

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“ELABORACIÓN Y CALIFICACIÓN DE UN  
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA GMAW  
PARA LA FABRICACIÓN DE TUBERÍA  
FORZADA CON MATERIAL ASTM A572  
GR50. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS  
ANGEL I, II Y III. PUNO”**

**TRABAJO ACADÉMICO PARA OPTAR EL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

**BACH. FERNANDO ROY CHÁVEZ ASCARRUZ**

**Callao, Febrero, 2018  
PERÚ**



## **DEDICATORIA**

A Dios, Todopoderoso, fuente de vida e inagotable misericordia, por acompañarme siempre en los momentos más difíciles protegiéndome con su amor e infinita bondad.

A mis padres, Amelia y Jorge, por haberme permitido ser parte de la vida, de manera muy especial a mi querida madre, Amelia, que con su ejemplo, sacrificio y amor, me educó con valores brindándome siempre su ayuda para alcanzar mis metas.

A mi querida familia, abuelos, tíos y primos por sus oportunos consejos, apoyo y solidaridad supieron demostrarme que siempre puedo contar con ellos.

A mis angelitos que están en el cielo, que siempre los tengo presente, me acompañan e iluminan mis días.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme la vida, salud, fuerza y discernimiento necesarios para el logro de mis objetivos, a Él la gloria y la honra por siempre.

A los docentes de la facultad de Ingeniería Mecánica, por sus fructíferas lecciones y experiencias profesionales compartidas en las aulas.

Al asesor, Mg. Martín Sihuay, por sus observaciones y recomendaciones pertinentes para mejorar y desarrollar el presente trabajo.

A mis amigos y compañeros de trabajo, que facilitaron información contribuyendo a la culminación de este proyecto.

# ÍNDICE

	pág.
ÍNDICE	1
INTRODUCCIÓN	8
<b>I. OBJETIVOS</b>	10
1.1 Objetivo general	10
1.2 Objetivos específicos	10
<b>II. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA</b>	11
2.1 Empresa Constructores y Mineros Contratistas Generales SAC	11
2.2. Estructura orgánica de la empresa	11
<b>III. ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR LA EMPRESA</b>	13
3,1 Actividades desarrolladas por la empresa	13
3.1.1 Ingeniería	13
3.1.2 Obras civiles, hidráulicas, mineras y energéticas	13
3.1.3 Fabricación y montaje	13
3.2 Principales obras	14
<b>IV. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO DE INGENIERÍA</b>	15
4.1 Descripción del tema	15
4.2 Antecedentes	17
4.3 Planteamiento del problema	21
4.4 Justificación	21
4.5 Marco teórico	22
4.5.1 Soldadura	22
4.5.2 Clasificación de procesos de soldadura	22
4.5.3 Soldabilidad	24
4.5.4 Carbono equivalente	24
4.5.5 Proceso GMAW (Gas Metal Arc Welding)	26
4.5.6 Ventajas y limitaciones del proceso GMAW	26
4.5.7 Equipo de soldadura GMAW	27
4.5.8 Parámetros de soldeo	28
4.5.9 Metal base A572 GR50	32
4.5.10 Metal de aporte	32

4.5.11	Pre calentamiento	33
4.5.12	Discontinuidades en el proceso GMAW	34
4.5.13	Defectos de soldadura	35
4.5.14	Tipos junta y posición de soldeo	36
4.5.15	Ensayos no destructivos y destructivos	36
4.5.16	Especificación de procedimiento de soldadura (WPS)	39
4.5.17	Registro de calificación de procedimiento (PQR)	40
4.5.18	Definición de términos básicos	40
4.5.19	Marco normativo	42
4.6	Fases del proyecto	43
4.6.1	Inicio	43
	a. Reconocimiento de los alcances iniciales del proyecto	44
	b. Normativa	45
	c. Requerimiento del cliente	45
4.6.2	Planificación	45
	a. Elaboración de WPS preliminar	45
	b. Cronograma de actividades	46
	c. Soldabilidad del metal base	46
	d. Tipo de soldadura	50
	e. Definición de las variables	51
	f. Desarrollo del WPS preliminar	53
	Sección 1 Datos generales	56
	Sección 2 Diseño de junta	56
	Sección 3 Metal base	58
	Sección 4 Metal de aporte	60
	Sección 5 Posición, pre calentamiento,	63
	Sección 6 Características eléctricas	66
	Sección 7 Características del proceso	67
	Sección 8 Técnica	68
4.6.3	Ejecución	72
	a. Preparación del cupón de prueba y de la junta	72
	b. Desarrollo de la soldadura	73

c. Ensayos no destructivos	74
d. Ensayos destructivos	76
4.6.4 Seguimiento y control	79
4.6.5 Cierre	84
<b>V. EVALUACIÓN TÉCNICO - ECONÓMICA</b>	89
5.1 Evaluación técnica del proyecto	89
5.2 Evaluación económica del proyecto	90
<b>VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	92
6.1 Conclusiones	92
6.2 Recomendaciones	93
<b>VII. REFERENCIALES</b>	96
7.1 Fuentes bibliográficas	96
7.2 Fuentes electrónicas	98
<b>VIII. ANEXOS Y PLANOS</b>	99
8.1 Anexos	99
Anexo 1: Certificado nivel II inspección visual	99
Anexo 2: Especificación A572/ A572M	100
Anexo 3: Certificado modelo del metal base A572 GR50	102
Anexo 4: ASME Sección IX tabla QW/QB-422 P number	103
Anexo 5: Guía básica de procesos y metales de aporte	104
Anexo 6: ASME Sección IX –tabla QW- 432 F number	105
Anexo 7: Especificación del metal de aporte	106
Anexo 8: AWS. Composición química del electrodo	107
Anexo 9: Tabla de precalentamiento mínimo	108
Anexo 10: Informe radiográfico	109
Anexo 11: Certificado nivel II - Radiografía	110
Anexo 12: Informe de ensayo de doblez	111
Anexo 13: Informe de ensayo de tracción	112
Anexo 14: Cronograma de actividades	113
8.2 planos	114
Plano 1. Pique de presión	114
Plano 2. Túnel de alta presión	115

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Composición química del material A572 GR50	47
Tabla N° 2 Tamaño o espesor máximo del material A572 GR50	49
Tabla N° 3 Esfuerzo de tensión del material A572 GR50	50
Tabla N° 4 Guía para seleccionar un proceso de soldadura	51
Tabla N° 5 QW-255 Variables de proceso GMAW	52
Tabla N° 6 QW-255 Variables de proceso GMAW-continuación.	53
Tabla N° 7 Extracto de QW /QB-422 P number	58
Tabla N° 8 QW-451.1 Ensayo de tensión y doblez transversal	59
Tabla N° 9 Guía básica de procesos y metales de aporte para acero estructural ASTM	61
Tabla N° 10 Extracto de tabla QW-432 F- number	62
Tabla N° 11 QW-442 A numbers	62
Tabla N° 12 Resultados del ensayo de doblez	76
Tabla N° 13 Resultados del ensayo de tensión	78
Tabla N° 14 Check list del proyecto WPS GMAW	80
Tabla N° 15 Evaluación económica del proyecto	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Organigrama de la empresa CyM SAC	12
Figura N° 2 Obras: Presa de relaves minera Ares Arequipa / carretera Shapaja-Chazuta San Martin	14
Figura N° 3 Clasificación de los procesos de Soldadura	23
Figura N° 4 Esquema del proceso GMAW	26
Figura N° 5 Partes del equipo GMAW	27
Figura N° 6 Extremo libre del electrodo	28
Figura n° 7 Influencia del voltaje en los cordones de soldadura	29
Figura N° 8 Efecto de stick out manteniendo constante la tensión y la velocidad de alimentación	30
Figura N° 9 Gases utilizados en GMAW	31
Figura N° 10 Forma del cordón en función del gas protector	32
Figura N° 11 Nomenclatura del electrodo	33
Figura N° 12 Tipos de discontinuidades	34
Figura N° 13 Socavación	35
Figura N° 14 Junta con penetración incompleta	35
Figura N° 15 Junta con porosidad interna	35
Figura N° 16 Tipos y posiciones de junta	36
Figura N° 17 Banco de ensayo universal	38
Figura N° 18 Matriz de ensayo	39
Figura N° 19 Diagrama de fases del proyecto	43

Figura N° 20	Diagrama de Graville	48
Figura N° 21	Formato sugerido WPS QW-482	54
Figura N° 22	Formato sugerido WPS QW-482 posterior	55
Figura N° 23	Sección 1 (datos generales) formato QW-482	56
Figura N° 24	QW 469.2 Junta a tope alterna	57
Figura N° 25	Sección 2 (diseño de junta) formato QW-482	57
Figura N° 26	Sección 3 (metal base) formato QW-482	60
Figura N° 27	Metal de aporte utilizado ER70s-6	61
Figura N° 28	Sección 4 (metal de aporte) formato QW-482	63
Figura N° 29	QW-461.3 Posiciones de prueba de soldadura	64
Figura N° 30	Sección 5 (posición/precalentamiento/ post calentamiento/gas) formato QW-482	66
Figura N° 31	Sección 6 (características eléctricas) formato QW-482	67
Figura N° 32	Sección 7 (características del proceso) formato QW-482	68
Figura N° 33	Sección 8 (técnica) formato QW-482	69
Figura N° 34	WPS preliminar completado	70
Figura N° 35	WPS preliminar posterior completado	71
Figura N° 36	Preparación del cupón de prueba	72
Figura N° 37	Acabado aceptable del cordón de soldadura	74
Figura N° 38	Ensayo de radiografía	75
Figura N° 39	QW-463.1 (b) Distribución de especímenes en cupón	77
Figura N° 40	Rotura de los especímenes de prueba	78
Figura N° 41	Verificación de biseles del cupón de prueba	81

Figura N° 42	Verificación de los parámetros eléctricos	82
Figura N° 43	Verificación del precalentamiento	82
Figura N° 44	Verificación durante el proceso de soldeo	82
Figura N° 45	Verificación de limpieza entre pasadas	83
Figura N° 46	Inspección visual entre pasadas	83
Figura N° 47	Soldeo de tubería forzada	83
Figura N° 48	PQR aprobado	85
Figura N° 49	PQR aprobado (continuación)	86
Figura N° 50	WPS calificado	87
Figura N° 51	WPS calificado (continuación)	88

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la soldadura ha adquirido gran relevancia en los procesos constructivos, no solo por la aparición de nuevas tecnologías respecto a sus inicios, sino más bien, por significar un método de unión permanente que involucra un producto de alto grado de calidad al menor costo posible y de seguridad en su entorno. Para lograr lo antes mencionado se utilizan procedimientos de soldaduras calificados, que garanticen que los procesos de soldeo serán eficientes y cumplirán lineamientos y recomendaciones de ciertos códigos o normas, ofreciendo una soldadura de calidad con buenas propiedades mecánicas.

El presente trabajo académico titulado: “ELABORACIÓN Y CALIFICACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA GMAW PARA LA FABRICACIÓN DE TUBERÍA FORZADA CON MATERIAL ASTM A572 GR50. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS ANGEL I, II Y III. PUNO”, se ha desarrollado en base a la experiencia que desempeñé como responsable de calidad en taller para la fabricación de tuberías forzadas del proyecto Centrales Hidroeléctricas Ángel I, II y III, debido a que la empresa Constructores y Mineros Contratistas Generales SAC, no contaba con un procedimiento de soldadura que garantice la soldabilidad de las uniones, para este tipo de fabricaciones.

Para ello, se adoptaron los lineamientos y recomendaciones del código ASME sección IX 2015, se analizaron los parámetros que involucran un procedimiento preliminar como son proceso de soldadura, material a soldar, material de aporte, tipo de junta, características eléctricas entre otros. Posteriormente se preparó el cupón de prueba de acuerdo a los requerimientos del procedimiento preliminar, con la intervención de un soldador con experiencia se procedió al soldeo de la junta con el proceso predeterminado GMAW, y se realizó la inspección visual, antes, durante y después de la soldadura, finalmente la habilitación de las probetas fue necesaria para someterlos a ensayos no destructivos y destructivos conforme se indican en el código ASME sección IX, los resultados de dichos ensayos y su evaluación, concluyó con la validación del procedimiento preliminar obteniéndose el PQR aprobado que respaldó a nuestro WPS como CALIFICADO. Sobre esa base se pudo garantizar que las uniones soldadas para la fabricación de tubería forzada tendrán una buena soldabilidad y calidad.

El trabajo académico desarrollado servirá como guía para la elaboración y calificación de procedimientos de soldaduras similares y contribuirá a nuevas investigaciones referidos en el campo de la soldadura.

## **I. OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo general**

Elaborar y calificar el procedimiento de soldadura GMAW con material A572 GR50, con la finalidad de garantizar la soldabilidad y calidad de las uniones soldadas, permitiendo el inicio de la fabricación de tubería forzada para las Centrales Hidroeléctricas ANGEL I, II y III. PUNO.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Establecer una metodología para la elaboración y calificación de un procedimiento de soldadura GMAW con material A572 GR50 para la fabricación de tubería forzada.
- Identificar y evaluar las variables esenciales y no esenciales para la elaboración y calificación del procedimiento de soldadura GMAW.
- Elaborar y desarrollar instructivo del procedimiento específico de soldadura. (WPS)
- Elaborar y desarrollar el registro de calificación del procedimiento. (PQR)

## **II. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA**

### **2.1. Empresa Constructores y Mineros Contratistas Generales SAC**

CyM, es una empresa peruana, que fue constituida el 5 de agosto de 1996, con RUC 20330546612, sus oficinas administrativas están ubicadas en Ate, Calle Los Telares 259 Urbanización Industrial Vulcano, y realiza sus actividades de fabricación en sus talleres de Santa Anita y Lurín. Con poco más de 20 años ha logrado un sostenido crecimiento, con importantes obras en el rubro construcción civil, hidráulica y minería.

### **2.2. Estructura orgánica de la empresa CyM CG SAC**

La estructura orgánica de la empresa se puede ver mediante el organigrama de la figura N° 1; donde se observa la distribución de jefaturas y gerencias, asimismo, me desempeñe como responsable de calidad, realizando las funciones siguientes:

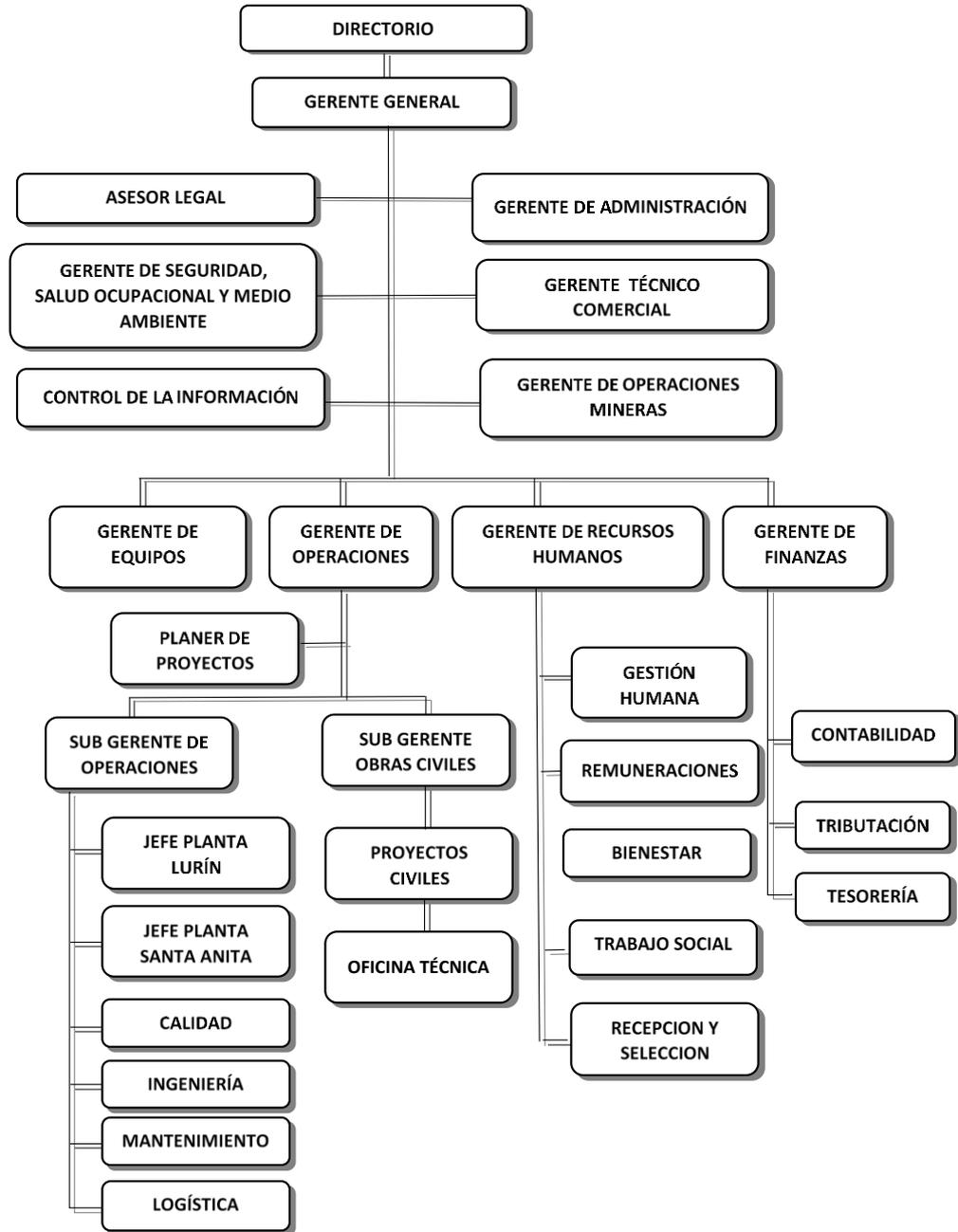
Elaboración:

- Y calificación de procedimientos específicos de soldadura
- De registros de calificación de procedimientos
- Y Calificación de habilidad de soldadores
- Del dossier de calidad de la fabricación en taller

Inspección en los procesos de:

- Fabricación
- Pintura
- Pre montaje en taller

**FIGURA N° 1  
ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA CyM SAC**



Fuente: Elaboración propia

### **III. ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR LA EMPRESA**

#### **3.1. Actividades desarrolladas por la empresa**

CyM tiene participación en la industria nacional a través de construcción de presas, canchas de lixiviación, obras viales, hidráulicas, explotación minera y obras civiles en general.

Las principales actividades que realiza la empresa son:

**3.1.1 Ingeniería.-** Elabora ingeniería de detalle, planos de fabricación para taller y montaje abarcando proyectos en las áreas minero-metalúrgicas, hidrocarburos, hidromecánicos, electromecánicos y civiles.

**3.1.2 Obras civiles, hidráulicas, mineras y energéticas.-** Realiza la construcción de carreteras, vías urbanas, presas hidráulicas, bocatomas, canales de irrigación, presa de relaves, explotaciones mineras, canchas de lixiviación, centrales hidroeléctricas líneas de transmisión, y subestaciones.

**3.1.3 Fabricación y Montaje.-** Ejecuta la fabricación de estructuras y montaje de equipos electromecánicos, bajo control de procedimientos de trabajo y seguimiento de metas incluyendo las actividades de transporte, inspección, prueba y entrega en funcionamiento.

### 3.2 Principales obras.- Entre las principales obras tenemos:

- Presa de relaves – Compañía Minera Ares. Arequipa. Ver figura N°2
- Presa de relaves Andaychagua Alto – Minera Volcan. Cerro de Pasco
- Carretera Shapaja-Chazuta. Dir. Regional San Martin.Ver figura N°2
- Explotación minera. Corihuarmi Minera IRL. Yauyos-Lima
- Carretera Sullana – Aguas Verdes. Provias MTC, Piura
- Movimiento de tierras Mina Pierina. Barrick Misquichilca. Ancash
- Cancha de lixiviación Carachugo. Minera Yanacocha. Cajamarca
- Cancha de lixiviación La Quinoa 1, 2, 4 y 5. Minera Yanacocha. Cajamarca
- Carretera de acceso a Jangas. Minera Pierina. Ancash
- Rehabilitación de carretera Huancayo- Imperial MTC. Junín
- Planta de tratamiento de aguas residuales. San Bartolo. Lima
- Carretera Ilo - Desaguadero tramo III. Provias MTC. Moquegua

**FIGURA N° 2**  
**OBRAS: PRESA DE RELAVES MINERA ARES AREQUIPA / CARRETERA SHAPAJA-CHAZUTA SAN MARTIN**



Fuente: CyM SAC

## **IV. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO DE INGENIERÍA**

### **4.1 Descripción del tema**

En la última década, la producción de electricidad en el Perú se ha duplicado gracias al crecimiento de la demanda y a la disponibilidad de recursos, esto conllevó a la construcción de varias centrales hidroeléctricas en el territorio nacional.

