Figura 5.7 Metal de Aporte por la AWS D1.1

Fuente: (AWS, 2015)

Base Metal Thickness (T) ^a		Minimum Size of Fillet Weld ^b	
in	mm	in	mm
$T \leq 1/4$	$T \leq 6$	$1/8\text{E}$	3E
$1/4 < T \leq 1/2$	$6 < T \leq 12$	$3/16$	5
$1/2 < T \leq 3/4$	$12 < T \leq 20$	$1/4$	6
$3/4 < T$	$20 < T$	$5/16$	8

Figura 5.8 Tamaño mínimo de Soldadura de Filete (AWS D1.1)

Fuente: (AWS, 2015)

C a t e g o r y	Steel Specification	Welding Process	Thickness of Thickest Part at Point of Welding		Minimum Preheat and Interpass Temperature	
			in	mm	°F	°C
A	ASTM A36	SMAW with other than low- hydrogen electrodes	1/8 to 3/4 incl.	3 to 20 incl.	32*	0*
	ASTM A53 Grade B					
	ASTM A106 Grade B					
	ASTM A131 Grades A, B, CS, D, DS, E					
	ASTM A139 Grade B					
	ASTM A381 Grade Y35					
	ASTM A500 Grade A					
	ASTM A500 Grade B					
	ASTM A500 Grade C					
	ASTM A501 Grade A					
	ASTM A516					
	ASTM A524 Grades I & II					
	ASTM A573 Grade 65					
	ASTM A709 Grade 36					
	ASTM A1008 SS Grade 30					
	ASTM A1008 SS Grade 33 Type 1					
	ASTM A1008 SS Grade 40 Type 1					
ASTM A1011 SS Grade 30						
ASTM A1011 SS Grade 33						
ASTM A1011 SS Grade 36 Type 1						
ASTM A1011 SS Grade 40						
ASTM A1011 SS Grade 45						
ASTM A1011 SS Grade 50						
ASTM A1011 SS Grade 55						
ASTM A1018 SS Grade 30						
ASTM A1018 SS Grade 33						
ASTM A1018 SS Grade 36						
ASTM A1018 SS Grade 40						
API 5L Grade B						
API 5L Grade X42						
ABS Grades A, B, D, CS, DS						
ABS Grade E						
B	ASTM A36	SMAW with low- hydrogen electrodes, SAW, GMAW, FCAW	1/8 to 3/4 incl.	3 to 20 incl.	32*	0*
	ASTM A53 Grade B					
	ASTM A106 Grade B					
	ASTM A131 Grades A, B, CS, D, DS, E					
	ASTM A131 AH 32 & 36					
	ASTM A131 DH 32 & 36					
	ASTM A131 EH 32 & 36					
	ASTM A139 Grade B					
	ASTM A381 Grade Y35					
	ASTM A441					
	ASTM A500 Grade A					
ASTM A500 Grade B						
ASTM A500 Grade C						
ASTM A501 Grades A and B						
ASTM A516 Grades 55 & 60						
ASTM A516 65 & 70						
ASTM A524 Grades I & II						
ASTM A529 Grades 50 & 55						

Figura 5.9 Temperatura Mínima de Pre calentamiento por la AWS D1.1

Fuente: (AWS, 2015)

C a t e g o r y	Steel Specification	Welding Process	Thickness of Thickest Part at Point of Welding		Minimum Preheat and Interpass Temperature		
			in	mm	°F	°C	
B (Cont'd)	ASTM A537	Classes 1 & 2					
	ASTM A572	Grades 42, 50, 55					
	ASTM A573	Grade 65					
	ASTM A588						
	ASTM A595	Grades A, B, C					
	ASTM A606						
	ASTM A618	Grades Ib, II, III					
	ASTM A633	Grades A, B Grades C, D					
	ASTM A709	Grades 36, 50, 50S, 50W, HPS 50W					
	ASTM A710	Grade A, Class 2 (>2 in [50 mm])					
	ASTM A808						
	ASTM A913 ^a	Grade 50					
	ASTM A992						
	ASTM A1008 HSLAS	Grade 45 Class 1 Grade 45 Class 2 Grade 50 Class 1 Grade 50 Class 2 Grade 55 Class 1 Grade 55 Class 2		1/8 to 3/4 incl.	3 to 20 incl.	32 ^a	0 ^a
	ASTM A1008 HSLAS-F	Grade 50	SMAW with low- hydrogen electrodes, SAW, GMAW, FCAW	Over 3/4 thru 1-1/2 incl.	Over 20 thru 38 incl.	50	10
	ASTM A1011 HSLAS	Grade 45 Class 1 Grade 45 Class 2 Grade 50 Class 1 Grade 50 Class 2 Grade 55 Class 1 Grade 55 Class 2		Over 1-1/2 thru 2-1/2 incl.	Over 38 thru 65 incl.	150	65
	ASTM A1011 HSLAS-F	Grade 50					
	ASTM A1018 HSLAS	Grade 45 Class 1 Grade 45 Class 2 Grade 50 Class 1 Grade 50 Class 2 Grade 55 Class 1 Grade 55 Class 2		Over 2-1/2	Over 65	225	110
	ASTM A1018 HSLAS-F	Grade 50					
	ASTM A1018 SS	Grade 30 Grade 33 Grade 36 Grade 40					
	ASTM 1085						
	API 5L	Grade B Grade X42					
	API Spec. 2H	Grades 42, 50					
	API 2MT1	Grade 50					
	API 2W	Grades 42, 50, 50T					
	API 2Y	Grades 42, 50, 50T					
	ABS	Grades AH 32 & 36 Grades DH 32 & 36 Grades EH 32 & 36					

Figura 5.10 Temperatura Mínima de Pre calentamiento por la AWS D1.1

Fuente: (AWS, 2015)

Apéndice F

Diagrama de Moody

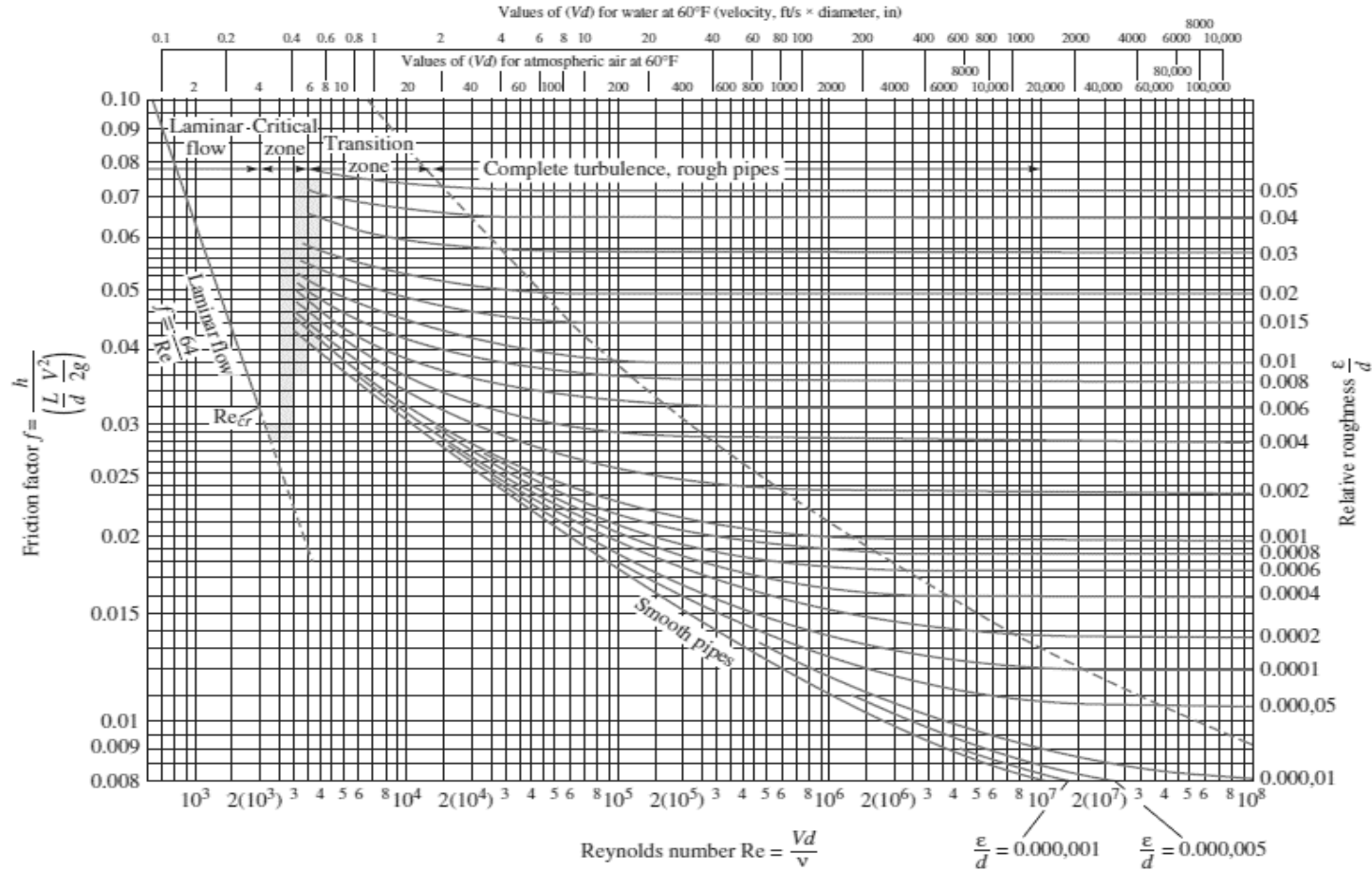


Figura 5.11 Diagrama de Moody

Fuente: (White, 2011)