La primera central hidroeléctrica del país tuvo su origen en Huaraz en el año 1884, cuando la empresa minera Tarjas la construyó para fines productivos de su planta.

En los últimos años, la construcción de centrales hidroeléctricas en el Perú ha estado liderada por empresas nacionales como Cemprotec, GSZ Ingenieros, Haug, Comet y extranjeras como, Odebrecht, Alstom por citar algunas.

La empresa CyM contratistas generales SAC no contaba con experiencia en construcción de Centrales Hidroeléctricas, sino en gran parte, en obras civiles y mineras, como carreteras, y canchas de lixiviación, lo más próximo en obras hidráulicas, eran construcciones de canales de irrigación y presas, pero en esta ocasión, decidió involucrarse con la totalidad de la construcción de la Central Hidroeléctrica, desde el detalle de la ingeniería, planificación, fabricación y montaje.

CyM aceptó construir para Generadora de energía del Perú, tres Centrales Hidroeléctricas, Ángel I, II y III ubicadas en la provincia de Carabaya, Puno. Las tres Centrales hidroeléctricas entregarán en conjunto 60 MW (20 MW cada una) al sistema interconectado nacional y conducirán agua a través de sus 1000 metros de longitud de tuberías forzadas. Ver anexos: Planos N° 1 y 2, páginas 114 y 115.

Para realizar la fabricación de tuberías, la empresa presentaba un problema relevante, no contaba con documentación obligatoria y necesariamente requerida, como es, la especificación del procedimiento de soldadura (WPS), debido a que era la primera vez que se encargaba de la fabricación de este tipo de estructuras, es decir, no existía archivo documentario sobre procedimiento de soldadura para la fabricación de tubería forzada. Además se requería optar por un tipo de proceso de soldadura que no solo minimice los costos de fabricación, sino también, entregue un adecuado aporte de calor durante el proceso y garantice a la vez, la soldabilidad de las juntas y por ende la calidad de las soldaduras. De no contar con el procedimiento de soldadura planteado, la empresa, no podía iniciar su proceso de fabricación de tuberías forzadas y de hacerlo sin ningún procedimiento calificado, significaba acarrear de problemas de calidad para la fabricación antes durante y después de la soldadura y por consiguiente, era predecible la aparición de defectos exponenciales como fisuras, faltas de fusión, porosidades, etc., además

de lo que conlleva en problemas administrativos, costos de reparación y tiempo de demora.

Por tanto, para la fabricación de tuberías forzadas era necesario contar con un procedimiento de soldadura que garantice la soldabilidad de las uniones soldadas, asimismo contar con soldadores calificados para dar inicio a la fabricación y cumplir con los plazos de entrega,

El presente informe profesional titulado: “Elaboración y calificación de un procedimiento de soldadura GMAW para tubería forzada con material ASTM A572 GR50 - Centrales Hidroeléctricas Ángel I, II y III – PUNO” brindó la solución al problema que se presentó en la empresa, determinándose una idónea calificación del procedimiento de soldadura de acuerdo a criterios de aceptación de la norma ASME sección IX 2015.

## **4.2 Antecedentes**

### **Internacionales**

CAISAGUANO (2013). En su tesis titulado “**Desarrollo de procedimiento de soldadura, calificación de soldadores y control de calidad de estructuras soldadas de acuerdo con AWS D1.1**”, estudia el autor, tres temas del código AWS D1.1 2010, procedimiento de soldadura, habilidad del personal de soldadura y control de calidad de estructuras de acero. Con esta información se desarrollaron procedimientos guía de elaboración de WPS’s calificados y precalificados,

calificación de soldador, operador de soldadura y un sistema de procedimientos de control de calidad.

El autor concluye que: “Se desarrolló una metodología para una adecuada comprensión del código AWS D1.1 y en función a esto se ha podido realizar los procedimientos guía para: Los WPS's precalificados y calificados, la calificación de la habilidad del personal de soldadura, el control de calidad de soldaduras de producción en estructuras de acero, los criterios de aceptación para inspección de soldadura para los métodos de inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, y ultrasonido.”

La presente investigación se relaciona con el trabajo anterior porque estudia la calificación de procedimientos de soldadura y elaboración de instructivos mediante el uso de un código específico.

LUNA, TELLEZ, GONZALES (2012). En su tesis titulado: “**Reparación de ductos de acero al carbono que transportan gas**” según los autores, la tesis tiene por objetivo: “Elaborar la especificación de soldadura para lograr soldaduras sanas en la instalación de envolventes metálicas para reparar un ducto de acero al carbono de 10 pulgadas de diámetro nominal con espesores menores de 0,25 pulgadas que transportan gas dentro de los límites terrestres, el cual no puede sacarse de operación para ser reparado y cumplir con los requerimientos de seguridad y mantenimiento de tuberías requeridos en las normas aplicables.”

El autor concluye que utilizó normas mexicanas aplicables a ductos complementadas con normas extranjeras, también concluye que para: “la calificación del procedimiento y soldadores consistió en la supervisión, control de calidad en la preparación, alineación y aplicación de soldadura antes durante y después del proceso de soldadura...”

El trabajo anterior guarda relación con el presente informe, porque permite conocer un método para realizar la calificación del procedimiento de soldadura y soldadores realizando la instalación de una envolvente metálica en una sección de tubería.

### **Nacionales**

LUNA (2015). En su tesis titulado “**Evaluación del procedimiento de soldadura de la unión disímil entre acero API 5L X70 PSL1 y ASTM A707 L5 F65**”, presentó como objetivo general de la tesis, el de calificar el procedimiento de soldadura para la unión entre la brida y la tubería antes mencionadas, con la finalidad de asegurar su implementación en el sistema de transporte de gas natural por ductos.

El autor tiene por conclusiones más relevantes: “La especificación de procedimiento de soldadura para tubería de acero API 5L X70 PSL1 y brida ASTM A707 L5 F65 quedó calificada, aplicando el Código ASME, Sección IX.

La utilización conjunta de los procesos de soldadura GTAW para los pases de raíz y SMAW para los de relleno, proporciona una opción para realizar soldaduras de muy buena calidad en un tiempo relativamente corto. Asimismo, aunque las resistencias mecánicas de los consumibles empleados difieren en 10 ksi (70 ksi para GTAW y 80 ksi para SMAW), la resistencia mecánica del cordón es homogénea debido a la dilución que se da entre los materiales de aporte.

No se requiere modificación de variables esenciales en esta especificación de procedimiento de soldadura ya que se encuentra debidamente calificada; por consiguiente, el soldador, ejecutor del procedimiento queda también automáticamente calificado para realizar uniones soldadas según este WPS.”

La tesis anterior se relaciona con el presente informe porque muestra una metodología para la calificación de procedimiento de soldadura en base a lineamientos del código ASME sección IX.

PACHECO (2016). En su informe titulado: **“Elaboración y calificación de un procedimiento de soldadura de una tubería Incoloy 800 en la planta de proceso de hidrogeno. La Pampilla”**

El autor presenta como objetivo principal: “Elaborar y calificar un procedimiento de soldadura en tuberías de Incoloy 800, según ASME sección IX, con el fin de garantizarla soldabilidad de las uniones soldadas y el montaje de tuberías en la planta de hidrógeno”.

Asimismo el autor concluye: “la realización de una metodología adecuada nos permitió la realización del procedimiento de soldadura ya que esta metodología nos brindará una guía de cómo elaborar un procedimiento de soldadura siguiendo los lineamientos del ASME sección IX.

Para la elaboración del procedimiento de soldadura se seleccionó el diseño de junta, el material de aporte y el proceso de soldadura adecuado, elementos más importantes en la aprobación del procedimiento de soldadura.

El informe anterior nos permitió saber, la metodología utilizada para el desarrollo de la elaboración y calificación del procedimiento, como guía para el presente informe.

#### **4.3 Planteamiento del problema**

¿Cómo elaborar y calificar un procedimiento de soldadura GMAW con material ASTM A572 GR50 que garantice la soldabilidad y calidad de las uniones soldadas permitiendo el inicio de la fabricación de tubería forzada del proyecto Centrales Hidroeléctricas Ángel I, II y III Puno?

#### **4.4 Justificación**

El presente trabajo de investigación presenta:

**Justificación práctica**, porque mediante la elaboración y la calificación del procedimiento de soldadura GMAW con material ASTM A572 GR50

se resolverá la falta de documentación técnica en la empresa CyM que permitirá iniciar la fabricación de tubería forzada del proyecto Centrales Hidroeléctricas Ángel I, II y III – Puno, garantizando la soldabilidad y calidad de las juntas soldadas.

Además presenta **justificación metodológica** porque la metodología aplicada, al probarse su validez, servirá como guía práctica para adoptarse y estandarizarse al elaborar procedimientos de soldadura, siguiendo una secuencia idónea de actividades para la calificación del procedimiento con resultados satisfactorios.

## **4.5 Marco teórico**

### **4.5.1 Soldadura**

Es el resultado de aplicar un proceso para unir dos metales o no metales mediante calentamiento a una temperatura de fusión o soldeo, con aplicación de presión y metal de aporte o sin empleo de uno de ellos. (CESOL 2013)

### **4.5.2 Clasificación de procesos de soldadura**

Existe varias formas de clasificación de los procesos de soldadura, uno de ellos por el tipo de energía empleado: Soldadura por fusión y soldadura por presión. Ver figura N° 3, página 23.

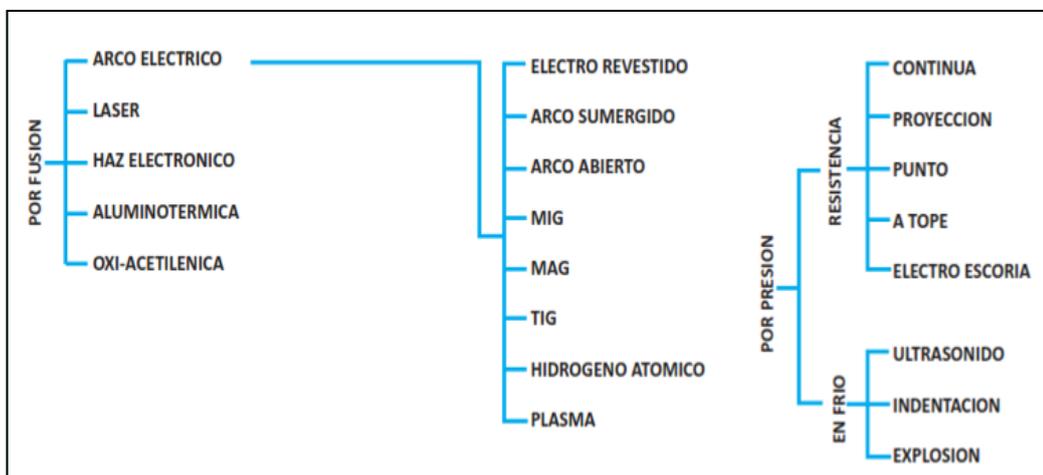
### Soldadura por presión

Proceso por el cual, se somete a las piezas de contacto, a una presión adecuada, logrando la adhesión y eliminación de capas de óxido y humedad.

### Soldadura por fusión

Proceso donde interviene la energía térmica, cuando se emplea energía térmica, la temperatura debe ser inferior a la temperatura de fusión de las piezas a soldar, tiene por finalidad reducir la tensión de fluencia de las piezas que se sueldan, así como disociar los óxidos y volatilizar la humedad. (Soldexa 2010)

**FIGURA N° 3  
CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA**



Fuente: Manual Soldexa

### **4.5.3 Soldabilidad**

Es la facilidad que tiene un material para ser unido garantizando propiedades mecánicas requeridas para su puesta en servicio. Desde el punto de vista metalúrgico, es el proceso de soldeo que implica obtener propiedades físico - químicas satisfactorias, algunas de estas propiedades pueden ser: Resistencia a la fatiga, resistencia a la corrosión, ductilidad, tenacidad.

Generalmente, para decir que un material tiene buena soldabilidad tiene que cumplir las siguientes condiciones: ser tenaz y que su composición química no represente fragilidad. (FOSCA. 2007)

### **4.5.4 Carbono equivalente**

Es un método que sirve para predecir el grado de soldabilidad de un material. Como el carbono es el elemento que afecta la templabilidad y dureza del acero, y la templabilidad es inversamente proporcional a la soldabilidad del acero, se puede inferir que un acero con buena templabilidad tiene una difícil soldabilidad. Por ello, es preferible evitar que el acero se transforme en martensita durante el proceso de soldeo debido a las altas temperaturas y al enfriamiento brusco del material.

El carbono equivalente (CE) es un número que permite relacionar la composición química de un acero con su tendencia a presentar estructuras frágiles y la posibilidad de fisurarse durante o después del soldeo. (FOSCA 2007)

Existen diversas expresiones para calcular el carbono equivalente.

La fórmula 1, que propone el International Institute of Welding es (FOSCA 2007):

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (1)$$

No existen restricciones para el uso de esta fórmula (1); no obstante, se recomienda aplicarla en aquellos casos en que el porcentaje de carbono en el acero sea mayor al 0.12%.

Si el porcentaje de carbono es igual o menor a 0.12%, se recomienda emplear la fórmula 2 (API. 2013)

$$CE = C + \frac{SI}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (2)$$

El criterio empleado con el carbón equivalente consiste en que, cuanto más alto es su valor el acero tendrá dificultades para ser soldado. Por ello se recomienda para evitar fisuración en frío por presencia de estructuras frágiles, que el carbono equivalente no supere el rango 0.35 - 0.40. De acuerdo a esto, se puede afirmar que la soldabilidad de los aceros en función de su CE es:

- Aceros con un CE < 0.2 - 0.4% poseen buena soldabilidad
- Aceros con un CE > 0.4% tienen riesgo de figuración en frío en la ZAC (FOSCA. 2007)

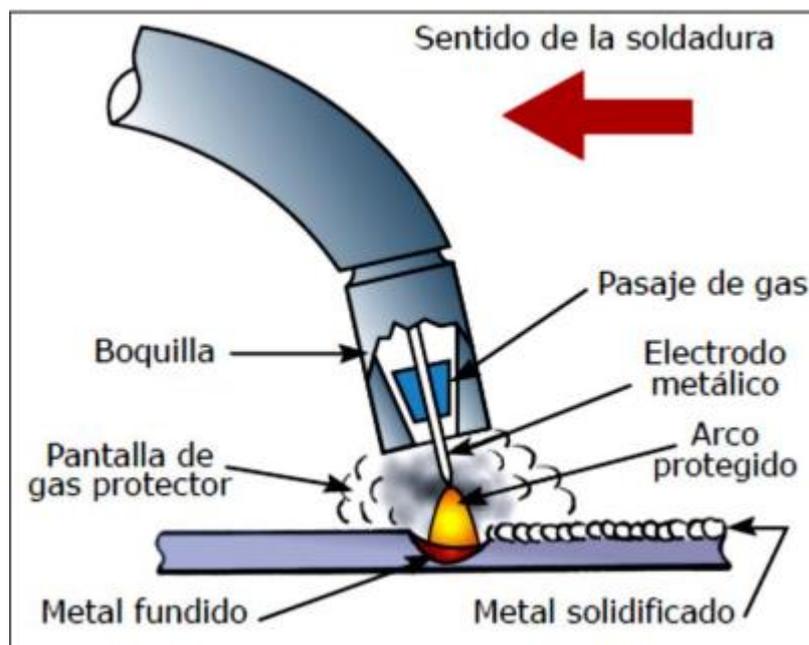
#### 4.5.5 Proceso GMAW (Gas Metal Arc Welding)

Según HERNÁNDEZ (2010). El soldeo por arco eléctrico con protección de gas, es un proceso de soldeo en el cual el calor necesario es generado por un arco que se establece entre un electrodo consumible y el metal que se va a soldar.

El electrodo es un alambre macizo, desnudo que se alimenta de forma continua automáticamente y se convierte en el metal depositado según se consume.

El electrodo, arco metal fundido y zonas adyacentes del metal base, quedan protegidos de la contaminación de los gases atmosféricos mediante una corriente de gas que se aporta por la tobera de la pistola, concéntricamente al alambre electrodo (p.292). Ver esquema del proceso en fig. N°4

FIGURA. N° 4 ESQUEMA DEL PROCESO GMAW



Fuente: Esquicha 2017

Según, ESQUICHA (2017) enunció que: Se denomina MIG, cuando la protección gaseosa es un gas inerte ya sea el Argón o el Helio; y como MAG cuando usa gases activos como es el CO<sub>2</sub> y sus mezclas. La diferencia de estos dos procesos es el gas que utilizan, el resto de los componentes del equipo son iguales. Estos procesos son altamente productivos debido a su alimentación continua del material de aporte y por el uso de elevadas densidades de corriente. (p.7)

#### 4.5.6 Ventajas y limitaciones del proceso GMAW

##### Ventajas del proceso GMAW

- Puede utilizarse para el soldeo de cualquier tipo de material.

- El electrodo es continuo, por lo que se aumenta la productividad al no tener que cambiar de electrodo y la tasa de deposición es más elevada. Se pueden conseguir velocidades de soldeo mucho más elevadas que con el electrodo recubierto SMAW.
- Se puede realizar el soldeo en cualquier posición.
- Se pueden realizar soldaduras largas sin que existan empalmes entre cordones, evitando así las zonas de peligro de imperfecciones.
- No se requiere eliminar la escoria ya que no existe. HERNANDEZ (2010) (P.292)

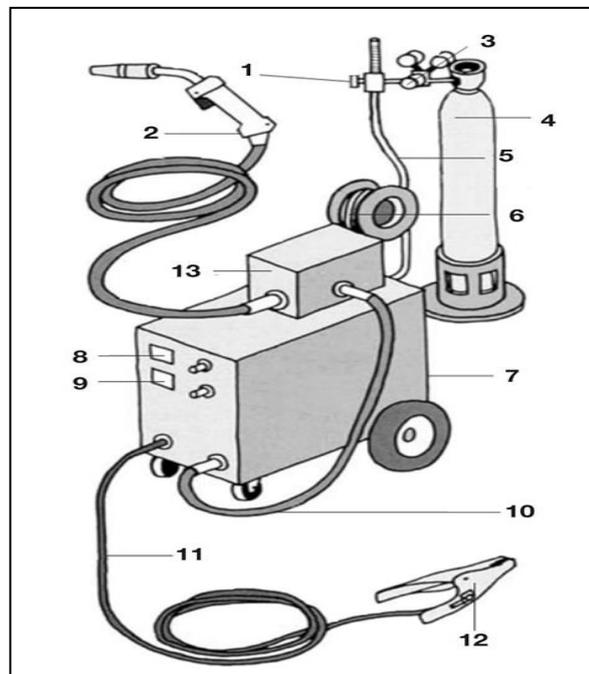
### Limitaciones del proceso GMAW

- El equipo de soldeo es más costoso, complejo y menos transportable que el de SMAW.
- Es difícil de utilizar en espacios restringidos, requiere conducciones de gas y de agua de refrigeración, tuberías, botellas de gas de protección, por lo que no puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.
- Es sensible al viento y a las corrientes de aire, por lo que su aplicación al aire libre es limitada. . HERNANDEZ (2010) (p 292)

### 4.5.7 Equipo de soldadura GMAW

En la figura N° 5, se puede ver el equipo MIG/MAG y sus componentes:

**FIGURA N° 5  
PARTES DEL EQUIPO GMAW**



Fuente: demaquinasyherramientas 2018

1. Caudalímetro, 2. Pistola, 3. Regulador de presión, 4. Cilindro de gas, 5. Manguera del cilindro de gas, 6. Electrodo, 7. Fuente de energía, 8. Amperímetro, 9. Voltímetro, 10. Cable de potencia, 11. Cable de retorno, 12. Pinza de masa, 13. Alimentador del alambre

#### 4.5.8 Parámetros de soldeo

Los parámetros fundamentales que entran a formar parte de las características de soldeo, y por tanto de la calidad de soldadura, son:

- Tensión
- Velocidad de alimentación
- Longitud libre del alambre o "stick-out"
- Velocidad de desplazamiento
- Polaridad
- Ángulo de inclinación de la pistola
- Gas de protección

##### • Relación entre los parámetros

**La tensión** se mide en voltios (V) y es regulable en la fuente de energía, o bien a distancia desde la unidad alimentadora de alambre. Se transmite de forma regular desde la fuente al alambre, sin embargo se distribuye entre la prolongación del alambre y el arco de un modo desigual. Aproximadamente el 90% de la energía se concentra en el arco y el 10% restante en el alambre (ver fig. N° 6). Por tanto, cuanto mayor sea la longitud del arco mayor será la tensión.