Apéndice G
Características Dimensionales y Diagrama Capacidad – Carga
Bombas HIDROSTAL

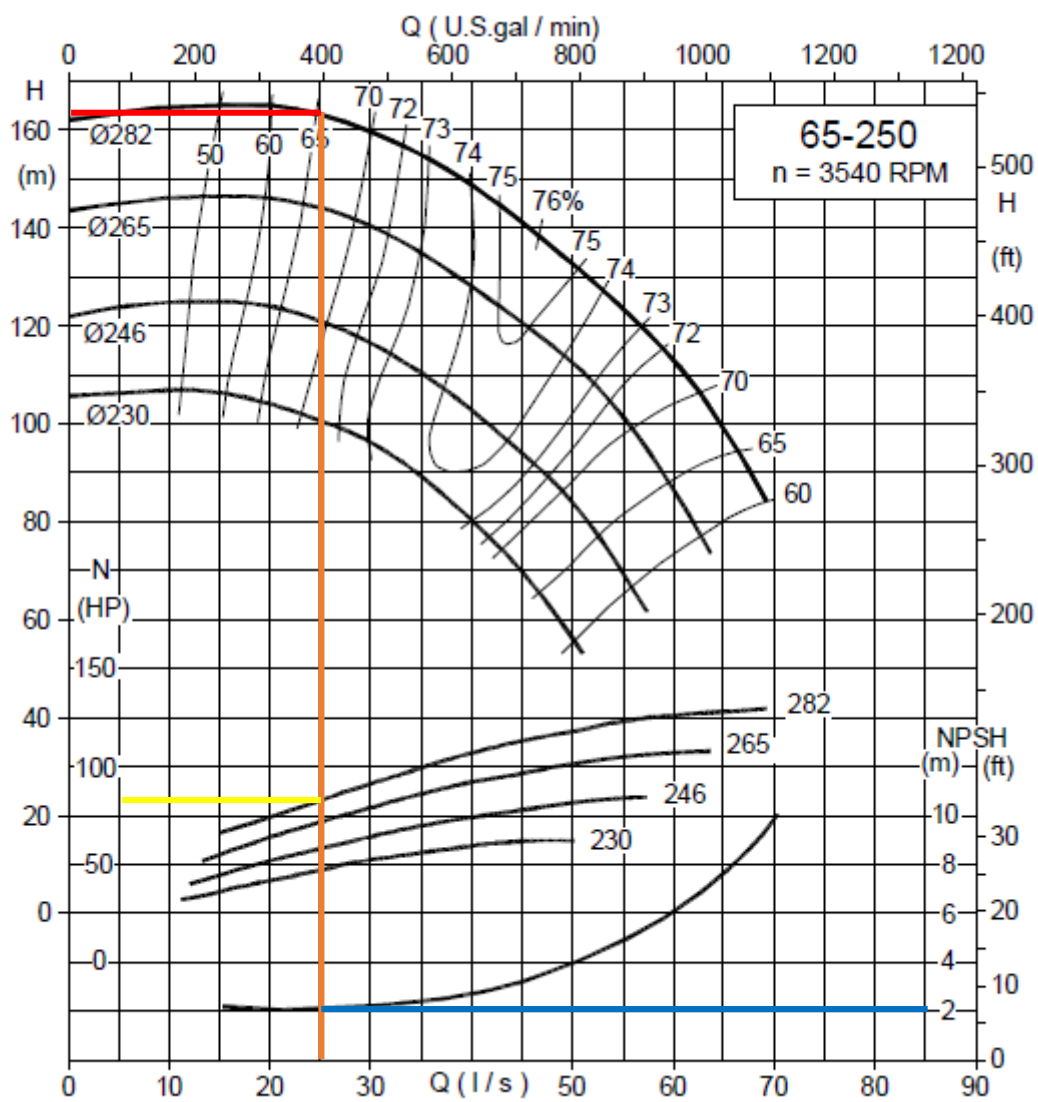


Figura 5.12 Diagrama Carga - Capacidad Bomba Hidrostral 65-250 (3450 RPM)

Fuente: (Hidrostal S.A., 2012)

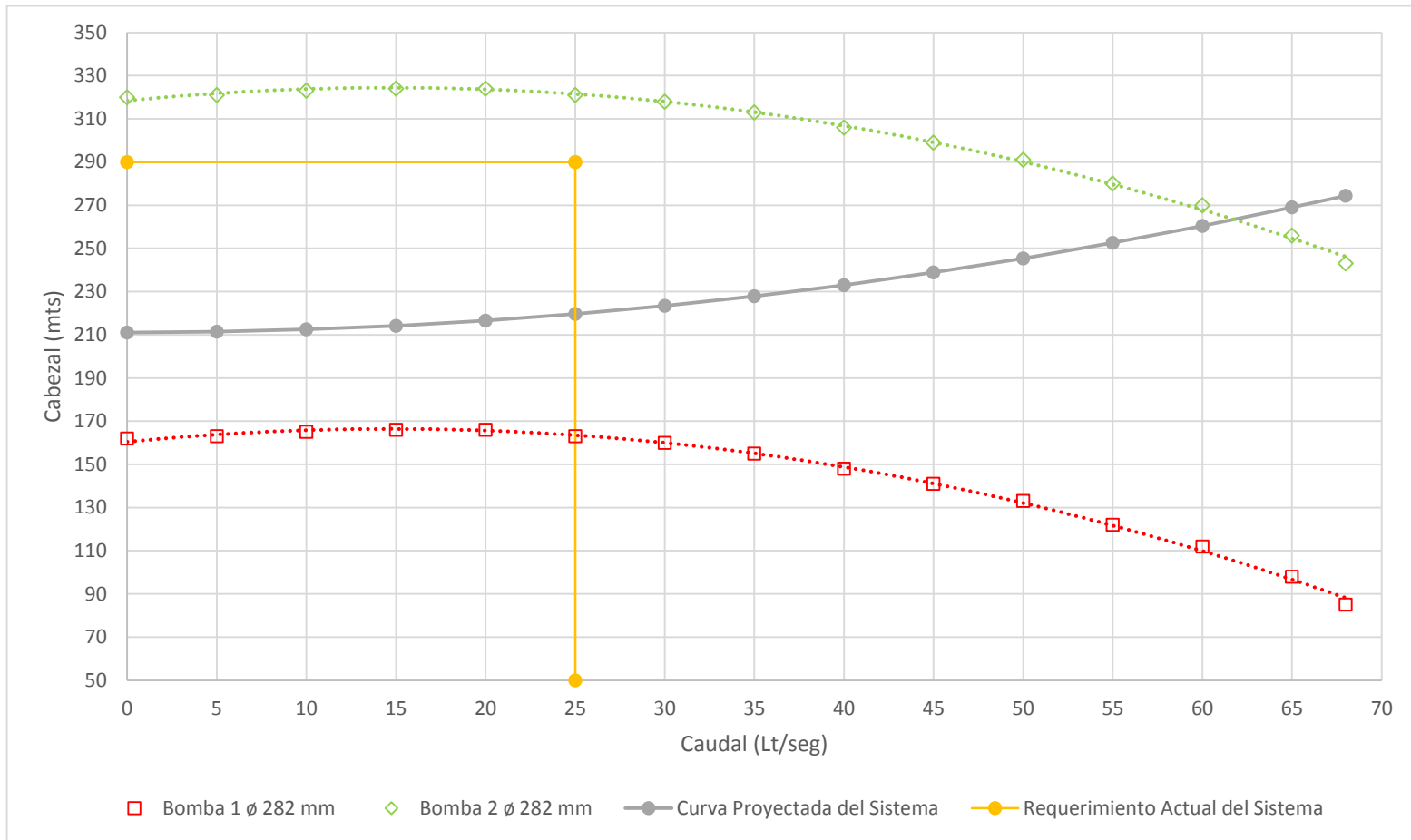


Figura 5.13 Diagrama de Bombas en Serie y Parámetros de Operación

Fuente: Elaboración Propia

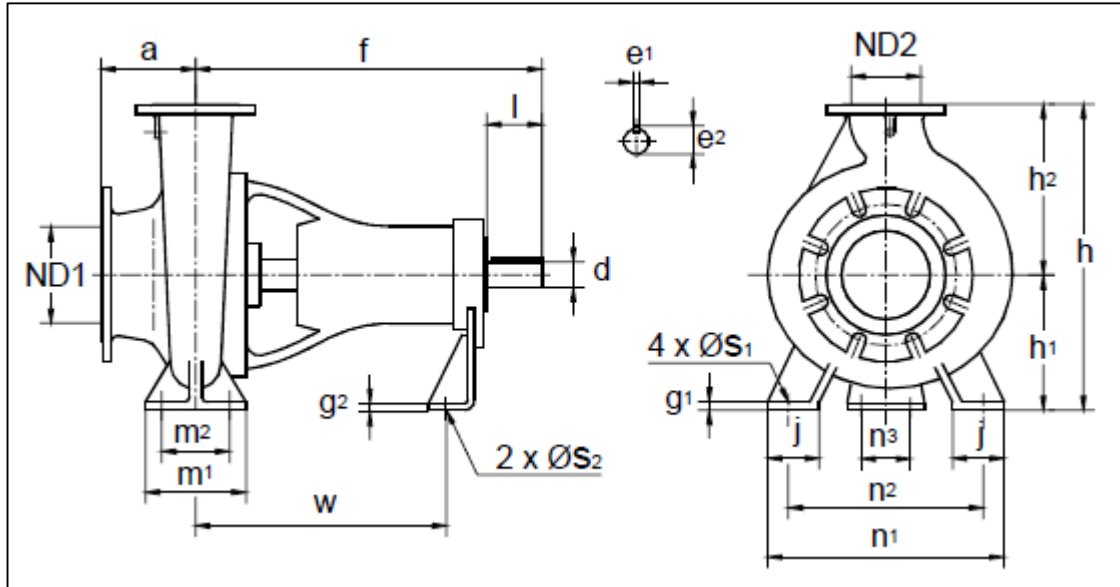


Figura 5.14 Esquema dimensional de Bomba Centrífuga Hidrostral

Fuente: (Hidrostral S.A., 2012)