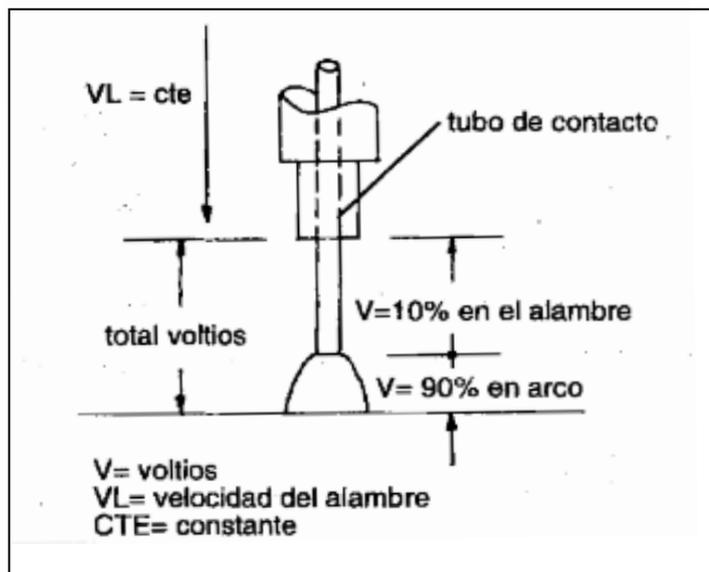
La intensidad, sin embargo, está muy relacionada con **la velocidad de alimentación** del alambre, de forma que cuanto mayor es la velocidad de alimentación mayor es la intensidad.

La tasa de deposición también está muy relacionada con la intensidad; cuanto mayor es la intensidad más rápidamente se producirá la fusión y, por tanto, la deposición. Se pueden establecer así las siguientes equivalencias:

Intensidad...equivalente a velocidad de alimentación del alambre

Tensión.... Equivalente a: longitud de arco (HERNANDEZ 2010) (p.313)

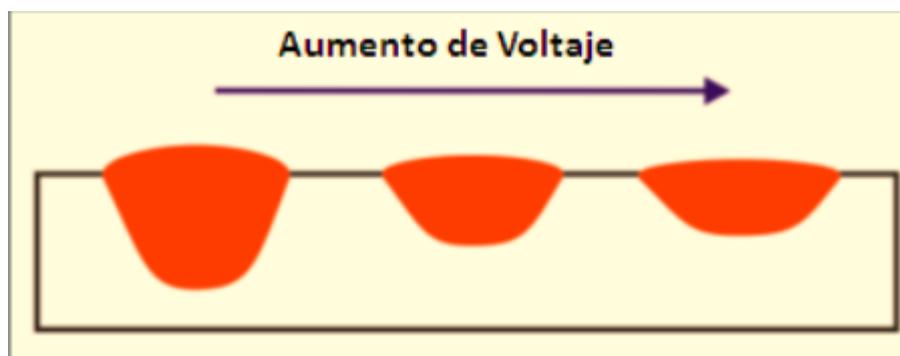
FIGURA N° 6 EXTREMO LIBRE DEL ELECTRODO



Fuente: Hernández 2017

La tensión o voltaje influye en los cordones de soldadura, cuando el voltaje aumenta, la penetración disminuye, asimismo la sobremonta del cordón disminuye y el metal depositado se mantiene (ESQUICHA 2017). Ver figura N° 7

**FIGURA N° 7  
INFLUENCIA DEL VOLTAJE EN LOS CORDONES DE SOLDADURA**



Fuente: Esquicha 2017

- **Stick out (extensión libre del alambre/ electrodo)**

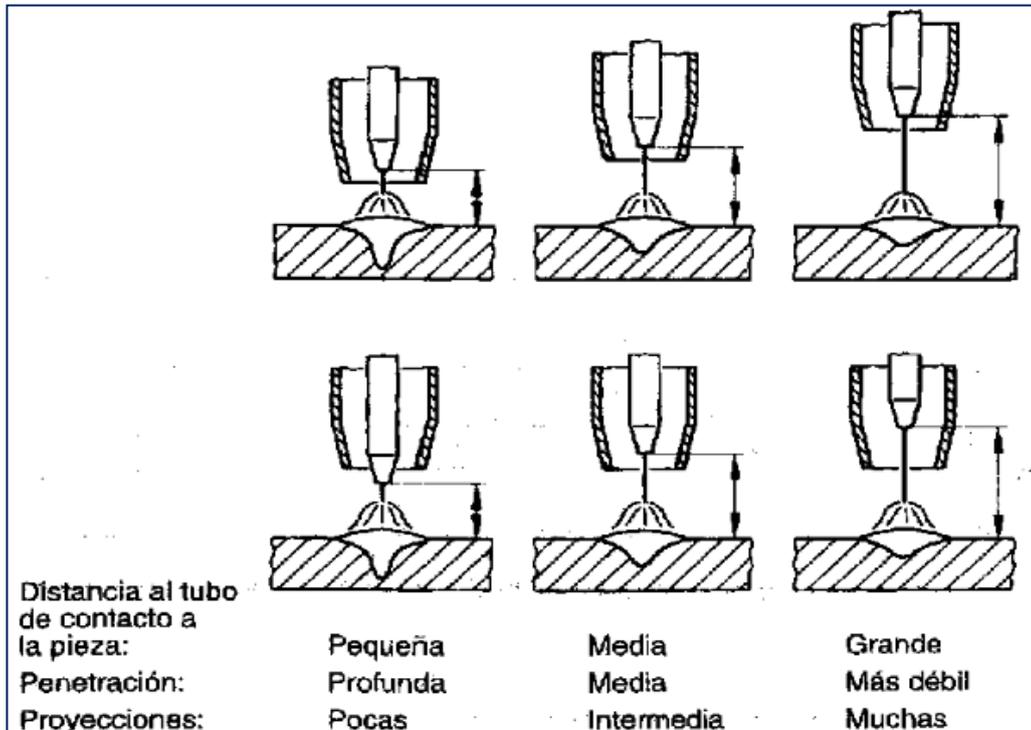
El extremo libre del alambre es la distancia desde el tubo de contacto hasta el extremo del alambre y está relacionada con la distancia entre el tubo de contacto y la pieza a soldar. Esta variable tiene suma importancia para el soldeo y en especial para la protección del baño de fusión.

Cuando aumenta el extremo libre del alambre la penetración se hace más débil y aumenta la cantidad de proyecciones. Éstas pueden interferir con la salida del gas de protección y una protección insuficiente puede provocar porosidad y contaminación excesiva.

La mayoría de los fabricantes recomiendan longitudes de 6 a 13 mm para transferencia por cortocircuito y de 13 a 25 mm para otros tipos de transferencia. Disminuyendo la longitud en transferencia por cortocircuito, aunque la tensión suministrada por la fuente de energía sea baja, se consigue buena penetración.

En la siguiente figura se ha representado la influencia de la variación de la distancia entre el tubo de contacto y la pieza. (HERNANDEZ 2010) (p.315). Ver figura N° 8

**FIGURA N° 8**  
**EFFECTO DE STICK OUT MANTENIENDO CONSTANTE LA TENSION Y LA**  
**VELOCIDAD DE ALIMENTACION**



Fuente: Hernández 2010

- **Velocidad de desplazamiento**

Si se mantienen todos los demás parámetros constantes, cuanto menor sea la velocidad de soldeo mayor será la penetración. Sin embargo una pistola se puede sobrecalentar si se suelda con intensidad alta y baja velocidad de soldeo. Una velocidad de soldeo alta producirá una soldadura muy irregular. (HERNANDEZ 2010) (p.315)

- **Polaridad**

Para la mayoría de las aplicaciones del soldeo GMAW se utiliza la polaridad inversa (DC+) ya que se obtiene un arco estable, con una buena transferencia de metal de aportación, pocas proyecciones, un cordón de soldadura de buenas características y gran penetración.

La polaridad directa (DC-) casi no se utiliza porque, aunque la tasa de deposición es mayor, generalmente solo se consigue transferencia globular.

La corriente alterna no se utiliza en el soldeo MIG/MAG ya que el arco se hace inestable y tiende a extinguirse. (HERNANDEZ 2010) (p.316)

- **Ángulo de inclinación de la pistola (ángulo de desplazamiento)**

Cuando se utiliza la técnica de soldeo hacia delante disminuye la penetración y el cordón se hace más ancho y plano, por lo que se recomienda para el soldeo de pequeños

espesores. La máxima penetración se obtiene con el soldeo hacia atrás con un ángulo de desplazamiento de 25°. Para la mayoría de las aplicaciones se utiliza el soldeo hacia atrás con un ángulo de desplazamiento de 5-15°. (HERNANDEZ 2010) (p.316)

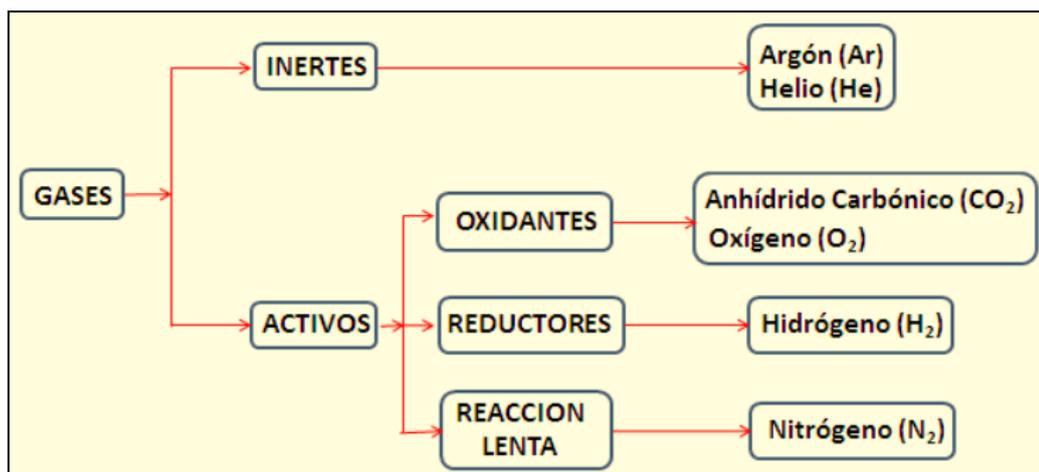
- **Gases de protección**

El objetivo fundamental del gas de protección es la de proteger al metal fundido de la contaminación por la atmósfera circundante. Muchos otros factores afectan a la elección del gas de protección. Algunos de estos son: material a soldar, modo de transferencia del metal de aportación, penetración y forma del cordón, velocidad de soldeo y precio del gas. (HERNANDEZ 2010) (p.312)

Los gases protectores se clasifican en dos grupos inertes y activos. Ver

figura N°9

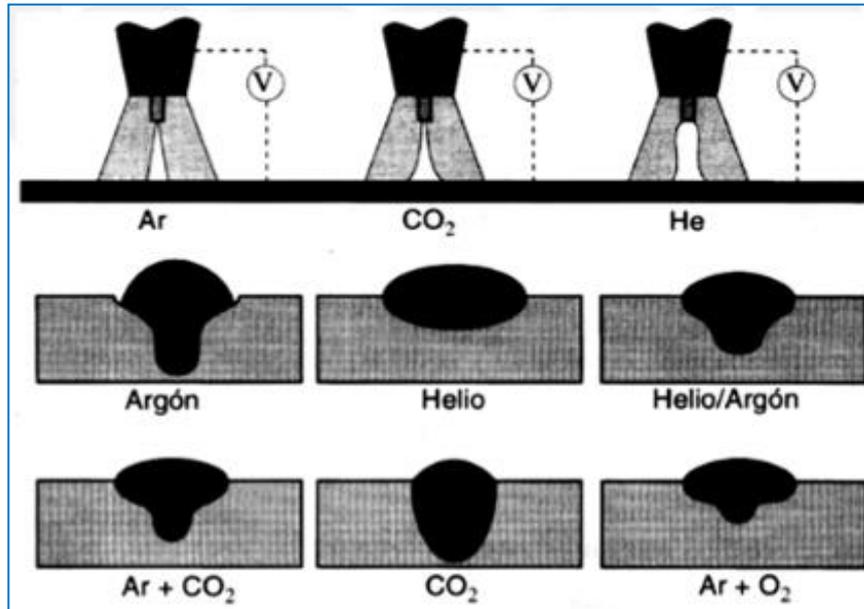
**FIGURA N° 9**  
**GASES UTILIZADOS EN GMAW**



Fuente: Esquicha 2017

De otro lado, la composición del gas de protección y la mezcla de gases pueden influenciar sobre la forma del cordón, como se puede apreciar en la siguiente figura N° 10.

**FIGURA N° 10**  
**FORMA DEL CORDÓN EN FUNCIÓN DEL GAS PROTECTOR**



Fuente: Manual Soldexa 2010

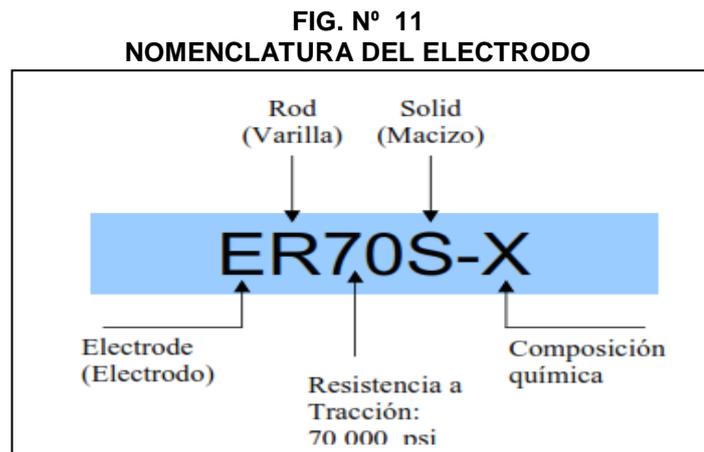
#### **4.5.9 Metal de base A572 GR50**

El metal base A572 GR50 es un acero de alta resistencia. La especificación técnica para este metal base, consigna las características químicas de su composición y sus propiedades mecánicas, de los 5 grados: 42, 50, 55, 60 y 65, asimismo los espesores que existen en el mercado, este metal base está destinado a construcciones sean remachadas, atornilladas o soldadas. (ASTM Standard A572 2003). Ver anexo N° 2

#### **4.5.10 Metal de aporte**

La selección del metal de aporte, depende de dos características principales: tener propiedades físico químicas iguales o superiores que las

del metal base y obtener un cordón de alta calidad. (CESOL 2007) (Tema 1.8, p 55). Su clasificación para materiales de aportes para acero según AWS A5.18 se muestra, en el anexo N° 8, y la nomenclatura del electrodo en la siguiente figura N° 11.



Fuente: Cesol 2013

#### 4.5.11 Pre calentamiento

Consiste en elevar la temperatura de una pieza hasta una temperatura específica según condiciones y especificaciones, buscando reducir en la aplicación de soldadura agrietamientos debido a la velocidad de enfriamiento, el cual al calentar la pieza reduce esta velocidad y a su vez las tensiones generadas permitiendo una mejor compactación en la microestructura del material de aporte y el material base, procedimiento que según la consigna del código AWS D1.1: 2010 sección 3 título 3.5 (Requerimiento de la temperatura mínima de pre calentamiento e interpase) debe ser usada para prevenir fisuración según tabla 3.2 (Temperatura mínima de pre calentamiento precalificado y de interpase). Ver anexo N° 9

Actualmente existen numerosos métodos para poder determinar a través de cálculos y códigos la necesidad de precalentar una soldadura, en ellos se considera factores que pueden influir en la calidad de la soldadura debido a la susceptibilidad de fisuración en frío, estos pueden ser por composición química, nivel de hidrógeno, espesor de las piezas, grados de restricción entre muchas otras. Estos métodos consideran la formación de microestructuras frágiles en la ZAC de la soldadura y su comportamiento ante la presencia de hidrógeno en la misma.

El Diagrama de Graville, (ver figura N° 20 página 48) es utilizado normalmente para evaluar la posibilidad de aplicación de pre calentamiento o tratamiento térmico post-soldadura a través de la composición química del acero, dependiendo la zona donde se referencie el carbono equivalente se puede determinar el procedimiento a seguir; se consideran en el diagrama tres zonas las cuales se clasifican de la siguiente manera:

**Zona I:** Aceros de bajo carbono y bajo endurecimiento donde la fisuración es imposible, pero puede ocurrir con alto hidrógeno o alto nivel de restricción.

**Zona II:** Aceros con mayor porcentaje de carbono, el riesgo de presentar fisuración en la ZAC puede ser evitado mediante un control de la velocidad de enfriamiento o por medio de aporte térmico, considerando las pautas del AWS D1.1: 2010 tabla 3.2 sección 3 (Temperatura mínima de precalentamiento precalificado y de interpase) Ver anexo N° 9.

**Zona III:** Aceros con elevado porcentaje de carbono y alto endurecimiento y en todas las condiciones de soldadura se pueden presentar microestructuras susceptibles a fisuras, por lo que se debe aplicar procesos de bajo hidrógeno, precalentamiento y proceso de post-soldadura. (GONZALES 2015) (p. 53).