MODELO	ND1	ND2	a	f	g1	g2	h	h1	h2	j	m1	m2	n1	n2	n3	es1	es2	w	EJE				PEBO (kg)
																			d	e1	e2	l	
32-125	50	32	80	385	13	3	252	112	140	50	100	70	190	140	110	15	14	285	24	8	27	50	33
32-160					10		292	132	160				240	190									31
32-160L					13		252	112	140				210	160									
40-125	65	40	100	500	13	3	252	112	140	50	100	70	210	160	110	15	14	285	24	8	27	50	
40-160					10		292	132	160				240	190									
40-200					12		340	160	180				265	212									41
40-250	80	50	125	500	14	3	405	180	225	65	125	95	320	250	110	15	14	370	32	10	35	80	75
50-125					10		292	132	160	240	190												
50-160					12		340	160	180	265	212	35											
50-200	100	65	150	500	10	3	360	160	200	65	125	95	280	212	110	14	285	24	8	27	50	42	
50-250					12		405	180	225	320	250												
65-160					10		360	160	200	280	212	61											
65-200	100	85	175	500	13	3	405	180	225	65	125	95	320	250	110	15	14	370	32	10	35	80	69
65-250					10		450	200	250	360	280	93											
65-315					15		530	225	280	400	315	108											

Figura 5.15 Dimensiones de Bombas Hidrostral

Fuente: (Hidrostral S.A., 2012)



DESCRIPCION No. **HR09R**

OFERTA No. JAT-01503-17
ITEM No. 1

**BOMBA CENTRÍFUGA
TABLA TÉCNICA**

MODELO DE EQUIPO ELECTROBOMBA 65-250-9HE-E500-AC-5R-1-80TG-125-36/281 TER

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE				CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA BOMBA	
Líquido a bombear:	AGUA	NPSH disponible (m):	5.0	Caudal (lps):	25.0
Temperatura fluido (°C):	20.0	Porcentaje de sólidos (%):	0.0	A.D.T. (m):	160.0
Gravedad específica:	1.0	Tamaño sólidos (mm):	0.0	Eficiencia (%):	65.0
Nivel de pH:	7.0	Caudal (lps):	25.0	Potencia absorbida (Hp):	82.1
Viscosidad (cP):	1.0	A.D.T. (m):	160.0	Potencia absorbida máxima (Hp):	125.0
Temperatura ambiente (°C):	25.0			Velocidad de operación (rpm):	3,540
Altitud de operación (msnm):	500			NPSH requerido (m):	2.0

DATOS BOMBA		MOTOR ELÉCTRICO	
Marca:	Hidrostral	Marca:	Weg
Tipo:	Centrífuga	Tipo:	IE2 - Alta eficiencia
Montaje:	Horizontal	Norma de construcción:	IEC
Tipo de impulsor:	Cerrado	Grado de protección:	IPW55
Diámetro de impulsor:	281 mm	Aislamiento:	F
Pasaje de sólidos máximo:	-	Frame:	280 S/M
Lubricación soporte:	Grasa	Factor de servicio:	1.15
Diámetro de succión:	100 mm	Potencia nominal (Hp):	125
Diámetro de descarga:	65 mm	Potencia corregida (Hp):	-
Tipo de conexiones:	Brida	Velocidad nominal (rpm):	3,575
Tipo de bridas:	DIS 2858	Voltaje:	220 V
		Fases:	3
		Frecuencia (Hz):	60
		Tipo de arranque:	Estrella-Triángulo

Figura 5.16 Tabla Técnica Electro-Bomba Hidrostral

Fuente: (Hidrostral S.A., 2012)

Apéndice H
Especificaciones de Brida Norma DN1092-1

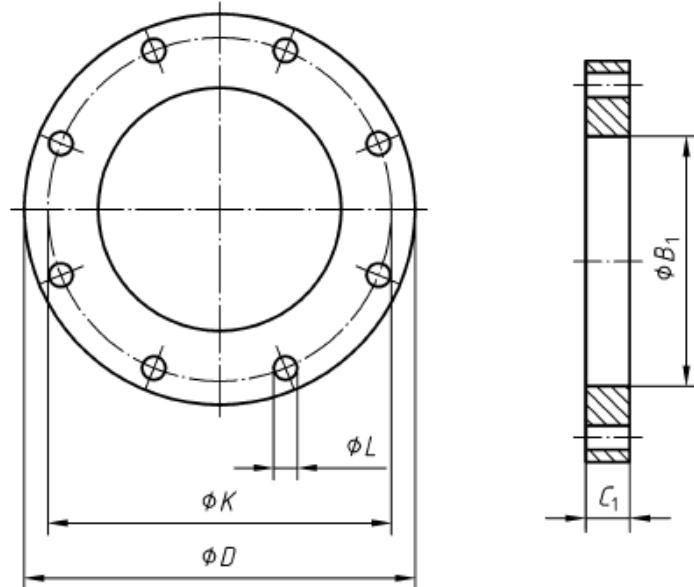


Figura 5.17 Esquema Dimensional de Brida Plana Soldable

Fuente: (DIN, 2002)

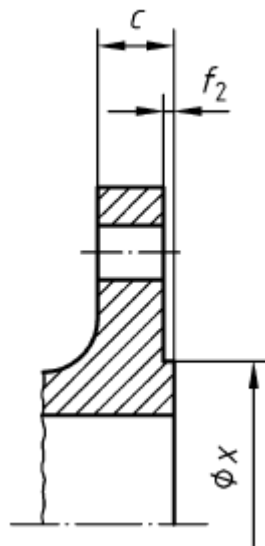


Figura 5.18 Esquema dimensional de cara elevada de brida plana tipo Pygot

Fuente: (DIN, 2002)