#### 4.5.12 Discontinuidades en el proceso GMAW

La figura N° 12 muestra los tipos de discontinuidades más comunes ocurridos en el proceso de soldadura GMAW:

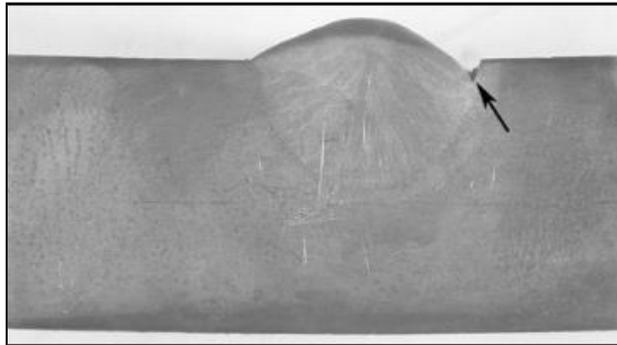
**FIGURA N° 12  
TIPOS DE DISCONTINUIDADES**

<b>DEFECTOS DE LA SOLDADURA</b>	<b>CAUSA</b>	<b>SOLUCIONES</b>
No enciende el arco	Falso contacto en la tierra	Ajustar la pinza de tierra al metal base
Arco errático	Baja tensión de voltaje	Ajustar parámetros de voltaje
Soldadura Irregular	Mala alimentación de alambre	Falta o existe demasiada presión en los rodillos de impulsión, rodillos equivocados, tubo de contacto incorrecto, alambre ondulado
Deformaciones	Calentamiento excesivo	Reducir amperaje o aumentar velocidad de aplicación
Desviación de arco	Tubo de contacto de diámetro mayor	Colocar el tubo de contacto de la medida del alambre
Soplo de arco	Campos magnéticos desvían el arco	Ajustar la tierra adecuadamente
Salpique excesivo	Amperaje demasiado elevado, material de aporte defectuoso	Reducir el amperaje, cambiar el material
Cráteres	Salida del charco de soldadura muy rápido	Salida en contra flujo del cordón
Poros	Velocidad de avance alta, gas protector húmedo	Aumentar flujo de gas de protección, cambiar el cilindro de gas
Grietas	Material de aporte inadecuado	Seleccionar el material de aporte correcto
Penetración deficiente	Amperaje bajo, polaridad incorrecta	Aumentar el amperaje, seleccionar polaridad correcta
Raíz defectuosa	Preparación inadecuada, pieza de espesor sin preparación	Corregir la preparación, hacer preparación a la pieza
Perforaciones	Separación de junta muy abierta, amperaje elevado	Corregir preparación de la pieza, reducir el amperaje

Fuente: Barrera y otros. 2015

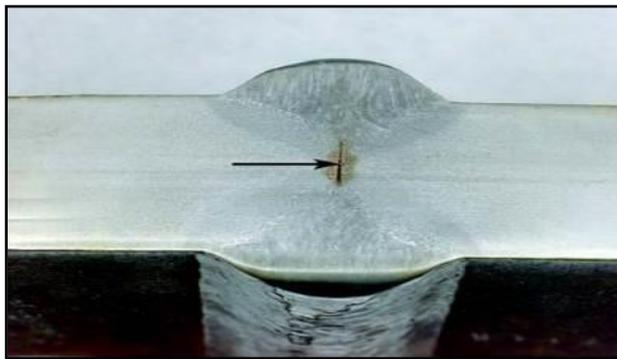
#### 4.5.13 Defectos de soldadura

**FIGURA N° 13  
SOCAVACIÓN**



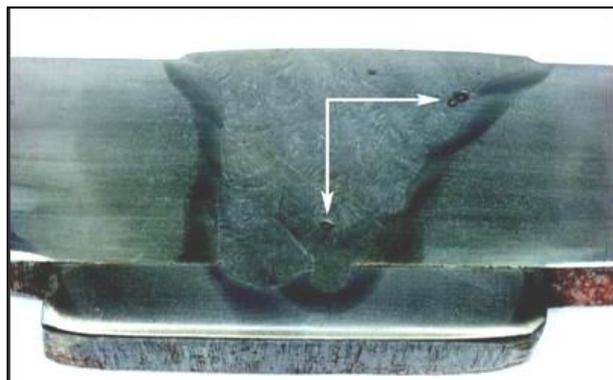
Fuente: AWS. Welding Handbook-novena edición

**FIGURA N° 14  
JUNTA CON PENETRACIÓN INCOMPLETA**



Fuente: AWS. Welding Handbook-novena edición

**FIGURA N° 15  
JUNTA CON POROSIDAD INTERNA**

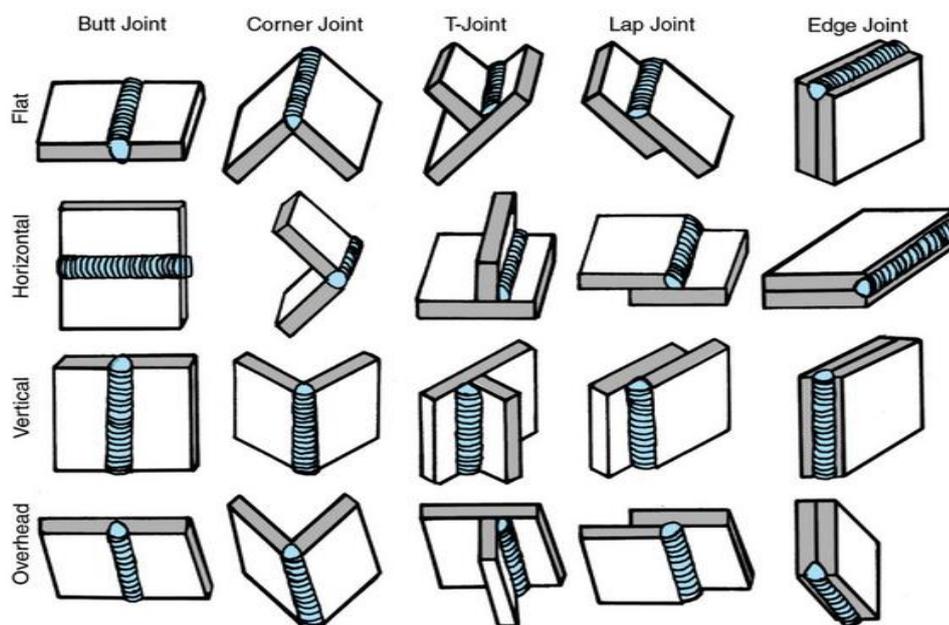


Fuente: AWS. Welding Handbook-novena edición

#### 4.5.14 Tipos de junta y posición de soldeo

Una junta es una unión de dos o más elementos producidos por la aplicación de un proceso de soldeo en diferentes posiciones, entre los tipos de junta y sus posiciones tenemos. Ver figura N° 16

**FIGURA N° 16**  
**TIPOS Y POSICIONES DE JUNTA**



Fuente: fsuweldprof.weebly 2018

#### 4.5.15 Ensayos no destructivos y destructivos

##### Ensayos no destructivos

Son aquellos que no destruyen la pieza o estructura y están orientados a la detección de discontinuidades que vayan a limitar las condiciones de servicio, sirven para determinar la calidad de los materiales. La selección del tipo de ensayo será en función de tipo y origen de la discontinuidad, proceso de manufactura, accesibilidad, nivel de sensibilidad requerido.

- **Inspección Visual**

Es el ensayo de mayor aplicación y donde el equipo principal es el ojo humano, es de fácil y rápida aplicación, no requiere equipo especial solo debe poseerse buena visión. En la inspección de soldadura se pueden utilizar galga como instrumento de ayuda, se puede realizar antes durante y después de la soldadura (CESOL 2013, Tema 4.8.1)

- **Radiografía**

Es un procedimiento que consiste en atravesar un componente mediante un haz de radiación electromagnética ionizante rayos gamma o rayos x.

Esta radiación será absorbida por las discontinuidades de la pieza atravesando el otro lado de la pieza e impregnando en una película con una radiación distinta que luego de su revelado mostrará las discontinuidades de la pieza. (CESOL 2013, Tema 4.8.4)

### **Ensayos destructivos**

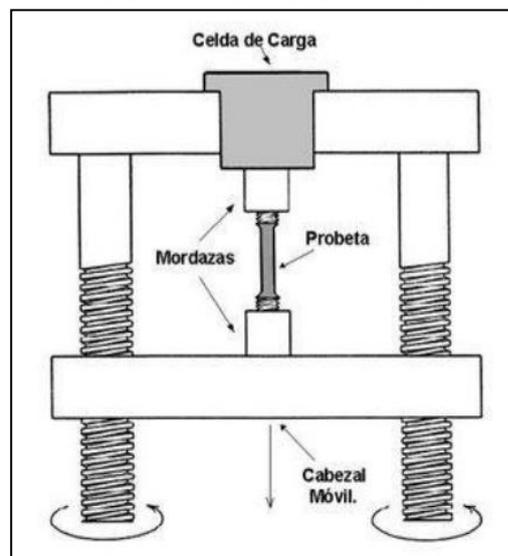
Son aquellos ensayos cuya operación originan la destrucción del material o parte de ella, tiene por finalidad comprobar la aptitud de los materiales para su empleo, es decir que las propiedades mecánicas y químicas cumplan los requisitos pre establecidos. Son usados para calificar procedimientos de soldadura y operadores de máquinas de soldar, como para determinar las propiedades mecánicas y metalúrgicas de un material. (CESOL 2013, Tema 2.23)

- **Ensayo de tracción**

Se utiliza para determinar las propiedades mecánicas del material como esfuerzo de tensión, límite de fluencia, alargamiento, etc.

La probeta es sometida a constante carga terminando en la rotura del material, puede determinarse mediante este ensayo el esfuerzo al cual se somete el cupón dividiendo la carga aplicada entre el área transversal de la misma, y la deformación se obtiene dividiendo el alargamiento total entre la longitud inicial. (CESOL 2013, Tema 2.23). Ver figura N° 17

**FIGURA N° 17  
BANCO DE ENSAYO UNIVERSAL**



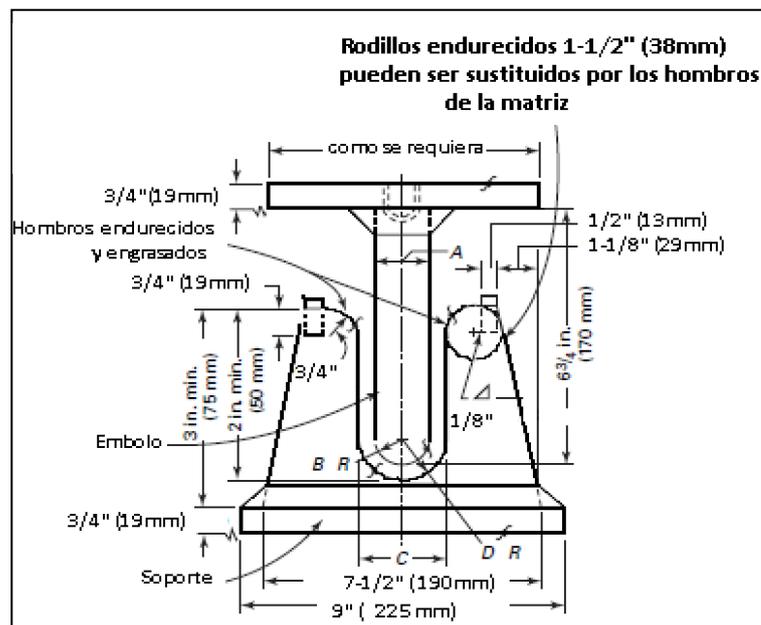
Fuente: CESOL 2013

- **Ensayo de Doblado**

La finalidad de este ensayo es determinar la ductilidad y la calidad del material de la soldadura, se realiza mediante el doblado de la probeta en forma de u, para luego examinar la zona doblada, se utiliza este ensayo para calificar procedimiento, habilidad de soldadores y operadores de

máquinas de soldar: Los ensayos de doblé pueden ser: Doble transversal de lado, doble transversal de raíz, doble transversal de cara, doble longitudinal de cara y doble longitudinal de raíz (CESOL 2013). Ver figura N° 18

**FIGURA N° 18  
MATRIZ DE ENSAYO DE DOBLEZ**



Fuente: ASME Sección IX 2015

#### 4.5.16 Especificación de procedimiento de soldadura (WPS)

Es un documento que contiene las directrices para elaborar soldadura de elementos dentro de sus alcances, contiene las variables esenciales y no esenciales relacionadas a cada proceso.

No permite el cambio de variables esenciales sin recalificación del procedimiento, solo se permite cambiar las variables no esenciales pues no afectan las propiedades mecánicas del material.

Las variables esenciales son aquellas que al ser cambiadas pueden afectar las propiedades mecánicas de la soldadura y requieren necesariamente recalificación. Algunas de ellas son, proceso de soldadura, metal de aporte, número P del metal base, entre otras.

Existen otras variables denominadas suplementarias esenciales, que requiere prueba de impacto, debido a que están relacionadas con la fuerzas de impacto a que se somete a la soldadura y se deben realizar pruebas cuando son requeridas

No hay un formato que sea obligatorio de WPS, estos pueden variar en su forma pero siempre deben contener la información necesaria que satisfaga las necesidades y exprese toda la información. (ASME IX 2015)

#### **4.5.17 Registro de calificación de procedimiento (PQR)**

Es un registro real de la calificación de procedimiento de soldadura. Contiene datos obtenidos durante el desarrollo de la soldadura y los resultados de los ensayos a los que fueron sometidos los especímenes de prueba, es decir contiene las variables esenciales y no esenciales empleados en el procedimiento y las variables suplementarias cuando se requiere. Este documento respalda a WPS. (ASME IX 2015)

#### **4.5.18 Definición de términos básicos**

**API.**- Instituto Americano del Petróleo

**ASME.**- American Society of Mechanical Engineers, Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.

**ASTM:** American Society for Testing Materials, Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales

**AWS,** American Welding Society, Sociedad Americana de Soldadura,

**Central hidroeléctrica** Instalación que utiliza energía hidráulica para la generación de energía eléctrica

**Código.-** Compendio de reglamentos organizados sistemáticamente, que definen las condiciones sobre el diseño, materiales, construcción, fabricación, personal, montaje, instalación, inspección, reparación, mantenimiento u operación de equipos y /o elementos soldados.

**Control:** Es la acción de controlar. Comprobar, inspeccionar, verificar. (Real academia de la lengua española)

**Especificación:** Documento que describe los requisitos técnicos para un material, producto, sistema o servicio.

**Inspección:** Es la acción de inspeccionar, examinar reconocer atentamente una cosa. (Real academia real de la lengua española)

**Norma:** Documento técnico normativo que plantea el por qué, cómo, con qué y para qué de la construcción de un elemento o conjunto soldado.

**Procedimiento:** Son los elementos detallados de un proceso, instrucciones detallados o método usado para producir un resultado específico. (AWS A3.0:2001)

**Proceso:** Es conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entradas en resultados.

**Tubería forzada:** Tubería de una central hidroeléctrica, que lleva agua desde el canal o embalse hasta la turbina.

**Varillón:** Tubería forzada compuesta de dos o más tuberías en línea unidas por juntas circunferenciales.

#### **4.5.19 Marco normativo**

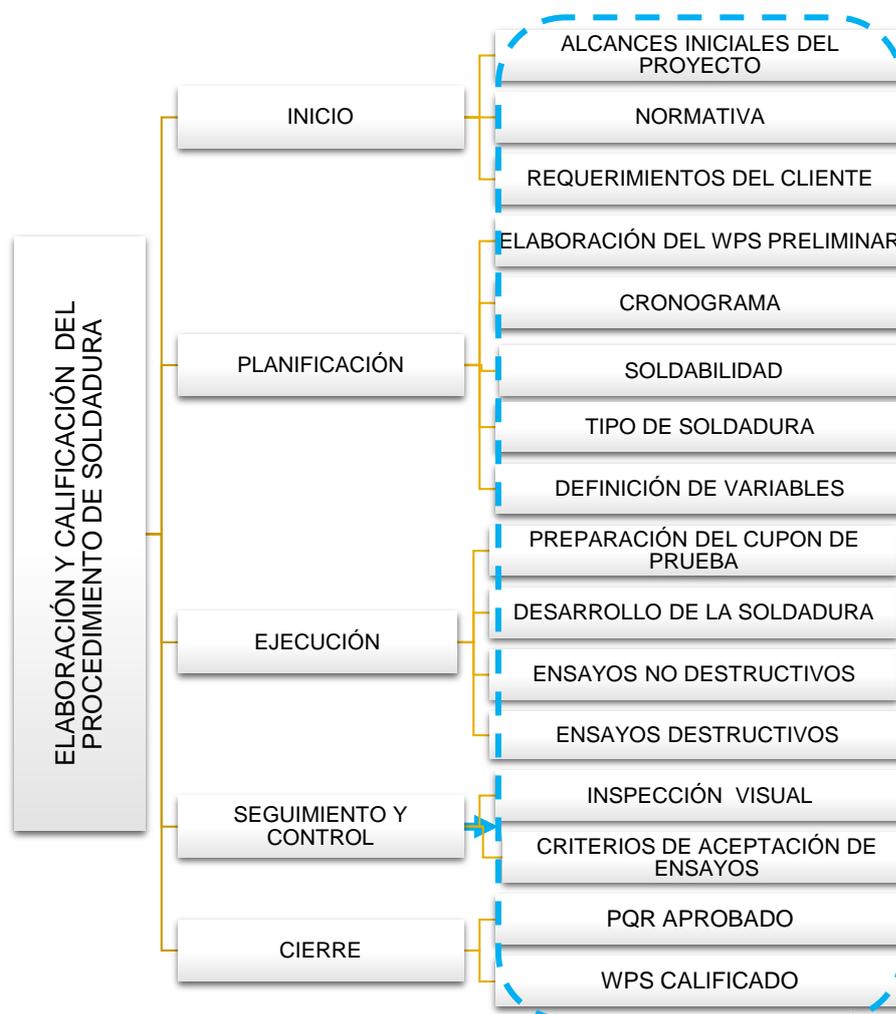
El marco normativo aplicable al proyecto, se fundamentó en los siguientes documentos:

- ASME Sección IX Qualification standard for Welding, Brazing and Fusing Procedures, Welders Brazers, and Welding, Brazing and Fusing operators 2015
- ASTM Standard Specification for A572/ A572M 2007
- AWS D1.1/D1 Código de acero estructural 2010
- ANSI/AWS 3.0. Norma de términos y definiciones de Soldadura. 2001
- ASME Sección VIII Rules for Construction Pressure Vessels. 2010

## 4.6 FASES DEL PROYECTO

El proyecto se desarrolló en 5 fases: Inicio, planificación, ejecución, seguimiento y control, cierre; como se puede ver en la figura N° 19

**FIGURA N° 19**  
**DIAGRAMA DE FASES DEL PROYECTO**



Fuente: Elaboración propia

### 4.6.1 Inicio

En esta fase se desarrollaron tres puntos principales:

### **a) Reconocimiento de los alcances iniciales del proyecto**

Fue relevante reconocer qué alcances iniciales presentaría la elaboración y calificación de un WPS dentro del contexto del proyecto de fabricación de tubería forzada para las Centrales Hidroeléctricas Ángel I. II y III, es decir, conocer más detalles de la estructura a fabricar.

Se requerían fabricar tuberías forzadas a partir de planchas suministradas por el cliente cuyo tipo de material fue A572 GR50, mediante procesos de habilitado y rolado se conformaban tubos con juntas longitudinales, la soldadura de dichas juntas deberían realizarse en taller, posteriormente con dos o tres tubos soldados longitudinalmente, se armaría un varillón con juntas circunferenciales, estos a su vez, iban a formar parte de una línea de ductos verticales (pique) y ductos horizontales con pendiente, teniendo como límite superior la cámara de carga y como límite inferior a la turbina en la casa de máquinas. Ver planos 1 y 2. Los diámetros de las tuberías a soldar comprendían los 800mm, 1000mm y 1600mm con espesores de plancha de 9mm, 12mm, 16mm, 19mm, 25mm y 50mm. Las juntas a soldar tendrían: longitudinales de 2400mm y 3000mm de largo, mientras las juntas circunferenciales en promedio de 5090 mm de largo.

## **b) Normativa**

Para la elaboración del procedimiento de soldadura fue necesario seleccionar el código ASME sección IX - 2015, documento principal, que contempla los lineamientos generales de soldaduras, calificación de procedimientos de soldadura, calificación de habilidades de soldadura. Los alcances de este código cubren el tipo de tubería forzada que se requería fabricar. Asimismo se utilizaron fuentes auxiliares como se mencionó en 4.5.19 pág. 42

- **Requerimientos del Cliente**

Este punto fue de suma importancia, debido a que el cliente nos indicó solicitudes con ciertas limitaciones, como: tiempo de fabricación sin demoras, preferencia por un proceso de soldadura de bajo costo y alto rendimiento, material base, tipo de juntas. Por tanto, era necesario conocer, comprender y tomar en cuenta las necesidades del cliente para satisfacer sus requerimientos.

## **4.6.2 Planificación**

En esta fase se entró más al detalle de las actividades y los plazos para llevar a cabo el proyecto.

### **a) Elaboración del WPS preliminar**

Una vez conocidas las características iniciales del proyecto, como parte de la planificación se inició la elaboración del WPS preliminar

comenzando con el cronograma de actividades, luego con la verificación de la soldabilidad del material base A572 GR50 que iba a ser sometido a prueba, se optó por el tipo de proceso de soldadura a utilizar y se realizó la definición de variables esenciales, no esenciales que iban a intervenir en el proceso.

#### **b) Cronograma de actividades**

Se realizó un cronograma para detallar las actividades secuenciales del proyecto. Ver anexo N° 14, que se adjunta

#### **c) Soldabilidad del metal base.**

La soldabilidad de todo material, antes de ser soldado, se puede predecir a través de fórmulas de carbono equivalente (CE), haciendo uso de datos de porcentaje de elementos que intervienen en su composición química.

La soldabilidad de un acero está relacionado indirectamente a su porcentaje de carbono equivalente y a su espesor, es decir, a mayor porcentaje de CE y mayor espesor, entonces, menor soldabilidad mientras menor sea la soldabilidad de un acero mayor deben ser las previsiones a tomarse en cuenta, tales como, precalentamiento, post calentamiento, adecuada calificación de procedimientos y de soldadores, inspección antes durante y después del proceso de soldadura.