DN	Mating dimensions					Outside diameter of neck <i>A</i>	Bore diameters			Flange thickness				Chamfer <i>E</i>	Collar thickness			Diameter of shoulder <i>G_{max}</i>	Length					Neck diameters			Corner radii <i>R₁</i>	Wall thickness (see 5.8.1) <i>S</i>			
	Outside diameter <i>D</i>	Diameter of bolt circle <i>K</i>	Diameter of bolt hole <i>L</i>	Bolting			<i>B₁</i>	<i>B₂</i>	<i>B₃</i>	<i>C₁</i>	<i>C₂</i>	<i>C₃</i>	<i>C₄</i>		<i>F</i>				<i>G_{max}</i>	<i>H₁</i>	<i>H₂</i>	<i>H₃</i>	<i>H₄</i>	<i>H₅</i>	<i>N₁</i>	<i>N₂</i>			<i>N₃</i>		
	Number		Size		Flange type																										
	01, 02, 04, 05, 11, 12, 13, 21						11 21 * 34 ° 35 - 37	01 12 32	02	04	01 02 04	11 12 13	21	05	02 04	32 34	35	36	37	05	12 13	11 34°	11 34°	35	36	37	11 34°	12 13	21	11 12 13 21, 34	34	11, 35 to 37
10	90	60	14	4	M12	17,2	18,0	21	31	14	16	16	16	3	12	5	2	2,5	—	22	35	6	35	35	7	28	30	28	4	1,8	
15	95	65	14	4	M12	21,3	22,0	25	35	14	16	16	16	3	12	5	2	2,5	—	22	38	6	38	38	7	32	35	32	4	2,0	
20	105	75	14	4	M12	26,9	27,5	31	42	16	18	18	18	4	14	6	2,5	3	—	28	40	6	40	40	8	40	45	40	4	2,3	
25	115	85	14	4	M12	33,7	34,5	38	49	16	18	18	18	4	14	7	2,5	3	—	28	40	6	40	40	10	46	52	50	4	2,6	
32	140	100	18	4	M16	42,4	43,5	47	59	18	18	18	18	5	14	8	3	3	—	30	42	6	42	42	12	56	60	60	6	2,6	
40	150	110	18	4	M16	48,3	49,5	53	67	18	18	18	18	5	14	8	3	3	—	32	45	7	45	45	15	64	70	70	6	2,6	
50	165	125	18	4	M16	60,3	61,5	65	77	20	18	18	18	5	16	8	3	4	—	28	45	8	45	45	20	74	84	84	6	2,9	
65	185	145	18	8	M16	76,1	77,5	81	96	20	18	18	18	6	16	8	3	4	55	32	45	10	45	45	20	92	104	104	6	2,9	
80	200	160	18	8	M16	88,9	90,5	94	108	20	20	20	20	6	16	10	3	4	70	34	50	10	50	50	25	105	118	120	6	3,2	
100	220	180	18	8	M16	114,3	116,0	120	134	22	20	20	20	6	18	10	4	4	90	40	52	12	52	52	25	131	140	140	8	3,6	
125	250	210	18	8	M16	139,7	141,5	145	162	22	22	22	22	6	18	10	4	4	115	44	55	12	55	55	25	156	168	170	8	4,0	
150	285	240	22	8	M20	168,3	170,5	174	188	24	22	22	22	6	20	10	4	4	140	44	55	12	55	55	25	184	195	190	10	4,5	
200	340	295	22	8	M20	219,1	221,5	226	240	24	24	24	24	6	20	11	5	4	190	44	62	16	62	62	30	234	246	246	10	6,3	
250	395	350	22	12	M20	273,0	276,5	281	294	26	26	26	26	8	22	12	8	—	235	46	68	16	68	68	—	292	298	298	12	6,3	
300	445	400	22	12	M20	323,9	327,5	333	348	26	26	26	26	8	22	12	8	—	285	46	68	16	68	68	—	342	350	348	12	7,1	
350	505	460	22	16	M20	355,6	359,5	365	400	30	26	26	26	8	22	13	8	—	330	53	68	16	68	68	—	385	400	408	12	7,1	
400	565	515	26	16	M24	406,4	411,0	416	450	32	26	26	26	8	24	14	8	—	380	57	72	16	72	72	—	440	456	456	12	7,1	
450	615	565	26	20	M24	457,0	462,0	467	498	36	28	28	28	8	24	15	—	—	425	63	72	16	72	—	—	488	502	502	12	7,1	
500	670	620	26	20	M24	508,0	513,5	519	550	38	28	28	28	8	26	16	—	—	475	67	75	16	75	—	—	542	559	559	12	7,1	
600	780	725	30	20	M27	610,0	616,5	622	650	42	30	34	34	8	26	18	—	—	575	75	82	18	80	—	—	642	658	658	12	—	
700	895	840	30	24	M27	711,0		721	—	50	35			38	8	—	20	—	670	—	85	18	80	—	—	746	—	772	12	—	
800	1 015	950	33	24	M30	813,0		824	—	56	38			48	8	—	20	—	770	—	96	18	90	—	—	850	—	876	12	—	
900	1 115	1 050	33	28	M30	914,0		926	—	62	38			50	8	—	22	—	860	—	99	20	95	—	—	950	—	976	12	—	
1 000	1 230	1 160	36	28	M33	1 016,0		1 028	—	70	44			54	8	—	24	—	960	—	105	20	95	—	—	1 052	—	1 080	16	—	
1 200	1 455	1 380	39	32	M36	1 219,0		1 234	—	83	55			66	8	—	26	—	1 160	—	132	25	115	—	—	1 256	—	1 292	16	—	
1 400	1 675	1 590	42	36	M39	1 422,0			—		65										143	25				1 460	—	1 496	16	—	
1 600	1 915	1 820	48	40	M45	1 626,0			—		75										159	25				1 668	—	1 712	16	—	
1 800	2 115	2 020	48	44	M45	1 829,0			—		85										175	30				1 868	—	1 910	16	—	

See Annex A

Figura 5.19 Dimensiones de Brida PN 10

Fuente: (DIN, 2002)

DN	d_1												f_1	f_2	f_3	f_4	r^b	x	y	z ^b	$\alpha =$	R
	PN 2,5 ^a	PN 6 ^a	PN 10	PN 16	PN 25	PN 40	PN 63	PN 100	PN 160	PN 250	PN 320	PN 400										
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
10	35	35	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	2	4,5	4,0	2,0	24	34	35	23	—	
15	40	40	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45					29	39	40	28	—	
20	50	50	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58					36	50	51	35	41°	2,5
25	60	60	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68					43	57	58	42		
32	70	70	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78					51	65	66	50		
40	80	80	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88					61	75	76	60		
50	90	90	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102					73	87	88	72		
65	110	110	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122					95	109	110	94		
80	128	128	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138					106	120	121	105		
100	148	148	158	158	162	162	162	162	162	162	162	162					129	149	150	128		
125	178	178	188	188	188	188	188	188	188	188	188	188	155	175	176	154						
150	202	202	212	212	218	218	218	218	218	218	218	218	183	203	204	182						
200	258	258	268	268	278	285	285	285	285	285	285	285	239	259	260	238						
250	312	312	320	320	335	345	345	345	345	345	345	345	292	312	313	291						
300	365	365	370	378	395	410	410	410	410	—	—	—	343	363	364	342						
350	415	415	430	438	450	465	465	465	—	—	—	—	395	421	422	394						
400	465	465	482	490	505	535	535	535	—	—	—	—	447	473	474	446						
450	520	520	532	550	555	560	560	560	—	—	—	—	497	523	524	496						
500	570	570	585	610	615	615	615	615	—	—	—	—	549	575	576	548						
600	670	670	685	725	720	735	735	—	—	—	—	—	649	675	676	648						
700	775	775	800	795	820	840	840	—	—	—	—	—	751	777	778	750						
800	880	880	905	900	930	960	960	—	—	—	—	—	856	882	883	855						
900	980	980	1 005	1 000	1 030	1 070	1 070	—	—	—	—	—	961	987	988	960						
1 000	1 080	1 080	1 110	1 115	1 140	1 180	1 180	—	—	—	—	—	1 062	1 092	1 094	1 060						
1 200	1 280	1 295	1 330	1 330	1 350	1 380	1 380	—	—	—	—	—	1 262	1 292	1 294	1 260						
1 400	1 480	1 510	1 535	1 530	1 560	1 600	—	—	—	—	—	—	1 462	1 492	1 494	1 460						
1 600	1 690	1 710	1 760	1 750	1 780	1 815	—	—	—	—	—	—	1 662	1 692	1 694	1 660						
1 800	1 890	1 920	1 960	1 950	1 985	—	—	—	—	—	—	—	1 862	1 892	1 894	1 860						
2 000	2 090	2 125	2 170	2 150	2 210	—	—	—	—	—	—	—	2 062	2 092	2 094	2 060						
2 200	2 295	2 335	2 370	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
2 400	2 495	2 545	2 570	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
2 600	2 695	2 750	2 780	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
2 800	2 910	2 960	3 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
3 000	3 110	3 160	3 210	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			

Figura 5.20 Tabla de Dimensiones con Revestimiento de brida

Fuente: (DIN, 2002)

Apéndice I

Especificaciones de Brida ASTM B16.5

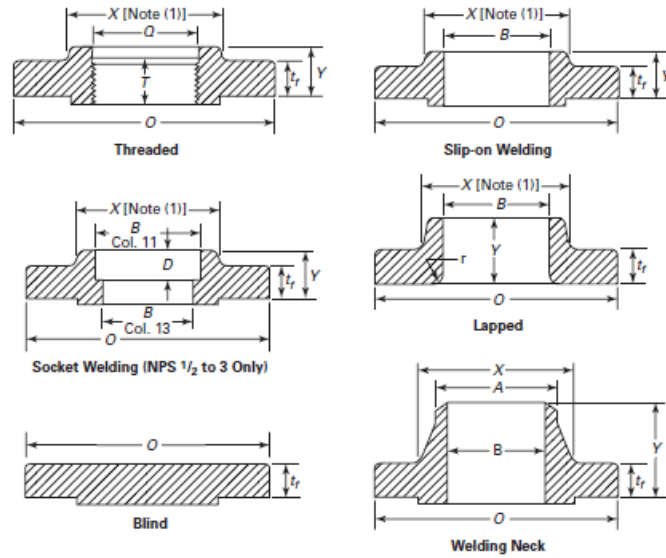


Figura 5.21 Esquemas de Brida Clase 300

Fuente: (ASME, 2015)

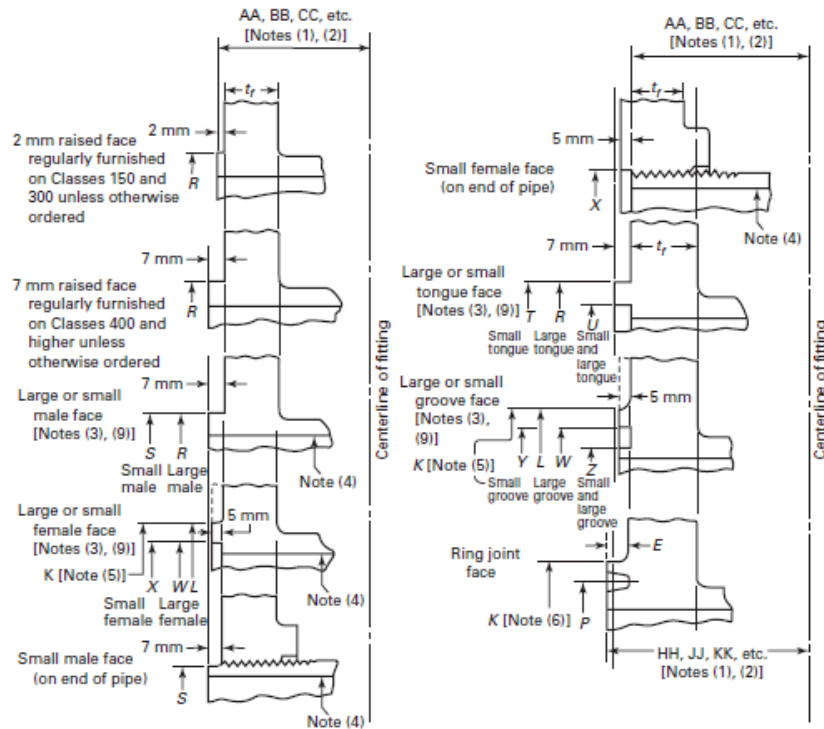
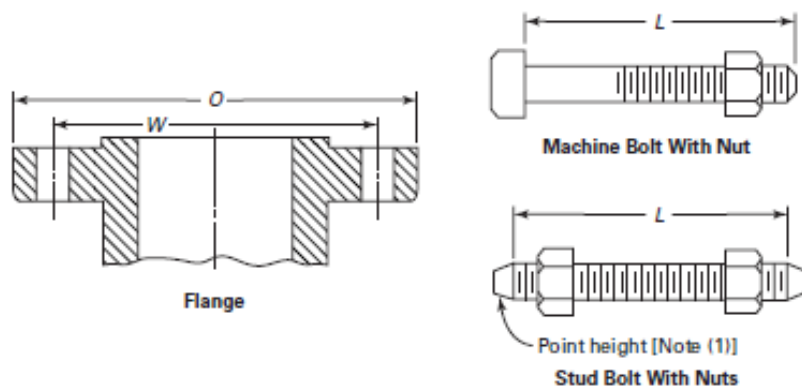


Figura 5.22 Esquemas de espesores de resalto de brida

Fuente: (ASME, 2015)



1	2	3	4	5	6	7	8	9						
									Drilling [Notes (2), (3)]			Length of Bolts, L [Notes (1), (4)]		
									Outside Diameter of Flange, O	Diameter of Bolt Circle, W	Diameter of Bolt Holes, in.	Number of Bolts	Diameter of Bolts, in.	2 mm Raised Face
1/2	95	66.7	3/8	4	1/2	65	75	55						
3/4	115	82.6	3/8	4	3/4	75	90	65						
1	125	88.9	3/8	4	3/4	75	90	65						
1 1/4	135	98.4	3/4	4	1/2	85	95	70						
1 1/2	155	114.3	3/4	4	3/4	90	100	75						
2	165	127.0	3/4	8	5/8	90	100	75						
2 1/2	190	149.2	7/8	8	3/4	100	115	85						
3	210	168.3	7/8	8	3/4	110	120	90						
3 1/2	230	184.2	7/8	8	3/4	110	125	95						
4	255	200.0	7/8	8	3/4	115	125	95						
5	280	235.0	7/8	8	3/4	120	135	110						
6	320	269.9	7/8	12	3/4	120	140	110						
8	380	330.2	1	12	7/8	140	150	120						
10	445	387.4	1 1/8	16	1	160	170	140						
12	520	450.8	1 1/4	16	1 1/8	170	185	145						
14	585	514.4	1 3/8	20	1 1/8	180	190	160						
16	650	571.5	1 3/8	20	1 1/4	190	205	165						
18	710	628.6	1 3/8	24	1 1/4	195	210	170						
20	775	685.8	1 3/8	24	1 3/4	205	220	185						
24	915	812.8	1 3/8	24	1 1/2	230	255	205						

Figura 5.23 Plantillas para perforaciones de Brida Clase 300

Fuente: (ASME, 2015)

1	2	3	4	5	6	7			10	11		12	13	14	15	16
Nominal Pipe Size NPS	Outside Diameter of Flange, <i>O</i>	Thickness of Flange Min., <i>t_f</i> [Notes (2), (3)]	Thickness Lap Joint, Min., <i>t_f</i>	Diameter of Hub, <i>X</i>	Hub Diameter Beginning of Chamfer Welding, Neck, <i>A</i> [Note (4)]	Length Through Hub			Thread Length Threaded Min., <i>T</i> [Note (5)]	Bore		Welding Neck/ Socket Welding, <i>B</i> [Note (6)]	Corner Radius of Bore of Lapped Flange and Pipe, <i>r</i>	Counter- bore Threaded Flange, Min., <i>Q</i>	Depth of Socket, <i>D</i>	
						Threaded/ Slip-on/ Socket Welding, <i>Y</i>	Lapped, <i>Y</i>	Welding Neck, <i>Y</i>		Slip- on/ Socket Welding Min., <i>B</i>	Lapped Min., <i>B</i>					
1/2	95	12.7	14.3	38	21.3	21	22	51	16	22.2	22.9	15.8	3	23.6	10	
3/4	115	14.3	15.9	48	26.7	24	25	56	16	27.7	28.2	20.9	3	29.0	11	
1	125	15.9	17.5	54	33.4	25	27	60	18	34.5	34.9	26.6	3	35.8	13	
1 1/4	135	17.5	19.1	64	42.2	25	27	64	21	43.2	43.7	35.1	5	44.4	14	
1 1/2	155	19.1	20.7	70	48.3	29	30	67	23	49.5	50.0	40.9	6	50.3	16	
2	165	20.7	22.3	84	60.3	32	33	68	29	61.9	62.5	52.5	8	63.5	17	
2 1/2	190	23.9	25.4	100	73.0	37	38	75	32	74.6	75.4	62.7	8	76.2	19	
3	210	27.0	28.6	117	88.9	41	43	78	32	90.7	91.4	77.9	10	92.2	21	
3 1/2	230	28.6	30.2	133	101.6	43	44	79	37	103.4	104.1	90.1	10	104.9	...	
4	255	30.2	31.8	146	114.3	46	48	84	37	116.1	116.8	102.3	11	117.6	...	
5	280	33.4	35.0	178	141.3	49	51	97	43	143.8	144.4	128.2	11	144.4	...	
6	320	35.0	36.6	206	168.3	51	52	97	47	170.7	171.4	154.1	13	171.4	...	
8	380	39.7	41.3	260	219.1	60	62	110	51	221.5	222.2	202.7	13	222.2	...	
10	445	46.1	47.7	321	273.0	65	95	116	56	276.2	277.4	254.6	13	276.2	...	
12	520	49.3	50.8	375	323.8	71	102	129	61	327.0	328.2	304.8	13	328.6	...	
14	585	52.4	54.0	425	355.6	75	111	141	64	359.2	360.2	To	13	360.4	...	
16	650	55.6	57.2	483	406.4	81	121	144	69	410.5	411.2	be	13	411.2	...	
18	710	58.8	60.4	533	457.0	87	130	157	70	461.8	462.3	specified	13	462.0	...	
20	775	62.0	63.5	587	508.0	94	140	160	74	513.1	514.4	by	13	512.8	...	
24	915	68.3	69.9	702	610.0	105	152	167	83	616.0	616.0	Pur- chaser	13	614.4	...	

Figura 5.24 Dimensiones de Brida Clase 300

Fuente: (ASME, 2015)

Table 4 Dimensions of Facings (Other Than Ring Joints, All Pressure Rating Classes)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	1
Nominal Size, NPS	Outside Diameter		Small Tongue, T	Inside Diameter of Large and Small Tongue, U	Inside Diameter of Small Tongue [Note (1)]	Outside Diameter			Inside Diameter of Large and Small Groove, Z	Height		Depth of Groove or Female [Notes (1), (7)]	Minimum Outside Diameter of Raised Portion [Notes (2), (3)]		Nominal Size, NPS
	Raised Face Large Male and Large Tongue, R	Small Male, S [Note (1)]				Large Female and Large Groove, W	Small Female, X [Note (1)]	Small Groove, Y		Raised Face [Notes (4), (5)]	Large and Small Tongue [Notes (4), (6)]		Small Female and Groove, K	Large Female and Groove, L	
1/2	34.9	18.3	35.1	25.4	...	36.5	19.9	36.5	23.8	...	...	...	44	46	1/2
3/4	42.9	23.8	42.9	33.3	...	44.4	25.4	44.4	31.8	...	...	...	52	54	3/4
1	50.8	30.2	47.8	38.1	...	52.4	31.8	49.2	36.5	...	...	...	57	62	1
1 1/4	63.5	38.1	57.2	47.6	...	65.1	39.7	58.7	46.0	...	...	...	67	75	1 1/4
1 1/2	73.0	44.4	63.5	54.0	...	74.6	46.0	65.1	52.4	...	...	...	73	84	1 1/2
2	92.1	57.2	82.6	73.0	...	93.7	58.8	84.1	71.4	...	...	...	92	103	2
2 1/2	104.8	68.3	95.2	85.7	...	106.4	69.8	96.8	84.1	...	...	...	105	116	2 1/2
3	127.0	84.1	117.5	108.0	...	128.6	85.7	119.1	106.4	...	...	...	127	138	3
3 1/2	139.7	96.8	130.2	120.6	...	141.3	98.4	131.8	119.1	...	...	...	140	151	3 1/2
4	157.2	109.5	144.5	131.8	...	158.8	111.1	146.0	130.2	...	...	...	157	168	4
5	185.7	136.5	173.0	160.3	...	187.3	138.1	174.6	158.8	...	...	...	186	197	5
6	215.9	161.9	203.2	190.5	...	217.5	163.5	204.8	188.9	...	...	...	216	227	6
8	269.9	212.7	254.0	238.1	...	271.5	214.3	255.6	236.5	...	...	...	270	281	8
10	323.8	266.7	304.8	285.8	...	325.4	268.3	306.4	284.2	...	...	...	324	335	10
12	381.0	317.5	362.0	342.9	...	382.6	319.1	363.5	341.3	...	...	...	381	392	12
14	412.8	349.2	393.7	374.6	...	414.3	350.8	395.3	373.1	...	...	...	413	424	14
16	469.9	400.0	447.5	425.4	...	471.5	401.6	449.3	423.9	...	...	...	470	481	16
18	533.4	450.8	511.2	489.0	...	535.0	452.4	512.8	487.4	...	...	...	533	544	18
20	584.2	501.6	558.8	533.4	...	585.8	503.2	560.4	531.8	...	...	...	584	595	20
24	692.2	603.2	666.8	641.4	...	693.7	604.8	668.3	639.8	...	...	...	692	703	24