En la tabla N° 1, se muestra la composición química del metal base A572 GR50, de la cual se obtuvo; % de Carbono C, % de Manganeso Mn, que son los principales elementos en la composición del acero, es de notar, que se muestran % máximos, además, existen algunos elementos que en porcentajes muy reducidos no están presentes en la tabla, pero para un cálculo más exacto de CE, estos porcentajes se pueden tomar del certificado de calidad del material como se muestra en el anexo N° 3 adjunto, de cualquier forma el resultado obtenido solo varía alrededor de 0.5

**TABLA N° 1  
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL A572 GR50**

TABLE 2 Chemical Requirements <sup>A</sup> (Heat Analysis)								
Diameter, Thickness, or Distance Between Parallel Faces, in. [mm] Plates and Bars	Structural Shape Flange or Leg Thickness, in. [mm]	Grade	Carbon, max, %	Manganese, B max, %	Phosphorus, max, %	Sulfur, max, %	silicon	
							Plates to 1 1/2 in. [40 mm] Thick, Shapes with Flange or Leg Thickness to 3 in. [75 mm] inclusive, Sheet Piling, Bars, Zees, and Rolled Tees <sup>C</sup>	Plates Over 1 1/2 in. [40 mm] Thick and Shapes with Flange Thickness Over 3 in. [75 mm]
							max, %	range, %
6 [150]	all	42 [290]	0.21	1.35 <sup>D</sup>	0.04	0.05	0.4	0.15–0.40
4 [100] <sup>E</sup>	all	50 [345]	0.23	1.35 <sup>D</sup>	0.04	0.05	0.4	0.15–0.40
2 [50] <sup>F</sup>	all	55 [380]	0.25	1.35 <sup>D</sup>	0.04	0.05	0.4	0.15–0.40
1 1/4 [32] <sup>F</sup>	<= [50]	60 [415]	0.26	1.35 <sup>D</sup>	0.04	0.05	0.4	G
>1/2 – 1 1/4 [13–32]	>1-2 [25-50]	65 [450]	0.23	1.65	0.04	0.05	0.4	G
<=1/2 [13] <sup>H</sup>	<= 1 <sup>H</sup>	65 [450]	0.26	1.35	0.04	0.05	0.4	G

<sup>A</sup> Copper when specified shall have a minimum content of 0.20 % by heat analysis (0.18 % by product analysis).  
<sup>B</sup> Manganese, minimum, by heat analysis of 0.80 % (0.75 % by product analysis) shall be required for all plates over 3/8 in. [10 mm] in thickness; a minimum of 0.50 % (0.45 % by product analysis) shall be required for plates 3/8 in. [10 mm] and less in thickness, and for all other products. The manganese to carbon ratio shall not be less than 2 to 1.  
<sup>C</sup> Bars over 1 1/2 in. [40 mm] in diameter, thickness, or distance between parallel faces shall be made by a killed steel practice.  
<sup>D</sup> For each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum is permitted, up to a maximum of 1.60 %.  
<sup>E</sup> Round bars up to and including 1 1/2 in. [275 mm] in diameter are permitted.

Fuente: ASTM Standard specification A572/A572M

Para calcular el Carbono Equivalente (CE) del material A572 GR50 se utilizó la siguiente fórmula del instituto internacional de soldadura:

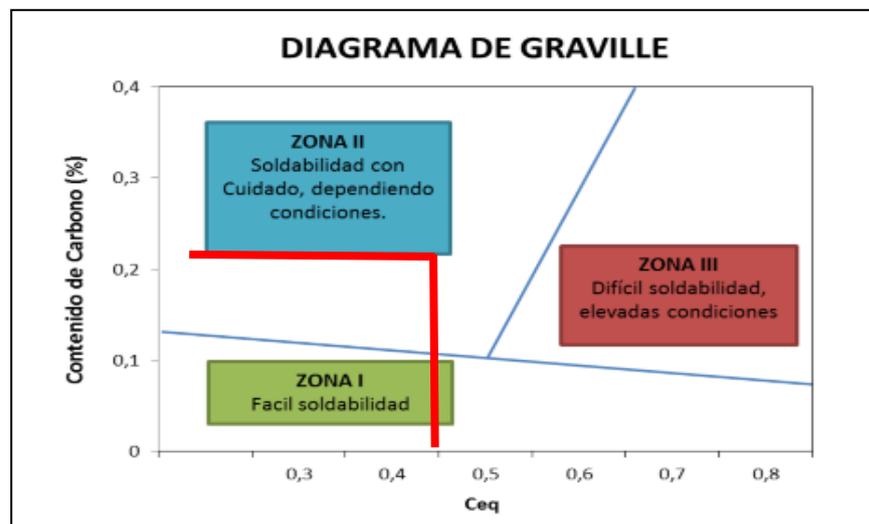
### FÓRMULA DE CARBONO EQUIVALENTE - IIW

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (1)$$

Fuente: FOSCA, 2007

Con los datos obtenidos de la Tabla N° 1, pag.47, composición química del material A572, el resultado de la fórmula dio un valor de 0.45. Si observamos la figura N° 20 del diagrama de Graville, podemos notar que se ubica en la zona II, lo que indica que se trata de un acero con soldabilidad condicionada a precalentamiento.

FIGURA N° 20  
DIAGRAMA DE GRAVILLE



Fuente: Ingemecánica

El carbono equivalente hallado es una referencia que toma en cuenta sólo la composición química, no se puede negar su utilidad como criterio para evaluar los riesgos de fisuración en frío y la adopción de precalentamiento adecuado, pero existen otros factores que pueden influenciar en la microestructura del material en consecuencia en la

soldabilidad, como por ejemplo el aporte de calor, el tipo de junta, el espesor de la plancha, el grado de embridamiento, el contenido de hidrógeno, etc.

Mediante la norma específica del material, se pudo verificar sus propiedades mecánicas con ayuda de las siguientes tablas, conociendo, el máximo espesor disponible, el límite de elasticidad y la resistencia a la tracción del material.

La Tabla N° 2, muestra los máximos espesores disponibles en los grados y productos considerados por la especificación A572, y para el grado 50 se tiene un límite de elasticidad de 345 Mpa o 50 Ksi, el espesor máximo para estas planchas es de 4 pulgadas o 100mm.

Asimismo la Tabla N° 3, en la página 50, nos indica el límite elástico y el esfuerzo de tensión, para el grado 50 se tiene un límite elástico de 50 Ksi, (345Mpa) y un esfuerzo de tensión de 65 Ksi (450 Mpa).

**TABLA N° 2  
TAMAÑO O ESPESOR MÁXIMO DEL MATERIAL A572 GR50**

 <b>A 572/A 572M – 07</b>								
TABLE 1 Maximum Product Thickness or Size								
Grade	Yield Point, min		Maximum Thickness or Size					
	Ksi	Mpa	Plates and Bars		Structural Shape Flang or Leg		Sheet Pilling	Zees and Rolled Tees
			in.	[mm]	in.	[mm]		
42 [290] <sup>A</sup>	42	[290]	6	[150]	all	all	all	all
<b>50 [345]<sup>A</sup></b>	<b>50</b>	<b>[345]</b>	<b>4<sup>B</sup></b>	<b>[100]<sup>B</sup></b>	all	all	all	all
55 [380]	55	[380]	2	[50]	all	all	all	all
60 [415] <sup>A</sup>	60	[415]	1 1/4 <sup>C</sup>	[32] <sup>C</sup>	2	[50]	all	all
65 [450]	65	[450]	1 1/4	[32]	2	[50]	not available	all

A In the above tabulation, Grades 42, 50, and 60 [290, 345, and 415], are the yield point levels most closely approximating a geometric progression pattern between 36 ksi [250 MPa], min, yield point steels covered by Specification A 36/A 36M and 100 ksi [690 MPa], min, yield strength steels covered by Specification A 514/A 514M.

B Round bars up to and including 11 in. [275 mm] in diameter are permitted.

C Round bars up to and including 3 1/2 in. [90 mm] in diameter are permitted.

Fuente: ASTM Standard specification A572/A572M

**TABLA N° 3  
ESFUERZO DE TENSIÓN DEL MATERIAL A572 GR50**

<b>TABLE 4 Tensile Requirements</b>						
Grade	Yield Point, min		Tensile Strength, min		Minimum Elongation, % B,C,D	
					in 8in. [200 mm]	in 2in. [50 mm]
	ksi	[MPa]	ksi	[MPa]	in.	in.
42 [290]	42	[290]	60	[415]	20	24
<b>50 [345]</b>	<b>50</b>	<b>[345]</b>	<b>65</b>	<b>[450]</b>	18	21
55 [380]	55	[380]	70	[485]	17	20
60 [415]	60	[415]	75	[520]	16	18
65 [450]	65	[450]	80	[550]	15	17

A See specimen Orientation under the Tension Tests section of Specification A6/A6M.  
 B Elongation not required to be determined for floor plate.  
 C For wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], elongation in 2 in. [50 of 19 % minimum applies.  
 D For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points for Grades 42, 50, and 55 [290, 345, and 380], and percentage points for Grades 60 and 65 [415 and 450]. See elongation requirement adjustments in the Tension Tests section of Specification A6/A6M.

Fuente: ASTM Standard specification A572/A572M

Estos datos de límite de elasticidad y resistencia a la tensión fueron muy importantes y se tomaron en cuenta al momento de seleccionar el metal de aporte a utilizar en la elaboración de nuestro procedimiento de soldadura preliminar.

**d) Tipo de soldadura**

El tipo de soldadura que el cliente requería era un proceso de bajo costo pero a su vez de buen rendimiento, es decir, que sea productivo y evite tiempos de espera.

De los procesos de soldadura más usados, en cuanto a su eficiencia de deposición, velocidad de deposición, costo por material de aporte, factor de operación, etc., se seleccionó el proceso GMAW pues, reunía muchas condiciones favorables, además, se revisó las

recomendaciones de acuerdo a la Guía para seleccionar un proceso de soldadura - CESOL, (Asociación Española de tecnologías de unión) que hace mención a criterios de selección. Ver Tabla N° 4

**TABLA N° 4  
GUÍA PARA SELECCIONAR UN PROCESO DE SOLDADURA**

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE SOLDADURA Y TECNOLOGÍAS DE UNIÓN									
Criterio de selección	SOLDEO POR ARCO						OTROS PROCESOS		
	SMAW	FCAW	GMAW	SAW	GTAW	FAW	OFW	EBW	LBW
<b>Consideraciones de diseño</b>									
Estructura principal	B	B	B	B	A	A	C	A	A
Estructura secundaria	A	A	A	B	B	B	B	B	B
No critico	A	A	A	B	C	C	B	B	B
Metales disimilares	B	B	B	C	A	A	C	A	A
<b>Configuración de la unión</b>									
A tope	A	A	A	A	A	A	A	A	A
En T	A	A	A	B	B	B	B	B	B
En bordes	B	B	B	C	A	A	B	A	A
En angulo	B	B	B	C	B	B	B	C	C
Posicion de soldeo	A	A	A	C	A	A	B	C	B
Portabilidad del equipo	3	3	3	3	3	3	4	1	1
Corte	1	2	2	3	2	2	1	4	4
Factor de operación	1	3	3	4	2	2	2	4	4
Velocidad de aportación	2	3	3	4	1	1	1	1	1
Aprovechamiento del metal de aporte	1	2	3	4	4	4	3	4	4
<b>Espesores a soldar</b>									
0,02 a 0,5	D	D	D	D	B	B	D	A	A
0,5 a 1,25	C	C	B	D	A	A	B	A	A
1,25 a 2,5	B	C	B	D	A	A	B	A	A
2,5 a 6	B	B	A	C	A	A	B	A	A
6 a 12	A	A	A	B	B	B	B	A	B
12 a 24	A	A	A	B	C	C	B	A	C
24 a 50	A	A	A	A	C	C	C	A	C
may a 50	A	A	A	A	C	C	C	A	D
Gruesos a delgados	B	B	B	C	A	A	B	A	A
<b>Material a soldar</b>									
Acero a carbono	A	A	A	A	B	B	B	C	B
Acero a baja aleacion	B	B	B	B	B	B	C	B	B
Acero alta resistencia	B	B	B	B	B	B	D	B	C
Acero inoxidable, serie 300	B	B	B	B	A	A	C	A	A
Aluminio	D	B	B	D	A	A	C	A	C

A= mas adecuado, B= satisfactorio, C= uso restringido, D= no recomendado.  
1= el mas bajo, 4= el mas alto

Fuente: CESOL (Asociación española de soldadura y tecnologías de unión)

e) **Definición de las variables** Para la elaboración del procedimiento de soldadura preliminar se consideró las variables esenciales, suplementarias, y no esenciales, según el QW-255 del código ASME

sección IX, nos muestra las variables para el proceso GMAW, con las que se evaluó para definir las en el WPS preliminar. Ver tablas N° 5 y N° 6

**TABLA N° 5  
QW-255 VARIABLES DE PROCESO GMAW**

Table QW-255 Welding Variables Procedure Specifications (WPS) — Gas Metal-Arc Welding (GMAW and FCAW)				
Paragraph	Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential
<b>QW-402 Joints</b>	0.1 $\phi$ Groove design			X
	0.4 – Backing			X
	0.1 $\phi$ Root spacing			X
	0.11 $\pm$ Retainers			X
<b>QW-403 Base Metals</b>	0.5 $\phi$ Group Number		X	
	0.6 $T$ Limits		X	
	0.8 $\phi$ $T$ Qualified	X		
	0.9 $t$ Pass > 1/2 in. (13 mm)	X		
	0.1 $T$ limits (S. cir. arc)	X		
	0.11 $\phi$ P-No. qualified	X		
<b>QW-404 Filler Metals</b>	0.4 $\phi$ F-Number	X		
	0.5 $\phi$ A-Number	X		
	0.6 $\phi$ Diameter			X
	0.12 $\phi$ Classification		X	
	0.23 $\phi$ Filler metal product form	X		
	0.24 $\pm$ or $\phi$ Supplemental	X		
	0.27 $\phi$ Alloy elements	X		
	0.3 $\phi$ $t$	X		
	0.32 $t$ Limits (S. cir. arc)	X		
0.33 $\phi$ Classification			X	
<b>QW-405 Positions</b>	0.1 + Position			X
	0.2 $\phi$ Position		X	
	0.3 $\phi$ $\uparrow \downarrow$ Vertical welding			X
<b>QW-406 Preheat</b>	0.1 Decrease > 100°F (55°C)	X		
	0.2 $\phi$ Preheat maint.			X
	0.3 Increase > 100°F (55°C) (IP)		X	
<b>QW-407 PWHT</b>	0.1 $\phi$ PWHT	X		
	0.2 $\phi$ PWHT (T & T range)		X	
	0.4 $T$ Limits	X		
<b>QW-408 Gas</b>	0.1 $\pm$ Trail or $\phi$ comp.			X
	0.2 $\phi$ Single, mixture, or %	X		
	0.3 $\phi$ Flow rate			X
	0.5 $\pm$ or $\phi$ Backing flow			X
	0.9 – Backing or $\phi$ comp.	X		
	0.1 $\phi$ Shielding or trailing	X		
<b>QW-409 Electrical Characteristics</b>	0.1 > Heat input		X	
	0.2 $\phi$ Transfer mode	X		
	0.4 $\phi$ Current or polarity		X	X
	0.8 $\phi$ I & E range			X

Fuente: ASME Sección IX

**TABLA N° 6**  
**QW-255 VARIABLES DE PROCESO GMAW-Continuación**

Table QW-255 Welding Variables Procedure Specifications (WPS) — Gas Metal-Arc Welding (GMAW and FCAW)					
Paragraph	Brief of Variables	Essential	Supplementary Essential	Nonessential	
<b>QW-410 Technique</b>	0.1	ϕ String/weave			X
	0.3	ϕ Orifice, cup, or nozzle size			X
	0.5	ϕ Method cleaning			X
	0.6	ϕ Method back gouge			X
	0.7	ϕ Oscillation			X
	0.8	ϕ Tube-work distance			X
	0.9	ϕ Multiple to single pass/side		X	X
	0.1	ϕ Single to multiple electrodes		X	X
	0.15	ϕ Electrode spacing			X
	0.25	ϕ Manual or automatic			X
	0.26	± Peening			X
0.64	Use of thermal processes	X			
+ Addition > Increase/greater than ↑ Uphill ← Forehand ϕ Change - Deletion < Decrease/less than ↓ Downhill → Backhand					

Fuente: ASME Sección IX

**f) Desarrollo del WPS preliminar**

Se utilizó el formato QW-482, formato sugerido por ASME Sección IX, para la elaboración de nuestro WPS preliminar, como se muestra en las figuras siguientes se dividió en 8 secciones, (ver fig. N° 21 y 22) para una mejor explicación, se desarrolló el WPS por cada sección, las variables de acuerdo a las condiciones de nuestro proyecto.

**FIGURA N° 21**  
**FORMATO SUGERIDO WPS QW-482**

FORM QW-482 SUGGESTED FORMAT FOR WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS) (See QW-200.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)	
Organization Name _____	<b>SECCIÓN 1</b>
Welding Procedure Specification No. _____	By _____
Revision No. _____	Date _____
Welding Process(es) _____	Supporting PQR No.(s) _____
	Type(s) _____
	Automatic, Manual, Machine, or Semi-Automatic _____
<b>JOINTS (QW-402) Details</b>	
Joint Design _____	
Root Spacing _____	
Backing Yes _____ No _____	
Backing Material (Type) _____	
	<b>SECCIÓN 2</b>
to both backing and retape	
<input type="checkbox"/> Metal	<input type="checkbox"/> Nonfusing Metal
<input type="checkbox"/> Nonmetallic	<input type="checkbox"/> Other
<p>Sketches, Production Drawings, Weld Symbols, or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified.</p> <p>Sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers, and bead sequence (e.g., for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)</p>	
<b>*BASE METALS (QW-403)</b>	
P-No. _____	Group No. _____
	to P-No. _____
	Group No. _____
OR	
Specification and type/grade or UNS Number _____	
to Specification and type/grade or UNS Number _____	
OR	
Chem. Analysis and Mech. Prop. _____	
to Chem. Analysis and Mech. Prop. _____	
Thickness Range: _____	
Base Metal: Groove _____	Fillet _____
Maximum Pass Thickness $\leq 1/2$ in. (13mm) (Yes) _____	(No) _____
Other _____	
<b>SECCIÓN 3</b>	
<b>*FILLER METALS (QW-404)</b>	
	1
	2
Spec. No. (SFA) _____	
AWS No. (class) _____	
F-No. _____	
A-No. _____	
Size of Filler Metals _____	
Filler Metal Product Form _____	
Supplemental Filler Metal _____	
Weld Metal _____	
Deposited Thickness: _____	
Groove _____	
Fillet _____	
Electrode-Flux (Class) _____	
Flux Type _____	
Flux Trade Name _____	
Consumable Insert _____	
Other _____	
	<b>SECCIÓN 4</b>

Fuente: ASME Sección IX

**FIGURA N° 22**  
**FORMATO SUGERIDO WPS QW-482 POSTERIOR**

FORM QW.482 (Back)				WPS No. _____ Rev. _____																									
<b>POSITIONS (QW-405)</b> Position(s) of Groove _____ Welding Progressic Up _____ Down _____ Position(s) of Fillet _____ Other _____				<b>POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)</b> Temperature Range _____ Time Range _____ <b>SECCIÓN 5</b> Other _____																									
<b>PREHEAT (QW-406)</b> Preheat Temperature, Minimum _____ Interpass Temperature, Maximim _____ Preheat Maintenance _____ Other _____ (Continuous or special heating, where applicable, should be s				<b>GAS (QW-408)</b> <table style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td align="center" colspan="3">Percent Composition</td> </tr> <tr> <td></td> <td align="center">Gas(es)</td> <td align="center">(Mixture)</td> <td align="center">Flow Rate</td> </tr> <tr> <td>Shielding</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Tralling</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Backing</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Other</td> <td>_____</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </table>			Percent Composition				Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate	Shielding	_____	_____	_____	Tralling	_____	_____	_____	Backing	_____	_____	_____	Other	_____	_____	_____
	Percent Composition																												
	Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate																										
Shielding	_____	_____	_____																										
Tralling	_____	_____	_____																										
Backing	_____	_____	_____																										
Other	_____	_____	_____																										
<b>SECCIÓN 6</b>																													
<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)</b>																													
Weld Pass(es)	Process	Filler Metal		Current Type and Polarity	Amps (Range)	Wire Feed Speed (Range)	Energy or Power (Range)	Volts (Range )	Travel Speed (Range)	Other (e.g., Remarks, Comments, Hot Wire Addition, Technique, Torch Angle,																			
		Classifi- cation	Diamet er																										
Amps and volts, or power or energy range, should be specified for each electrode size, position, and thickn																													
<b>SECCIÓN 7</b>																													
Pulsing Current _____ Heat Input (max.) _____																													
Tungsten Electrode Size and Type _____ (Pure Tungsten, 2% Thorlated, etc)																													
Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW) _____ (Spray Arc, Short Circulting Arc, etc)																													
Other _____																													
<b>SECCIÓN 8</b>																													
<b>TECHNIQUE (QW-410)</b>																													
String or Weave Bead _____																													
Orifice, Nozzle, or Gas Cup Size _____																													
Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.) _____																													
Method of Back Gouging _____																													
Oscillation _____																													
Contact Tube to Work Distance _____																													
Multiple or Single Pass (Per Side) _____																													
Multiple or Single Electrodes _____																													
Electrode Spacing _____																													
Peening _____																													
Other _____																													

Fuente: ASME Sección IX

## Sección 1: Datos generales

En esta sección del formato, se registró el nombre de la organización, el nombre del responsable de la elaboración y calificación quien debería tener conocimientos y experiencia (ver anexo 1), también se le asignó un número al procedimiento de soldadura en elaboración, se indicó además la fecha de elaboración del WPS y se asignó el número de PQR que soporta al WPS, también el número de revisión y fecha de la revisión, finalmente se anotó el proceso y tipo de soldadura.