Figura 5.25 Dimensiones de resalto de brida

Fuente: (ASME, 2015)

Apéndice J

Simulación

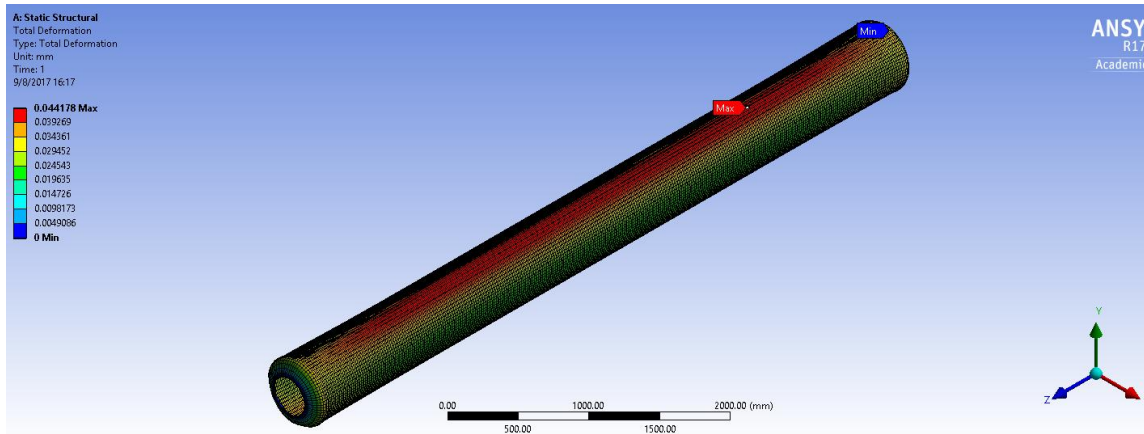


Figura 5.26 Deformación de tubería 12 Pulgadas

Fuente: Elaboración Propia

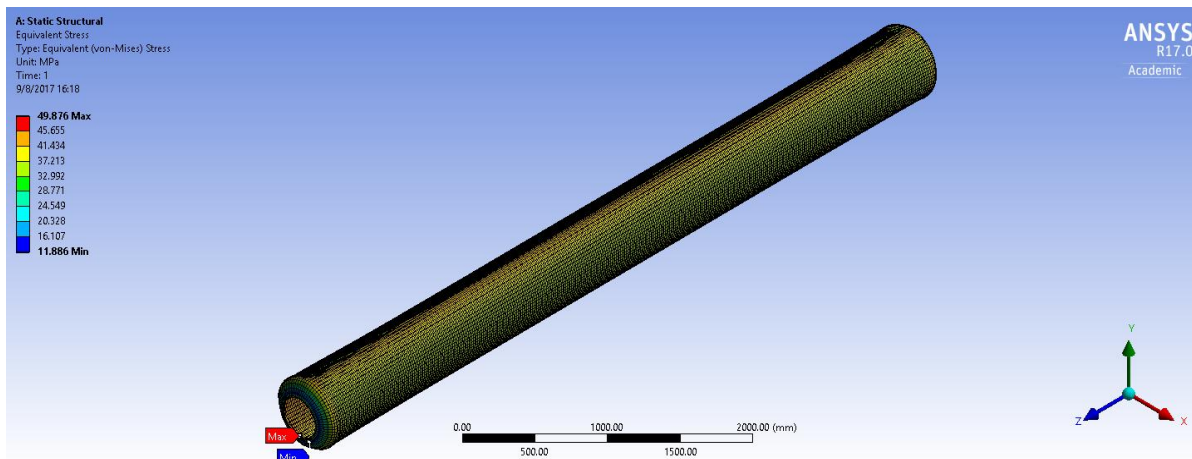


Figura 5.27 Esfuerzo de Von Misses, tubería 12 Pulgadas

Fuente: Elaboración Propia

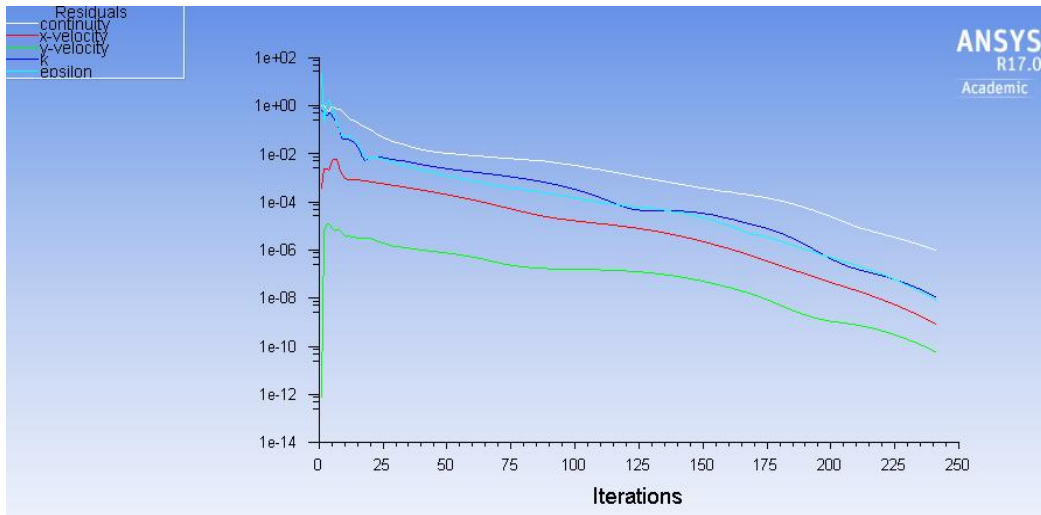


Figura 5.28 Iteraciones de ecuación de turbulencia K-epsilon

Fuente: Elaboración Propia

Se muestran las iteraciones de la ecuación de turbulencia que el programa realiza para que la solución sea convergente y que las variables puedan mostrarse válidas, en el eje de las abscisas se presenta el número de iteraciones en donde la ecuación converge y en el eje de las ordenadas el valor de la variable cuando tiende a cero.

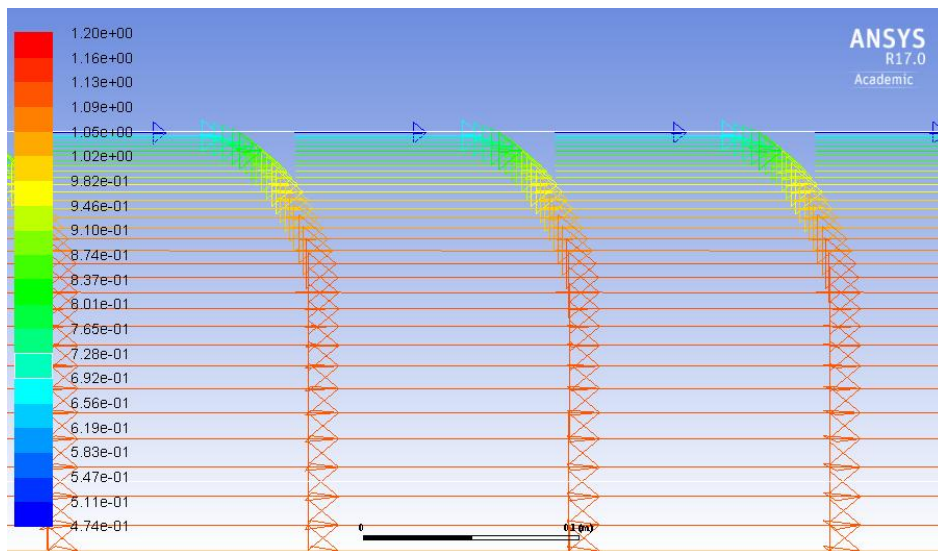


Figura 5.29 Perfil de velocidad de fluido

Fuente: Elaboración Propia

En el perfil de velocidad se puede verificar que pertenece a un régimen turbulento y en las paredes se aprecia una velocidad menor que en el centro de la tubería, en donde se desarrolla la mayor velocidad acorde a los resultados obtenidos.