**FIGURA N° 23**  
**SECCIÓN 1 (DATOS GENERALES) FORMATO QW-482**

FORM QW-482 SUGGESTED FORMAT FOR WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)			
(See QW-200.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)			
Organization Name	CyM CG SAC	By	Fernando Chávez Ascarruz
Welding Procedure Specification No.	001-2016	Date	11/07/2016
Revision No.	0	Supporting PQR No.(s)	100-2016
Date	11/07/2016		
Welding Process(es)	GMAW (Gas Metal Arc Welding)	Type(s)	Semiautomático
			(Automatic, Manual, Machine, or Semi-Automatic)

Fuente: Elaboración propia

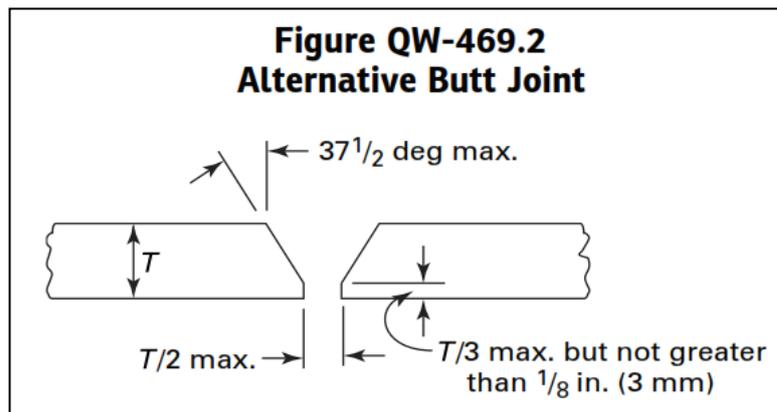
## Sección 2: Diseño de Junta

En esta sección se indicó el tipo de junta y sus características como espacio de raíz y talón, ángulo de bisel y se dibujó el esquema de la junta como se ve en la figura N° 25 de la siguiente página.

Se consideraron los lineamientos del QW-402, que define las variables de esta sección, además según el párrafo QW-310.3 Soldadura de ranura sin respaldo, menciona que las dimensiones de la soldadura de

ranura sin respaldo usado en el cupón de prueba para calificación, deben ser las mismas especificadas en el WPS. Asimismo se eligió el tipo de junta a tope alterna que se muestra en QW-469.2, ver figura N° 24, el llenado de los datos de la sección se aprecia en la figura N° 25

**FIGURA N° 24**  
**QW 469.2 JUNTA A TOPE ALTERNA**



Fuente: ASME Sección IX

**FIGURA N° 25**  
**SECCIÓN 2 (DISEÑO DE JUNTA) FORMATO QW-482**

JOINTS (QW-402)		Details	
Joint Design	a tope con ranura simple en V		
Root Spacing	0-3 mm		
Backing: Yes	No	X	
Backing Material (Type)			
(Refer to both backing and retainers)			
<input type="checkbox"/> Metal	<input type="checkbox"/> Nonfusing Metal		
<input type="checkbox"/> Nonmetallic	<input type="checkbox"/> Other		
Back weld	Yes	X	No
Sketches, Production Drawings, Weld Symbols, or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified.			

$\alpha: 60^{\circ} \pm 10^{\circ}$

$2^{da} - n^{\circ}$

F=(0-3)mm

1<sup>er</sup>

Respaldo

R=(0-3)mm

T

Fuente: Elaboración propia

### Sección 3: Metal base

Se consideró los lineamientos del QW-403, que define el tipo de variables. Esta sección hace referencia a las características del metal base, al cual se le debe asignar un número P, por tanto, de la tabla QW/QB-422 P NUMBER, se identificó el metal base que para nuestro caso fue A572 GR50, obteniendo su respectivo número P que es 1 y su número de grupo también es 1. Ver tabla N° 7, extraída del anexo 4

**TABLA N° 7  
EXTRACTO DE QW /QB-422 P NUMBERS**

Table QW/QB-422 Ferrous/Nonferrous P-Numbers Grouping of Base Metals for Qualification (Cont'd)										
Spec. No.	Type or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi (MPa)	Welding		Brazing		Group	Nominal Composition	Product Form
				P-No.	No.	P-No.	ISO 15608			
Ferrous (Cont)										
A/SA-557	A2	K01807	47 (325)	1	1	101	1.1	C	E.R.W. tube	
A/SA-557	B2	K03007	60 (415)	1	1	101	11.1	C	E.R.W. tube	
A/SA-557	C2	K03505	70 (485)	1	2	101	11.1	C-Mn	E.R.W. tube	
A/SA-562	...	K11224	55 (380)	1	1	101	1.1	C-Mn-Ti	Plate	
A/SA-572	42	...	60 (415)	1	1	101	1.2	C-Mn-Si	Plate & shapes	
<b>A/SA-572</b>	<b>50</b>	...	<b>65 (450)</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>101</b>	<b>1.2</b>	<b>C-Mn-Si</b>	<b>Plate &amp; shapes</b>	
A/SA-572	60	...	75 (515)	1	2	101	11.1	C-Mn-Si	Plate & shapes	
A573	58	...	58 (400)	1	1	101	11.1	C	Plate	
A573	65	...	65 (450)	1	1	101	11.1	C	Plate	
A573	70	...	70 (485)	1	2	101	11.1	C	Plate	
A575	M 1008	...	...	1	1	101	1.1	C	Bar	
A575	M 1010	...	...	1	1	101	1.1	C	Bar	

Fuente: ASME Sección IX

Asimismo en esta sección se registró el tipo y grado de material de los metales base a unir, en este caso se dejó libre para no tener restricciones y la posibilidad de usar otros metales base dentro del mismo grupo 1 y número 1, considerando características mecánicas similares. También se considera el registro del número UNS si lo tuviese y la composición química del material y las propiedades

mecánicas de tensión mínima específicas, estos datos se hallaron en la tabla N° 7 QW/QB-422, pág. 58 y anexo N° 4

De otro lado, para definir el rango de espesor calificado se recurrió a la siguiente tabla N° 8 QW-451.1.

**TABLA N° 8 QW-451.1  
ENSAYO DE TENSION Y DOBLEZ TRANSVERSAL**

Table QW-451.1 Groove-Weld Tension Tests and Transverse-Bend Tests							
Thickness <i>T</i> of Test Coupon, Welded, in. (mm)	Range of Thickness <i>T</i> of Base Metal, Qualified, in. (mm)		Maximum Thickness <i>t</i> of Deposited Weld Metal, Qualified, in. (mm) [Note (1)] and [Note (2)]	Type and Number of Tests Required (Tension and Guided-Bend Tests) [Note (2)]			
	Min.	Max.		Tension, QW-150	Side Bend, QW-160	Bend, QW-160	Root Bend, QW-160
Less than 1/16 (1.5)	<i>T</i>	2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	...	...	2
1/16 to 3/8 (1.5 to 10), incl.	1/16 (1.5)	2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	[Note (5)]	2	2
Over 3/8 (10), but less than 3/4 (19)	3/16 (5)	2 <i>T</i>	2 <i>t</i>	2	[Note (4)]	4	...
3/4 (19) to less than 1 1/2 (38)	3/16 (5)	2 <i>T</i>	2 <i>t</i> when <i>t</i> < 3/4 (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
<b>3/4 (19) to less than 1 1/2 (38)</b>	<b>3/16 (5)</b>	<b>2<i>T</i></b>	<b>2<i>T</i> when <i>t</i> ≥ 3/4 (19)</b>	<b>2 [Note (4)]</b>	<b>4</b>	<b>...</b>	<b>...</b>
1 1/2 (38) to 6 (150), incl.	3/16 (5)	8 (200) [Note (3)]	2 <i>t</i> when <i>t</i> < 3/4 (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
1 1/2 (38) to 6 (150), incl.	3/16 (5)	8 (200) [Note (3)]	8 (200) [Note (3)] when <i>t</i> ≥ 3/4 (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
Over 6 (150) [Note (6)]	3/16 (5)	1.33 <i>T</i>	2 <i>t</i> when <i>t</i> < 3/4 (19)	2 [Note (4)]	4	...	...
Over 6 (150) [Note (6)]	3/16 (5)	1.33 <i>T</i>	1.33 <i>T</i> when <i>t</i> ≥ 3/4 (19)	2 [Note (4)]	4	...	...

NOTES:  
(1) The following variables further restrict the limits shown in this table when they are referenced in QW-250 for the process under consideration: QW-403.9, QW-403.10, QW-404.32, and QW-407.4. Also, QW-202.2, QW-202.3, and QW-202.4 provide exemptions that supersede the limits of this table.  
(2) For combination of welding procedures, see QW-200.4.  
(3) For the SMAW, SAW, GMAW, PAW, and GTAW welding processes only; otherwise per Note (1) or 2*T*, or 2*t*, whichever is applicable.  
(4) see QW-151.1, QW-151.2, and QW-151.3 for details on multiple specimens when coupon thicknesses are over 1 in. (25 mm).  
(5) Four side-bend tests may be substituted for the required face- and root-bend tests, when thickness *T* is 3/8 in. (10 mm) and over.  
(6) For test coupons over 6 in. (150 mm) thick, the full thickness of the test coupon shall be welded.

Fuente: ASME Sección IX

El rango de espesor del metal base calificado va de acuerdo a espesor del metal base del cupón de prueba, según la tabla N° 8 QW-451.1 corresponde un rango de 5 mm a 50 mm (2*T*), y considerando que el modo de transferencia fue Spray. El máximo espesor del pase se consideró ≤ 13 mm. El llenado de la sección 3 Metal base, se puede observar en la figura N° 26, página 60.

**FIGURA N° 26**  
**SECCION 3 (METAL BASE) FORMATO QW-482**

*BASE METALS (QW-403)									
P-No.	1	Group No.	1	to P-No.	1	Group No.	1		
OR									
Specification and type/grade or UNS Number									
to Specification and type/grade or UNS Number									
OR									
Chem. Analysis and Mech. Prop.		Composicion Nominal C-Mn-Si			Tension Nominal especificada 450 Mpa				
to Chem. Analysis and Mech. Prop.		Composicion Nominal C-Mn-Si			Tension Nominal especificada 450 Mpa				
Thickness Range:									
Base Metal:	Groove	5mm - 50 mm			Fillet	Ilimitado			
Maximum Pass Thickness ≤ 1/2 in. (13mm)		(Yes)	x	(No)					
Other									

Fuente: Elaboración propia

#### **Sección 4: Metal de aporte**

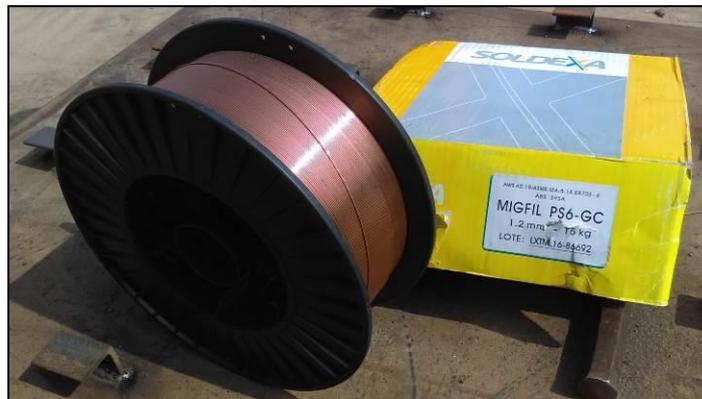
El metal de aporte fue seleccionado en base a la guía básica de procesos y metales de aporte para acero estructural ASTM, ver tabla N° 9 página 61 y anexo N° 5, siendo elegido el alambre macizo ER70S-6, comercialmente conocido como MIGFIL PS6, ver fig. N° 27, con excelentes propiedades desoxidantes como indica también la hoja técnica Soldexa del metal de aporte, ver anexo N° 7.

**TABLA N° 9**  
**GUIA BASICA DE PROCESOS Y METALES DE APORTE PARA ACERO**  
**ESTRUCTURAL ASTM**

Acero		Límite de Fluencia mínimo (MPa)	Resist. a la Tracción (MPa)	Especificación de proceso y material de aporte según AWS
ASTM A537	Clase 1	310-345	450-620	E7015-X, E7016-X
ASTM A572	Grado 42	290	415 min	E7018-X
<b>ASTM A572</b>	<b>Grado 50</b>	<b>345</b>	<b>450 min</b>	SAW
ASTM A588	(< 100 mm)	345	485 min	AWS A5.17
ASTM A595	Grado A	380	450 min	F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX
	Grados B v C	415	480 min	AWS-A5.23
ASTM A6065		310-340	450 min	F7XX-EXX-XX, F7XX-ECXXX-XX
ASTM A607	Grado 45	310	410 min	GMAW v GTAW
	Grado 50	345	450 min	<b>AWS A5.18</b>
	Grado 55	380	480 min	<b>ER70S-X, E70C-XC</b>
ASTM A618	Grado Ib, II, III	315-345	450 min	AWS A5.28
ASTM A633	Grado A	290	430-570	ER70S-XXX, E70C-XXX
	Grados C, D (< 65 mm)	345	485-620	FCAW AWS A5.20

Fuente: Boletín técnico 129 ESAB

**FIGURA N° 27**  
**METAL DE APORTE UTILIZADO ER70S-6**



Fuente: Elaboración propia

Asimismo siguiendo lineamientos del QW-404 y considerando el párrafo QW-430 se le debe asignar un número F el número asignado se puede ver que es 6 y su especificación es SFA 5.18, ver en la tabla N° 10, extraído de la tabla QW-432 F NUMBER ver anexo N° 6

**TABLA N° 10  
EXTRACTO DE TABLA QW-432 F- NUMBER**

<b>Table QW-432 F-Numbers Grouping of Electrodes and Welding Rods for Qualification</b>			
<b>F-No.</b>	<b>ASME Specification</b>	<b>AWS Classification</b>	<b>UNS No.</b>
6	SFA-5.9	All classifications	...
6	SFA-5.17	All classifications	...
<b>6</b>	<b>SFA-5.18</b>	<b>All classifications</b>	<b>...</b>
6	SFA-5.20	All classifications	...
6	SFA-5.22	All classifications	...
6	SFA-5.23	All classifications	...
6	SFA-5.25	All classifications	...
6	SFA-5.26	All classifications	...
6	SFA-5.28	All classifications	...
6	SFA-5.29	All classifications	...

Fuente: ASME Sección IX

Importante resaltar que el material de aporte tiene que guardar características químicas que se asemejen o aproximen a las del material base, y características superiores en cuanto a sus propiedades mecánicas, de esta manera observamos en la Tabla N° 11, QW-442 se identificó el A Number del metal de aporte, que es 1.

**TABLA N° 11  
QW-442 A NUMBERS**

<b>Table QW-442 A-Numbers Classification of Ferrous Weld Metal Analysis for Procedure Qualification</b>							
<b>A-No.</b>	<b>Types of Weld Deposit</b>	<b>C</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>
<b>1</b>	<b>Mild Steel</b>	<b>0.20</b>	<b>0.20</b>	<b>0.3</b>	<b>0.50</b>	<b>1.6</b>	<b>1</b>
2	Carbon-Molybdenum	0.15	0.50	0.40-0.65	0.50	1.6	1
3	Chrome (0.4% to 2%)-Molybdenum	0.15	0.40-2.00	0.40-0.65	0.50	1.6	1
4	Chrome (2% to 4%)-Molybdenum	0.15	2.00-4.00	0.40-1.50	0.50	1.6	2
5	Chrome (4% to 10.5%)-Molybdenum	0.15	4.00-10.5	0.40-1.50	0.80	1.2	2
6	Chrome-Martensitic	0.15	11.0-15.0	0.7	0.80	2	1
7	Chrome-Ferritic	0.15	11.0-30.0	1	0.80	1	3
8	Chromium-Nickel	0.15	14.5-30.0	4	7.50-15.0	2.5	1
9	Chromium-Nickel	0.30	19.0-30.0	6	15.0-37.0	2.5	1
10	Nickel to 4%	0.15	0.5	0.55	0.80-4.00	1.7	1
11	Manganese-Molybdenum	0.17	0.5	0.25-0.75	0.85	1.25-2.25	1
12	Nickel-Chrome—Molybdenum	0.15	1.5	0.25-0.80	1.25-2.80	0.75-2.25	1

Fuente: ASME Sección IX

También se indicó en esta sección el diámetro del alambre utilizado fue 1.2 mm del tipo sólido y el espesor metal de soldadura depositado es hasta 2T es decir hasta 50 mm, el llenado de la sección de metal de aporte se puede apreciar en la fig. N° 28, se adjunta el anexo 8 la composición química del metal de aporte, además la hoja técnica del producto, con clasificación ER70S-6, (anexo 7) especificado como AWS A5.18

**FIGURA N° 28  
SECCIÓN 4 (METAL DE APORTE) FORMATO QW-482**

*FILLER METALS (QW-404)	1	2
Spec. No. (SFA)	5.18	
AWS No. (class)	ER70S-6	
F-No.	6	
A-No.	1	
Size of Filler Metals	1.2 mm	
Filler Metal Product Form	Alambre Sólido	
Supplemental Filler Metal	NA	
Weld Metal		
Deposited Thickness:		
Groove	50 mm	
Fillet	Ilimitado	
Electrode-Flux (Class)	NA	
Flux Type	NA	
Flux Trade Name	NA	
Consumable Insert	NA	
Other	NA	

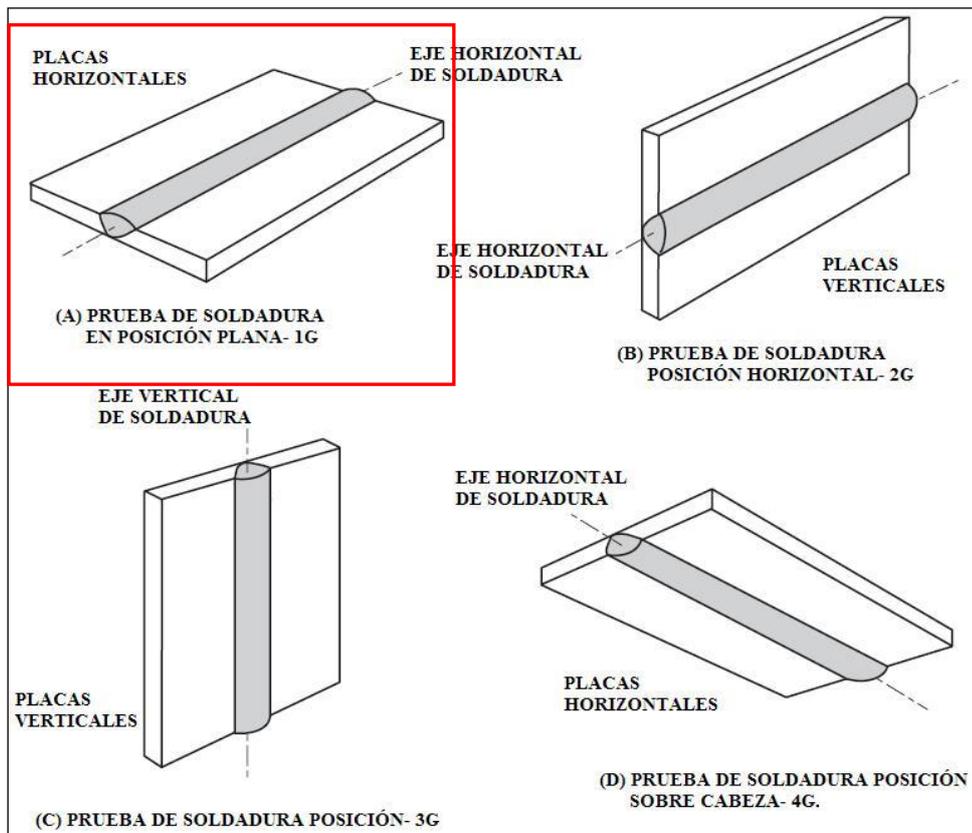
Fuente: Elaboración propia

### **Sección 5: Posición, precalentamiento, pos calentamiento y gas de protección**

Se realizó el llenado de esta sección de acuerdo a lineamientos del QW-405, QW-406, QW-407, QW-408 correspondientes a posición de soldeo, precalentamiento, post calentamiento y gas de protección respectivamente.

La **posición** seleccionada del QW-461.3, posiciones de prueba de soldadura en plancha, fue la posición 1G, plana, ver figura N° 29, se optó por esta posición, debido al modo de transferencia que se planeaba adoptar fue spray; al tipo de fabricación, que fueron juntas longitudinales y circunferenciales para tuberías; a la velocidad de avance que al ser de mayor avance ayudaba al rendimiento de la producción y a la calidad de soldadura por ser una posición bastante cómoda para el soldador con lo que significó que el soldador aproveche su habilidad y experiencia al máximo.

**FIG N° 29**  
**QW-461.3 POSICIONES DE PRUEBA DE SOLDADURA EN PLANCHA**



Fuente: AWS 3.0 2001

**El precalentamiento** fue definido de acuerdo a tabla 3.2 (anexo 9) del D1.1 AWS, que indica para el metal base A572 GR50 de espesor 25 mm soldado con proceso GMAW, la temperatura mínima de precalentamiento es de 10 °c, como la temperatura ambiente fluctuaba en 18 °c, por lo cual, según la tabla, no requiere precalentamiento, sin embargo se optó por una temperatura mínima de 15 °c asumiendo que el WPS podría ser usado en zona fría. Indica además la tabla indica para espesores de plancha de 38 a 50 mm se requiere un precalentamiento mínimo de 65 °c. De otro lado ASME Sección VIII apéndice R1 recomienda T° mínima de 79°C para espesor de 25mm y con % Carbono que exceda 0.3.

La otra manera de calcular fue con la fórmula de Seferian(3) con la que se puede calcular la temperatura de precalentamiento y de entre pases en base al carbono equivalente y el espesor de plancha.

#### FÓRMULA DE SEFERIAN T° PRECALENTAMIENTO

$$\begin{aligned}
 T^{\circ} &= 350\sqrt{Ct-0,25} \\
 Ct &= Cq+Ce \\
 Cq &= C\%+\left(\frac{Mn\%+Cr\%}{9}\right)+\left(\frac{Ni\%}{18}\right)+\left(\frac{Mo\%}{15}\right) \\
 Ce &= 0,005\times e(mm)\times Cq
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Fuente: Boletín técnico Soldexa 2009

Donde %C: 0.23, %Mn: 1.35, nos da una temperatura de 148 °C, por lo cual se tomó la decisión de optar por un rango de temperatura para nuestro WPS de 15- 150 °C., en base a las diferentes recomendaciones.

**El pos calentamiento o tratamiento no aplica para este caso.**

**El gas de protección** seleccionado fue la mezcla Agamix cuya composición tiene Argón 80%, Dióxido de carbono 20%, recomendado por la hoja técnica Soldexa (ver anexo N° 7) para este tipo de proceso y metal de aporte, debido que la mezcla contiene CO2 se reduce el costo, produce penetraciones más profundas y anchas, reduce el riesgo de socavaciones y faltas de fusión, para la protección del cordón, el flujo utilizado fue de 25-40 Litros por minuto. Ver fig. N° 30

**FIGURA N° 30  
SECCIÓN 5 (POSICIÓN/PRECALENTAMIENTO/POST CALENTAMIENTO/GAS) DEL  
FORMATO QW-482**

FORM QW.482 (Back)				WPS No. _____		Rev. _____	
<b>POSITIONS (QW-405)</b>				<b>POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)</b>			
Position(s) of Groove	1G	Plano		Temperature Range	NA		
Welding Progressic Up	NA	Down	NA	Time Range	NA		
Position(s) of Fillet	NA			Other	NA		
Other	NA			<b>GAS (QW-408)</b>			
<b>PREHEAT (QW-406)</b>				Percent Composition			
Preheat Temperature, Minimum	15-150 C			Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate	
Interpass Temperature, Maximim	NA			Shielding	Ar CO2	80/20	25-40 Lt/min
Preheat Maintenance	NA			Tralling			
Other	NA			Backing			
(Continuous or special heating, where applicable, should be s				Other			

Fuente: El autor

### **Sección 6: Características eléctricas**

Se tomaron en cuenta los lineamientos del código ASME Sección IX, QW-QW-409. Sobre las características eléctricas. De acuerdo al tipo de proceso, metal de aporte, espesor del metal base, se seleccionaron los parámetros eléctricos, asimismo la hoja técnica del alambre utilizado ER70S-6, nos brindó parámetros recomendados ver anexo N° 7,

siguiendo esas recomendaciones y las sugerencias del soldador se optó por los siguientes datos expuestos en la sección 6. Ver figura N° 31

**FIGURA N° 31  
SECCIÓN 6 (CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS) FORMATO QW-482**

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)										
Weld Pass(es)	Process	Filler Metal		Current Type and Polarity	Amps (Range)	Wire Feed Speed (Range)	Energy or Power (Range)	Volts (Range)	Travel Speed (Range)	Other (e.g., Remarks, Comments, Hot Wire Addition, Technique, Torch Angle, etc.)
		Classification	Diameter							
(1-N)	GMAW	ER70S-6	1.2mm	DC E(+)	140-400	80cm/min	Voltaje Constante	17-23 27- 31	9-12 cm/miin	-

Fuente: Elaboración propia

### Sección 7: Características del proceso,

Según los lineamientos del ASME Sección IX, QW-409 Características eléctricas, en esta sección, se aplicó la fórmula 4, para hallar el calor de entrada, utilizando los parámetros eléctricos más bajos aquellos con los que se inicia el pase de raíz.

#### ENTRADA DE CALOR (HEAT INPUT)

$$H = \frac{I \times E \times 60}{V}$$

(4)

Fuente: ASME Sección IX 2015

Donde I: Intensidad=140 en amperios=, E: Voltaje=17 en voltios=, V:  
 Velocidad del alambre=90 en mm/ min, el resultado de entrada de calor  
 fue 1,586 KJ/min

Asimismo se indicó en esta sección el modo de transferencia Spray  
 seleccionado por las ventajas que aporta al rendimiento. El llenado de la  
 sección del formato se muestra en la figura N° 32

**FIGURA N° 32**  
**SECCIÓN 7 (CARACTERISTICAS DEL PROCESO) FORMATO QW-482**

Amps and volts, or power or energy range, should be specified for each electrode size, position, and thickness			
Pulsing Current	NA	Heat Input (max.)	1.5866 KJ/min
Tungsten Electrode Size and Type	NA (Pure Tungsten, 2% Thoriated, etc)		
Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW)	Spray (Spray Arc, Short Circuiting Arc, etc)		
Other	NA		

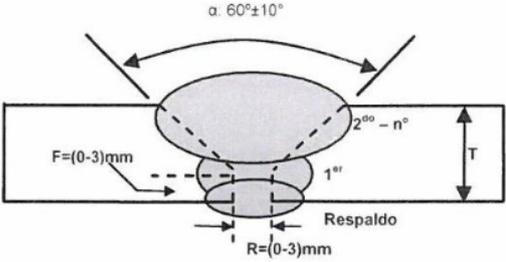
Fuente: Elaboración propia

### Sección 8: Técnica

En esta sección se siguieron los lineamientos del QW-410 del ASME Sección IX, se indicó la técnica de soldeo que debe emplear el soldador de acuerdo a su habilidad, en esta parte se mencionó que el pase inicial de raíz debe ser angosto y los siguientes pases de relleno, ancho, la limpieza debe ser entre pases y con escobillado o esmerilado, el tipo de pases se indicó múltiple con electrodo simple, el tipo de oscilación según



**FIGURA N° 34**  
**WPS PRELIMINAR COMPLETADO**

		<b>WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS)</b> (See QW-200.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)																																																																					
Organization Name <u>CyM CG SAC</u> By <u>Fernando Chávez Ascarruz</u>		Welding Procedure Specification No. <u>001-2016</u> Date <u>09/08/2016</u> Supporting PQR No.(s) <u>100-2016</u>																																																																					
Revision No. <u>0</u> Date <u>09/08/2016</u>																																																																							
Welding Process(es) <u>GMAW (Gas Metal Arc Welding)</u> Type(s) <u>Semiautomático</u> <small>(Automatic, Manual, Machine, or Semi-Automatic)</small>																																																																							
<b>JOINTS (QW-402)</b> Joint Design <u>a tope con ranura simple en V</u> Root Spacing <u>0-3 mm</u> Backing: Yes <u>No</u> <input checked="" type="checkbox"/> <u>X</u> Backing Material (Type) _____ <small>(Refer to both backing and retainers)</small> <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Nonfusing Metal <input type="checkbox"/> Nonmetallic <input type="checkbox"/> Other Back weld Yes <u>X</u> No		<b>Details</b> 																																																																					
<small>Sketches, Production Drawings, Weld Symbols, or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified.</small>  <small>Sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers, and bead sequence (e.g., for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)</small>																																																																							
P-No. <u>1</u> Group No. <u>1</u> to P-No. <u>1</u> Group No. <u>1</u> OR Specification and type/grade or UNS Number _____ to Specification and type/grade or UNS Number _____ OR Chem. Analysis and Mech. Prop. _____ to Chem. Analysis and Mech. Prop. _____ Thickness Range: Base Metal: Groove <u>5mm - 50 mm</u> Fillet <u>ilimitado</u> Maximum Pass Thickness ≤ 1/2 in. (13mm) (Yes) <u>X</u> (No) _____ Other _____																																																																							
		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:50%;"></td> <td style="width:50%; text-align: center;">1</td> <td style="width:50%;"></td> <td style="width:50%; text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>Spec. No. (SFA)</td> <td style="text-align: center;">5.18</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>AWS No. (class)</td> <td style="text-align: center;">ER70S 6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F-No.</td> <td style="text-align: center;">6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>A-No.</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Size of Filler Metals</td> <td style="text-align: center;">1.2 mm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Filler Metal Product Form</td> <td style="text-align: center;">alambre solido</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Supplemental Filler Metal</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Weld Metal</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>  Deposited Thickness:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>    Groove</td> <td style="text-align: center;">Hasta 50 mm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>    Fillet</td> <td style="text-align: center;">ilimitado</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Electrode-Flux (Class)</td> <td style="text-align: center;">NA</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flux Type</td> <td style="text-align: center;">NA</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Flux Trade Name</td> <td style="text-align: center;">NA</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Consumable Insert</td> <td style="text-align: center;">NA</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Other</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			1		2	Spec. No. (SFA)	5.18			AWS No. (class)	ER70S 6			F-No.	6			A-No.	1			Size of Filler Metals	1.2 mm			Filler Metal Product Form	alambre solido			Supplemental Filler Metal				Weld Metal				Deposited Thickness:				Groove	Hasta 50 mm			Fillet	ilimitado			Electrode-Flux (Class)	NA			Flux Type	NA			Flux Trade Name	NA			Consumable Insert	NA			Other			
	1		2																																																																				
Spec. No. (SFA)	5.18																																																																						
AWS No. (class)	ER70S 6																																																																						
F-No.	6																																																																						
A-No.	1																																																																						
Size of Filler Metals	1.2 mm																																																																						
Filler Metal Product Form	alambre solido																																																																						
Supplemental Filler Metal																																																																							
Weld Metal																																																																							
Deposited Thickness:																																																																							
Groove	Hasta 50 mm																																																																						
Fillet	ilimitado																																																																						
Electrode-Flux (Class)	NA																																																																						
Flux Type	NA																																																																						
Flux Trade Name	NA																																																																						
Consumable Insert	NA																																																																						
Other																																																																							

Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 35**  
**WPS PRELIMINAR POSTERIOR COMPLETADO**

		WPS No. <u>001-2016</u> Rev. <u>0</u>																							
		<b>POSITIONS (QW-405)</b> Position(s) of Groove <u>1G Plano</u> Welding Progression: Up <u>NA</u> Down <u>NA</u> Position(s) of Fillet <u>NA</u> Other <u>NA</u>				<b>POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)</b> Temperature Range <u>NA</u> Time Range <u>NA</u> Other <u>NA</u>																			
<b>PREHEAT (QW-406)</b> Preheat Temperature, Minimum <u>15-150 C</u> Interpass Temperature, Maximim <u>NA</u> Preheat Maintenance <u>NA</u> Other <u>NA</u> (Continuous or special heating, where applicable, should be specified)				<b>GAS (QW-408)</b> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Percent Composition</th> </tr> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>(Mixture)</th> <th>Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding</td> <td><u>Ar CO2</u></td> <td><u>80/20</u></td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td><u>                    </u></td> <td><u>                    </u></td> </tr> <tr> <td>Backing</td> <td><u>                    </u></td> <td><u>                    </u></td> </tr> <tr> <td>Other</td> <td><u>                    </u></td> <td><u>                    </u></td> </tr> </tbody> </table>				Percent Composition			Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate	Shielding	<u>Ar CO2</u>	<u>80/20</u>	Trailing	<u>                    </u>	<u>                    </u>	Backing	<u>                    </u>	<u>                    </u>	Other	<u>                    </u>	<u>                    </u>
Percent Composition																									
Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate																							
Shielding	<u>Ar CO2</u>	<u>80/20</u>																							
Trailing	<u>                    </u>	<u>                    </u>																							
Backing	<u>                    </u>	<u>                    </u>																							
Other	<u>                    </u>	<u>                    </u>																							
<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)</b>																									
		<b>Filler Metal</b>																							
Weld Pass(es)	Process	Classifi- cation	Diameter	Current Type and Polarity	Amps (Range)	Wire Feed Speed (Range)	Energy or Power (Range)	Volts (Range)	Travel Speed (Range)	Other (e.g., Remarks Comments, Hot Wire Addition, Technique Torch Angle, etc.)															
(1-N)	GMAW	ER70S-6	1.2mm	DC E(+)	140-400	80cm/min	Voltaje Constante	17-23 27- 31	9-12 cm/min	-															
Amps and volts, or power or energy range, should be specified for each electrode size, position, and thickness, etc.																									
Pulsing Current		<u>NA</u>				Heat Input (max.)		<u>1.5866 KJ/min</u>																	
Tungsten Electrode Size and Type				<u>NA</u> (Pure Tungsten, 2% Thoriated, etc)																					
Mode of Metal Transfer for GMAW (FCAW)				<u>Spray</u> (Spray Arc, Short Circuiting Arc, etc)																					
Other		<u>NA</u>																							
<b>TECHNIQUE (QW-410)</b>																									
String or Weave Bead		<u>Primer pase angosto demas pases ancho</u>																							
Orifice, Nozzle, or Gas Cup Size		<u>NA</u>																							
Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc.)		<u>Esmerilado o escobillado</u>																							
Method of Back Gouging		<u>Esmerilado</u>																							
Oscillation		<u>permitido</u>																							
Contact Tube to Work Distance		<u>8 mm a 10 mm</u>																							
Multiple or Single Pass (Per Side)		<u>multiple</u>																							
Multiple or Single Electrodes		<u>simple</u>																							
Electrode Spacing		<u>-</u>																							
Peening		<u>-</u>																							
Other		<u>-</u>																							

Fuente: Elaboración propia.

### 4.6.3 Ejecución

Con la elaboración del WPS preliminar, se tenían las directrices necesarias para que el soldador lo ejecute y ponga en práctica, para lo cual se seleccionó a un soldador con mucha experiencia que aportó con ideas y buena técnica llevando a cabo las siguientes actividades como:

#### a) Preparación del cupón de prueba y de la junta

Se realizó el corte térmicamente del material ASTM A572 GR50 en 2 planchas de dimensiones suficientes para proveer a los especímenes de prueba, según QW-211, 350 mm x 150 mm para armar el cupón de prueba de 350 mm x 300 mm, con ángulo de bisel de 30° y una junta a tope con ranura simple de acuerdo al WPS preliminar. Ver figura N° 36

**FIGURA N° 36  
PREPARACIÓN DEL CUPÓN DE PRUEBA**



Fuente: Elaboración propia

- **Alineamiento de la Junta**

Durante el ensamble del cupón, el soldador, alineó las juntas a tope con utilización de apuntalamiento y topes al final de los biseles.

- **Limpieza de la Junta**

El soldador realizó la limpieza de la junta para retirar suciedad, óxido, grasa o cualquier otro contaminante o impureza que perjudique la calidad de la soldadura.

**b) Desarrollo de la soldadura**

Antes de dar inicio al desarrollo de la soldadura, de acuerdo a lo indicado en el WPS preliminar, se realizó la calibración del voltaje de la fuente de poder, se reguló la velocidad de alimentación del alambre y el flujo de gas, además de la limpieza de boquilla de la pistola, ajuste de los rodillos del alimentador de alambre.

El desarrollo de la soldadura se inició con el precalentamiento de la junta del material base a temperatura controlada con pirómetro digital de 150 °C, luego se procedió a soldar la junta bajo los parámetros de soldadura especificados en el WPS preliminar, con corriente directa y con electrodo conectado al positivo, en su ejecución para el primer pase se utilizó un rango de voltaje de 17 a 23 voltios presentando buena penetración de la soldadura en el pase de raíz observado del otro lado del cupón de prueba y los pases sucesivos de 27 a 31 voltios presentando una soldadura homogénea en cada pase, se realizó la limpieza entre pases cuando fue necesario por medio de escobillado, controlándose también la temperatura entre pases, el pase de acabado presentó una cara uniforme sin convexidad excesiva, finalmente se realizó por el otro lado del cupón,

un ranurado mediante amoladora y se dio un pase de respaldo. El acabado del pase de respaldo fue uniforme sin convexidad excesiva.

### c) Ensayos no destructivos

Terminada la soldadura del cupón de prueba se realizaron los ensayos no destructivos de inspección visual, radiografía y dobléz

- **Inspección Visual**

Según ASME Sección IX, en QW 144, deriva la inspección visual a QW 194 que es empleada para verificar que la superficie de la soldadura cumple los requerimientos del código como fusión completa y penetración completa de la junta, entre el metal base y el metal de soldadura.

Cabe resaltar que la inspección visual fue realizada antes, durante y después de la soldadura desde la preparación del cupón de prueba hasta el término de la soldadura, los resultados de la inspección fueron aceptables.

**FIGURA N° 37**  
**ACABADO ACEPTABLE DEL CORDON DE SOLDADURA**



Fuente: Elaboración propia

- **Radiografía**

Luego de la conformidad de la inspección visual, el cupón de prueba quedó apto para el ensayo radiográfico y este fue realizado por la empresa INSPECDAC SAC, con las siguientes características: utilizó un equipo de gammagrafía industrial con isotopo Iridium 192, la técnica aplicada fue de pared simple, la película utilizada fue AFGA D5, de dimensiones 70 mm x 300 mm, seleccionó un indicador de calidad de imagen 1ASTMB. Ver figura N° 38, del proceso de radiografía efectuado.

**FIGURA N° 38 ENSAYO DE RADIOGRAFÍA**



Fuente: INSPECDAC

La evaluación de la película revelada, fue de acuerdo al criterio de aceptación ASME Sección IX, no se encontraron fisuras, poros, inclusiones, faltas de fusión, resultando aceptable el cordón de soldadura.