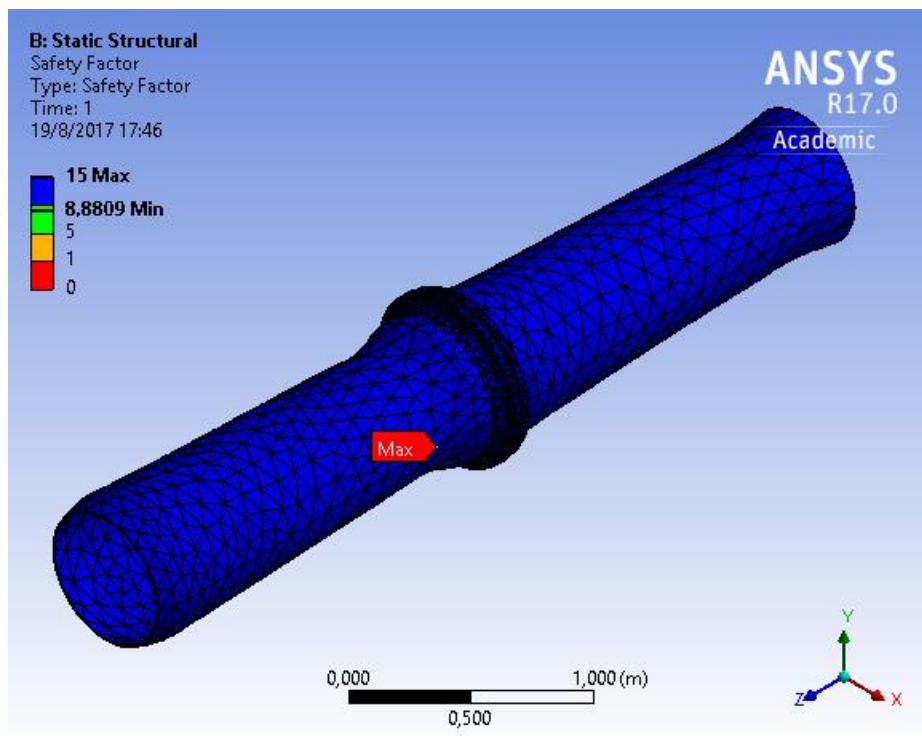


Figura 5.30 Factor de seguridad

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 5.30 se aprecia el factor de seguridad para el cual el sistema soporta los esfuerzos máximos, el valor mínimo resulta igual a 8 lo que conlleva a un diseño aceptable.

Apéndice K
Especificaciones de Planchas Metálicas en el Mercado Nacional

PLANCHAS (PLLC)

FORMATOS (mm)	ESPESOR (mm)
1220 X 2440	1.5 - 12.0
1220 X 6000	2.0 - 12.0
1500 X 6000	3.0 - 12.0
1800 X 6000	4.0 - 12.0
2000 X 6000	10.0 - 15.0
2000 X 12000	6.0 - 25.0
2440 X 6100	8.0 - 100.0
2440 X 12200	6.0 - 50.0

OTROS FORMATOS, BAJO CONSULTA

ESPECIFICACIONES Y NOTAS

MATERIALES:

Calidad del Acero ASTM A36 - A572 GR50

NOTAS:

- Dimensiones en milímetros
- Longitud Estándar de Fabricación 6.0 m
- Otros largos, **bajo consulta**



BOBINAS (BLAC)

FORMATO (mm)	ESPESOR (mm)
A	e
1,000	1.5 - 3.0
1,220	1.5 - 10.0
1,500	3.0 - 10.0

ESPECIFICACIONES Y NOTAS

MATERIALES:

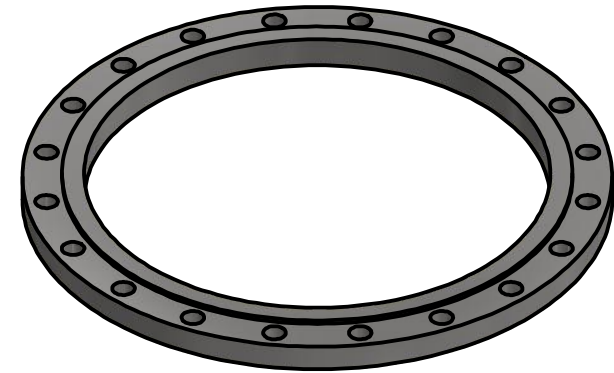
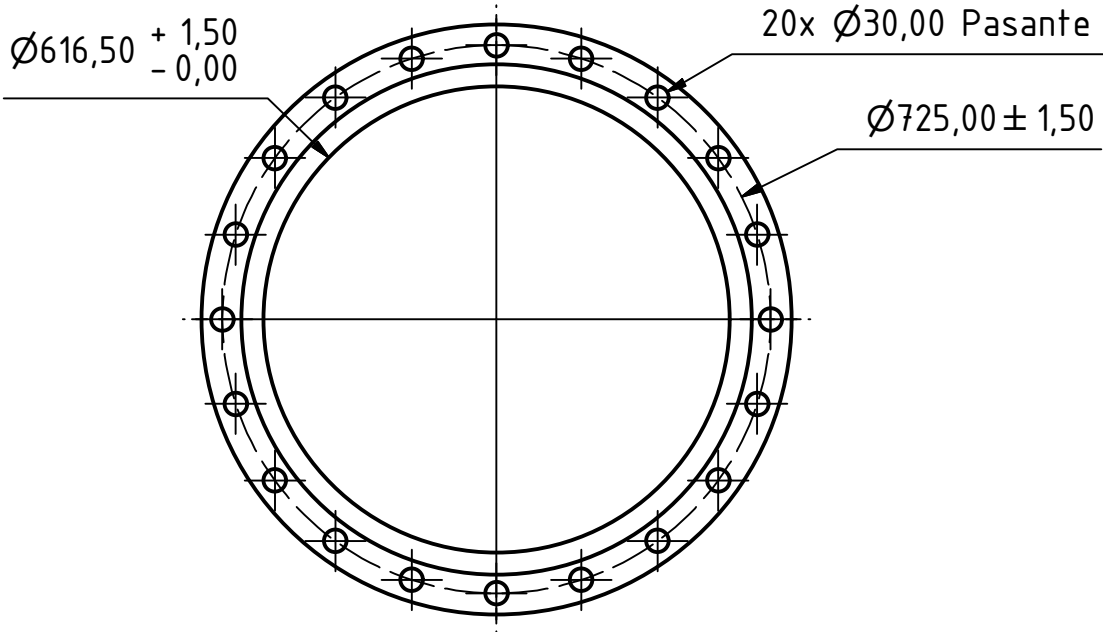
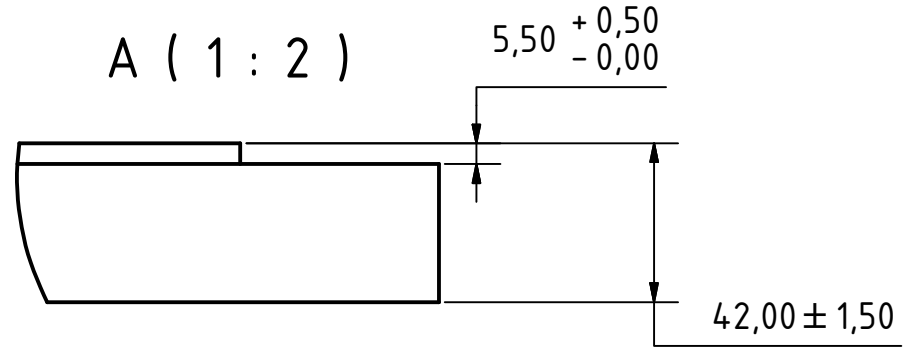
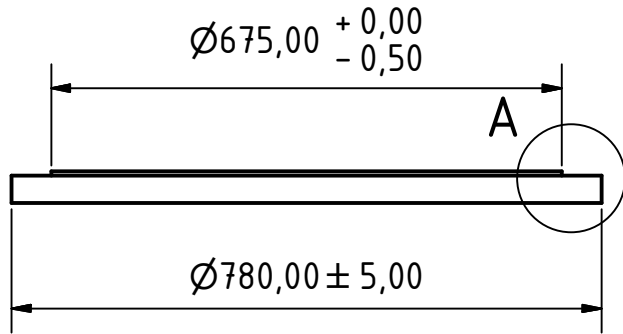
Calidad del Acero ASTM A36 - A572 GR50

NOTAS:

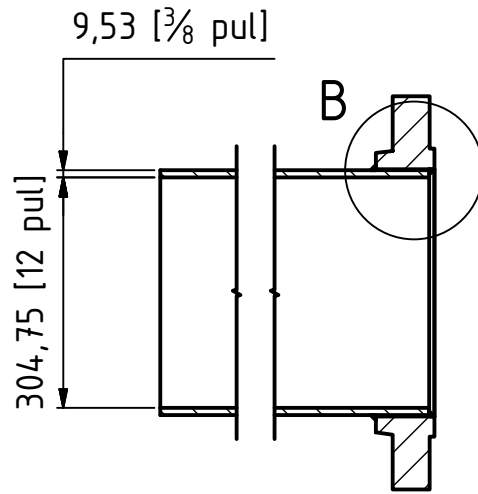
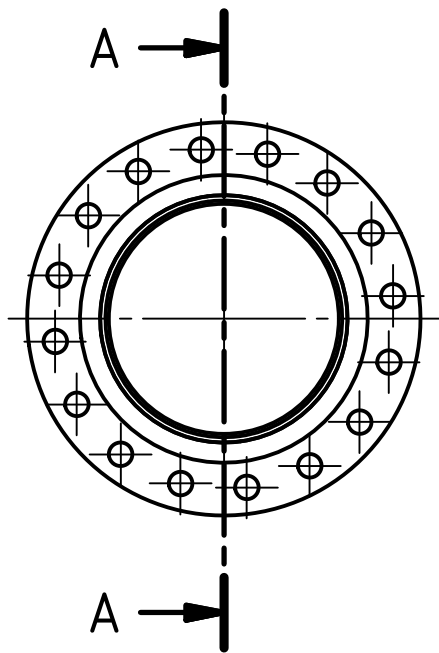
- Dimensiones en milímetros
- Otros largos, **bajo consulta**



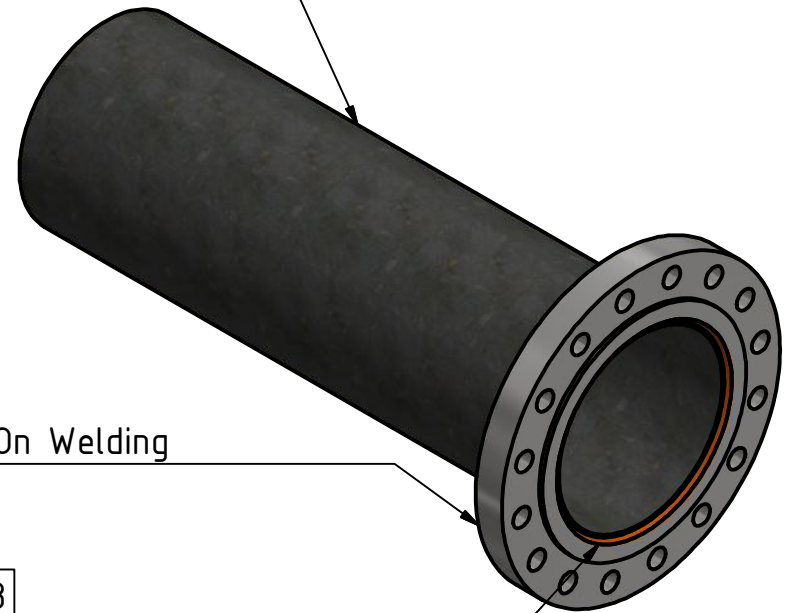
Apéndice L
Planos de Construcción



				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL	
NOMBRE		FECHA		CONJUNTO:	
DIBUJO Danny Cobos		22-08-2017		JUNTA BRIDA-TUBERÍA	
DIBUJO Adrian Guamán					
VERIF. Ph.D. ANA RIVAS		22-08-2017			
APROBO Ph.D. R. PERUGACH		22-08-2017		TITULO:	
MATERIAL:				BRIDA PN-10 DN-600	
ACERO St-37.2				A4	
ESCALA: 1:10				HOJA 1 DE 1	

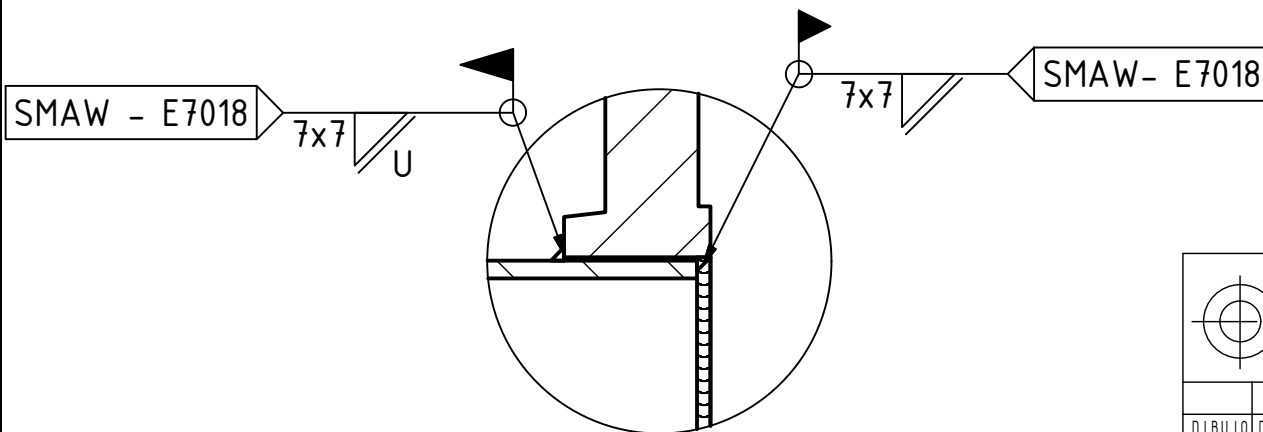


Tubería Estructural A36

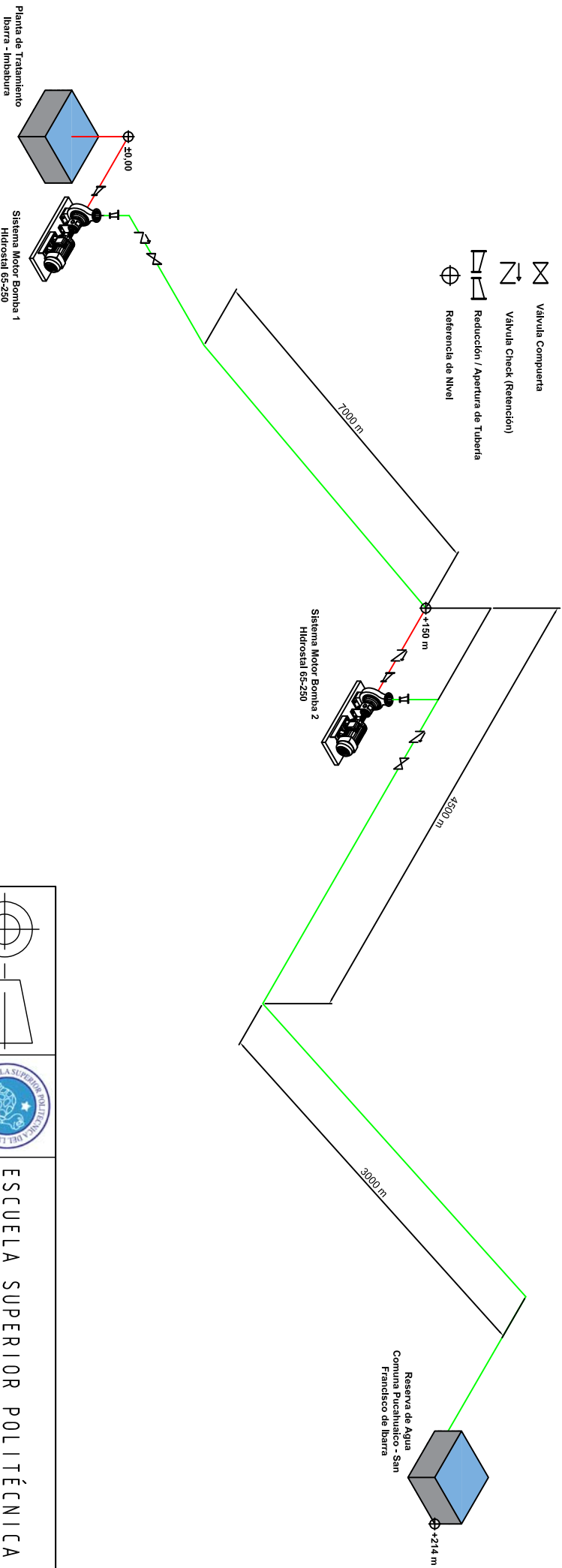


Brida Slip On Welding

Cordón de Soldadura



				ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL	
	NOMBRE	FECHA	CONJUNTO:		
DIBUJO	Danny Cobos	22-08-2017	JUNTA BRIDA-TUBERÍA DN300		
DIBUJO	Adrian Guamán				
VERIF.	PhD. ANA RIVAS	22-08-2017			
APROBO	PhD. R. PERUGACH	22-08-2017			
MATERIAL:			TITULO:		
ACERO ESTRUCTURAL A36			SLIP ON WELDING 300		A4
ESCALA: 1:10				HOJA 1 DE 1	



		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL	
		DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍAS	
CONJUNTO:		TÍTULO:	
NOMBRE DIBUJO: DANNY COBOS DIBUJO: ADRIAN GUAMAN VERIF.: PHD. ANA RIVAS APROBO: PHD. PERUGACHI	FECHA 23-08-2017 23-08-2017 23-08-2017 23-08-2017	SISTEMA DE BOMBEO	
MATERIAL:		ACERO GALVANIZADO	

ESCALA: S/E	HOJA 1 DE 1
-------------	-------------