El informe radiográfico se adjunta mediante anexo N° 10

- **Ensayo de Doblez Guiado.**

**Número y tipo de ensayos a realizar**

El número y tipo de ensayos a realizar quedó definido por la tabla QW 451-1 como se muestra en la tabla N° 8, pág. N° 59 , que nos indica 4 dobleces de lado, y su criterio de aceptación en QW-163 que refiere “Las probetas de doblez guiado no deben tener defectos en el cordón o en la zona afectada por el calor, que excedan de 1/8” (3 mm) medidos en cualquier dirección de la parte convexa de la probeta después del doblez” La ubicación de los especímenes de doblado en el cupón de prueba se puede visualizar en la figura N° 39, Distribución de los especímenes del cupón de prueba.

Los resultados de los ensayos de doblez a los especímenes fueron aceptables, no presentaron defectos en la zona de la soldadura. Ver tabla N° 12 y reporte de ensayo de doblez en anexo N° 12

**TABLA N° 12 RESULTADOS DEL ENSAYO DE DOBLEZ**

PROBETA	TIPO DE DOBLADO	RESULTADO	DISCONTINUIDAD
1	DL1	ACEPTABLE	NO SE OBSERVAN DEFECTOS
2	DL2	ACEPTABLE	NO SE OBSERVAN DEFECTOS
3	DL3	ACEPTABLE	NO SE OBSERVAN DEFECTOS
4	DL4	ACEPTABLE	NO SE OBSERVAN DEFECTOS

Fuente: Elaboración propia

#### **d) Ensayos destructivos**

- **Ensayo de tensión**

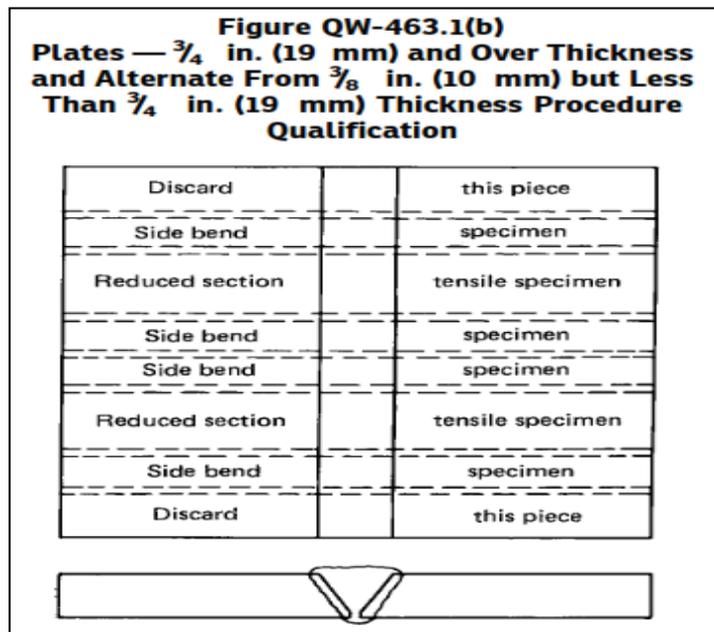
El ensayo de tensión fue realizado por el laboratorio de mecánica de la UNI a solicitud de INSPECDAC a quien se le encargó los ensayos de tensión. Se realizó el ensayo de tensión siguiendo las recomendaciones del párrafo QW-451 Limite de espesores y muestras para ensayos de

calificación, como indica la tabla N° 8, ver página N° 59, donde se establece que deben realizarse 2 ensayos de tensión.

**Distribución de los especímenes en cupón de Prueba**

Previamente se realizó el dimensionamiento del cupón de prueba siguiendo las indicaciones del QW 463.1.b Calificación de procedimientos en plancha de espesores de 3/4" (19mm) y mayores. Ver figura N°. 39

**FIGURA N° 39  
QW-463.1 (b) DISTRIBUCIÓN DE ESPECÍMENES EN CUPÓN**



Fuente: ASME Sección IX

Según el párrafo QW-153.1 del código ASME Sección IX, acerca de la aceptación de los ensayos de tensión refiere que la muestra deberá tener una resistencia de tensión mayor o igual que la del metal base y además si la muestra rompe dentro del metal base fuera de la soldadura o interfase de la soldadura, será aceptada mientras la resistencia no sea más del 5% por debajo de la resistencia del metal base.

Los resultados de tensión fueron aceptables ver tabla N° 13 y anexo N°13, Informe Técnico de ensayo de tracción.

**TABLA N° 13 RESULTADOS DEL ENSAYO DE TENSIÓN**

MUESTRA	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	FUERZA DE ROTURA (Kg)	ESFUERZO MAXIMO Kg/mm2 (Mpa)	OBSERVACIÓN
1	25.21	19.28	28305	58.24 (571)	Fractura en la soldadura
2	25.41	19.06	27600	57,02 (559)	Fractura en el metal base

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos por el ensayo de tensión podemos explicar para la muestra 1, que rompió en la soldadura, es aceptable debido a que el esfuerzo máximo fue 571 Mpa, lo que es mayor al esfuerzo mínimo específico del metal base que es 450 Mpa

Asimismo, para la muestra 2, que rompió en el metal base, es aceptable debido a que el esfuerzo de rotura fue 559 Mpa que es mayor que el esfuerzo mínimo específico del metal base. El área de rotura de las probetas presentó ductilidad antes de fractura, ver fig. N° 40

**FIGURA N° 40  
ROTURA DE LOS ESCÍMENES DE PRUEBA**



Fuente: INSPECDAC

#### **4.6.4 Seguimiento y control**

El seguimiento y control se realizó durante todas las etapas de la elaboración y calificación del procedimiento, siguiendo recomendaciones técnicas, especificaciones, requisitos del cliente y lineamientos del ASME Sección IX. El seguimiento realizado fue básicamente de dos formas que aseguraron el control y cumplimiento de los lineamientos del código, estas fueron: inspección visual y validación de los criterios de aceptación.

##### **a) Inspección Visual**

Una rigurosa inspección visual asegura el cumplimiento de las especificaciones en soldadura, de los procesos y de los códigos, es responsabilidad de quien la ejecute contar con experiencia, entrenamiento y calificación. Ver anexo N° 1

##### **b) Validación de los criterios de aceptación**

La validación son los parámetros bajo los cuales el resultado de las pruebas o ensayos o proceso en cualquier etapa, cumplen con los requisitos de los códigos o especificaciones establecidos.

El objetivo de la validación de un procedimiento es demostrar que es apto para el propósito indicado

A continuación se enlista (Tabla N° 14) los controles efectuados durante la elaboración y calificación del procedimiento específico de soldadura (WPS).

**TABLA N° 14 CHECK LIST DEL PROYECTO WPS GMAW**

N°	FASE	MATERIA	DESCRIPCION DEL SEGUIMIENTO Y CONTROL - FASE N° 4	CONFORMIDAD
1	INICIO	ALCANCES	DETALLES DE FABRICACIÓN	ASME IX ASTM AWS API  MANUAL DE SOLDADURA
		ESTRUCTURA		
		TIPO DE SOLDADURA	CALIFICACIÓN WPS,PQR, ENSAYOS	
		NORMATIVA	BAJO COSTO, GMAW	
2	PLANIFICACIÓN	SOLDABILIDAD	CARBONO EQUIVALENTE	FORMULAS CE, IIW
		METAL BASE		ESPEC ASTM A572
		PROCESO	GMAW	DIAGRAMA GRAVILLE
		WPS PRELIMINAR	ASME IX	GUÍA CESOL
		PQR	JUNTA	QWs:
		VARIABLES ESENCIALES	POSICIÓN METAL BASE	402, 310.3, 469.2
		NO ESENCIALES	METAL DE APORTE POSICIÓN PRECALENTAMIENTO	403, QB422, SPEC A572, 404, 451.1, GUIA ASTM MB-MA 405, 432, 442, AWS 5.18 406, 463.3 407, AWS TABLA 3.2, CE, SEFERIAN 408, HOJA TEC SOLDEXA, EXPERIENCIA SOLDADOR 409, (H HEAT INPUT) 410, EXP SOLD
3	EJECUCIÓN	CUPÓN PRUEBA	DIMENSIÓN NÚMERO LIMPIEZA	211 451.1, 462.1
		SOLDADURA	JUNTA POSICIÓN METAL BASE METAL DE APORTE POSICIÓN PRECALENTAMIENTO CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS PROCESO TÉCNICA	WPS PRELIMINAR

		ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	INSPECCIÓN VISUAL	QWs: 144, 194
			DOBLEZ	251.1, 163
			RADIOGRAFÍA	191, 191.1.2
		ENSAYOS DESTRUCTIVOS	TRACCIÓN	QWs: 451.1, 463.3, 153.1
5	CIERRE	WPS PQR	VARIABLES ENSAYOS	ASME IX

Fuente: Elaboración propia

La fase 4, seguimiento y control, es una fase permanente, se realizó en todas las demás fases del proyecto, algunas de las actividades de esta fase se aprecian en las figuras siguientes:

**FIGURA N° 41**

**VERIFICACIÓN DE BISELES DEL CUPON DE PRUEBA**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 42**  
**VERIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 43**  
**VERIFICACIÓN DEL PRECALENTAMIENTO**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 44**  
**VERIFICACIÓN DURANTE EL PROCESO DE SOLDEO**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 45**  
**VERIFICACIÓN DE LIMPIEZA ENTRE PASADAS**



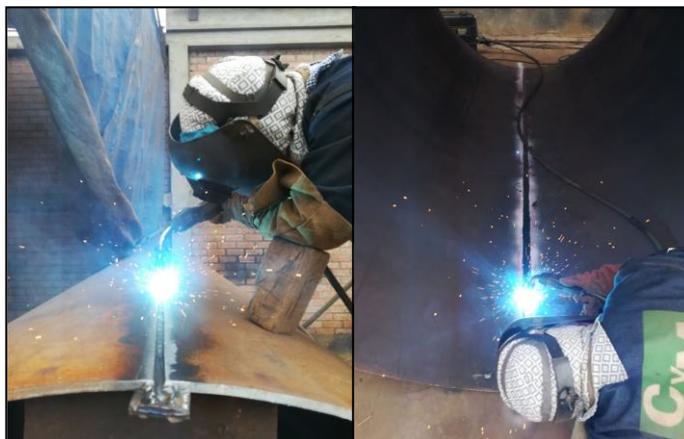
Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 46**  
**INSPECCIÓN VISUAL ENTRE PASADAS**



Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 47**  
**SOLDEO DE TUBERÍA FORZADA**



Fuente: Elaboración propia

#### 4.6.5 Cierre

Luego de que los ensayos no destructivos y destructivos tuvieron resultados aceptables o satisfactorios, superando los parámetros planteados en el WPS preliminar se dió entonces por aprobado el PQR y se emite el documento.

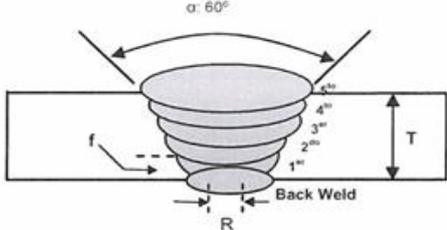
Este documento (PQR) aprobado, es el que sustenta o respalda al WPS preliminar, que en consecuencia quedó automáticamente aprobado o **calificado** y se emite la documentación aprobada como Procedimiento de calificación de soldadura. (WPS)

Asimismo el ASME Sección IX, menciona en el párrafo QW-200.2, que el PQR es un registro de los datos de soldadura empleados en el soldeo de la muestra de ensayo, contiene las variables esenciales, no esenciales y cuando se requiera las suplementarias, asimismo, contiene también el resultado de los ensayos realizados a las probetas.

El WPS calificado es el documento que provee las directrices para que soldador realice soldaduras en producción en conformidad con el código Cabe resaltar que mediante la calificación del procedimiento y aprobación del PQR, el soldador que realizó la prueba queda automáticamente calificado, dentro de los alcances del ASME Sección IX.

A continuación, se muestran las figuras N° 48 y N° 49 del PQR aprobado de sustento al WPS, y figuras N° 50 y N° 51 del WPS CALIFICADO

**FIGURA N° 48**  
**PQR APROBADO**

		REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA		PQR-100-2016	
		(PQR)		Hoja	1 de 2
		(De acuerdo a ASME Sección IX - 2015)		Rev.	0
				Edic. Form.	09/08/2016
<b>IDENTIFICACIÓN</b>			Registro N°: PQR-100-2016		
Nombre de la Empresa:	CyM S.A.C		Rev.:	0	Fecha: 09-08-16
Proceso (s) de soldadura:	GMAW		Autorizado por:	Fernando Chávez	
Tipo:	<input type="checkbox"/> Manual	<input type="checkbox"/> Automático	<input type="checkbox"/> Máquina	<input checked="" type="checkbox"/> Semiautomático	
<b>JUNTA (QW-402)</b>					
T=25.00 mm					
α= 60°					
R= 3.0 mm					
f= 3.0 mm					
<b>METAL BASE (QW-403)</b>			<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA (QW-407)</b>		
Especificación material	ASTM A- 572		Temperatura	Ninguna	
Tipo o grado	Gr. 50		Tiempo	-----	
P-No.	1	a P-No.	1	Otro	-----
Espesor de cupón	25 mm				
Diámetro de cupón	-----				
Otro	-----		<b>GAS (QW-408)</b>		
			Composición Porcentual		
			Gas(es)	Mezcla (%)	Flujo (LPM)
<b>METAL DE APORTE (QW-404)</b>			Protección	Ar/CO2	80% / 20%
Especificación SFA	5.18		Arrastre	----	----
Clasificación AWS	ER 70S-6		Respaldo	----	----
Metal de aporte F - No.	6		<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW-409)</b>		
Análisis de metal de aporte A-No.	1		Corriente	DC	
Tamaño de metal de aporte	1.20 mm		Polaridad	Positiva	
Otro	-----		Amperaje	Ver tabla	Voltaje Ver tabla
Espesor de material de soldadura	28.00 mm		Modo de transferencia para GMAW :	Spray	
<b>POSICIÓN (QW-405)</b>			Otro	-----	
Posición de ranura	1 G		<b>TÉCNICA (QW-410)</b>		
Posición de soldadura:			Velocidad de avance:	9-12 cm/min	
<input type="checkbox"/> Ascendente	<input type="checkbox"/> Descendente		Pasada ancha o angosta:	Primer pase angosto y demás pases ancho	
Otro:	---		Oscilación	La necesaria	
<b>PRECALENTAMIENTO (QW-406)</b>			Pase:	<input type="checkbox"/> Simple	<input checked="" type="checkbox"/> Multipase
T°. de precalentamiento	Min. 15°C		Electrodo:	<input checked="" type="checkbox"/> Simple	<input type="checkbox"/> Multiple
Temp. entre pases	Max. 150°C		Otro:	-----	
Otro:	---				

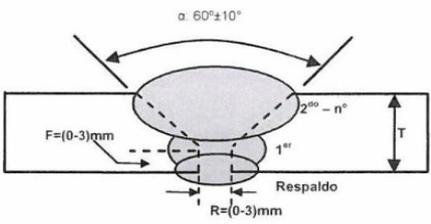
Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 49**  
**PQR APROBADO (CONTINUACIÓN)**

	<b>REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>					<b>PQR-100-2016</b>	
	<b>(PQR)</b>					Hoja	2 de 2
	<b>(De acuerdo a ASME Sección IX - 2015)</b>					Rev.	0
					Edic. Form.	09/08/2016	
<b>PROCESO DE SOLDEO</b>							
Pase	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance cm / min
		Clase	Diam. (mm)	Tipo y polaridad	Amperaje		
1º	GMAW	ER 70S-6	1.20 mm	DCEP	140-180	17-23	9.0-12.0
2º - 5º	GMAW	ER 70S-6	1.20 mm	DCEP	340-400	27-31	9.0-12.0
Back Weld	GMAW	ER 70S-6	1.20 mm	DCEP	340-400	27-31	9.0-12.0
<b>PRUEBAS DE TENSIÓN</b>							
Especimen No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga rotura total (Kg)	Resistencia máx. (Mpa)	Tipo de falla y ubicación	
1	19.28	25.21	486.05	28,305	571	Fractura en la soldadura	
2	19.05	25.41	484.06	27,600	559	Fractura en el material base	
Prueba conducida por: Ing. Sebastián Lazo Ochoa			Fecha: 09-08-16	Inf. Tec. y Lugar: Lb4-1366-2016, LAB. N°4 UNI - FIM			
<b>ENSAYOS DE DOBLEZ GUIADO</b>							
Tipo y figura No.				Resultado			
DOBLEZ DE LADO - DL1				ACEPTABLE			
DOBLEZ DE LADO - DL2				ACEPTABLE			
DOBLEZ DE LADO - DL3				ACEPTABLE			
DOBLEZ DE LADO - DL4				ACEPTABLE			
Prueba conducida por: Roberto León Dávalos			Fecha: 18-07-16	Inf. Tec. y Lugar: 092-16, LAB. INSPECDAC S.A.C			
<b>PRUEBA DE IMPACTO ENSAYO DE CHARPY</b>							
Especimen	Temperatura de ensayo (°C)	Valores de impacto		Expansión lateral (mm)			
		Energía Absorbida (Joule)					
-----	-----	-----		-----			
-----	-----	-----		-----			
-----	-----	-----		-----			
-----	-----	-----		-----			
<b>PRUEBA EN SOLDADURA DE FILETE</b>							
Resultado satisfactorio:	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	Penetración en metal origen:	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>		
Resultado de macroataque	-----						
<b>OTRAS PRUEBAS ANALISIS MACROGRAFICO</b>							
Zona Analizada	Sección	Preparación	Ataque químico	Aumentos			
Muestras y Discontinuidades	-----						
<b>ENSAYO DE DUREZA METODO VICKERS (HV)</b>							
Muestras: -----							
Nombre de soldador	-----	DNI:	-----	Estampa No.	-----		
Prueba conducida por:	-----	Prueba de laboratorio No.	-----				
Nosotros certificamos que los datos en este registro son correctos y que las probetas fueron preparados, soldados y ensayados de acuerdo con el requerimiento de la Sección IX del Código ASME 2015							
<b>NOTAS / COMENTARIOS / OBSERVACIONES:</b>							
<u>Examinación radiográfica:</u>							
RT reporte N°: 3553-01-16	Resultado: ACEPTABLE						
Soldador: Neil Dante Reynoso León	DNI: 09508886	Estampa: W-NRL2					
<b>APROBACIÓN</b>	<b>INSPECDAC S.A.C.</b>	<b>CALIDAD CYM</b>	<b>CLIENTE</b>				
Nombre y Apellidos	Roberto León	Fernando Chávez					
Fecha							
Firma							

Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 50  
WPS CALIFICADO**

	<b>ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b> <b>(De acuerdo a ASME Sección IX-2015)</b>		<b>WPS-001-16</b>		
	Hoja	1 de 2	Rev.	0	
	Edic. Form	09/08/16			
<b>IDENTIFICACION</b>		<b>WPS N° WPS-001-16</b>			
Nombre de la empresa: <b>CyM S.A.C.</b>		Rev. N° <u>0</u> Fecha: <u>09/08/2016</u>			
Proceso(s) de soldadura: <b>GMAW</b>		Responsable: <u>Fernando Chávez</u>			
Tipo: <input type="checkbox"/> Manual: <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Maquina <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomático		Elaborado por: <u>Fernando Chávez</u>			
		PQR Soporte N°: <b>PQR-100-2016</b> <b>Detalles</b>			
<b>JUNTA (QW-402)</b>					
Diseño de junta: <b>A Tope con Ranura en Simple "V"</b>					
Respaldo: Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>					
Material de respaldo (Tipo): <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Refractario <input type="checkbox"/> No metálico <input type="checkbox"/> Otro					
Back Weld: Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Método: -----					
Esquema, dibujo de la fabricación, símbolos de soldadura o descripción escrita debe mostrar el arreglo general de las partes a ser soldadas. Donde sea aplicable, la apertura de raíz y los detalles de la soldadura deben ser especificados.					
<b>METAL BASE (QW-403)</b>					
N° P:	<b>1</b>	Grupo N°:	<b>1</b>	al N° P:	<b>1</b>
O					
Especificación de tipo y grado: -----					
A especificación de tipo y grado -----					
O					
Análisis químico y propiedades mecánicas: -----					
Hasta el análisis químico y propiedades mecánicas: -----					
<b>Rango de espesores:</b>					
Metal base:		Ranura: <b>5 mm – 50 mm</b>		Filete: <b>ilimitado</b>	
Espesor Máximo por Pase $\leq \frac{1}{2}$ " (13mm)		Si: <b>X</b>		No: <b>--</b>	
Otro: ---					
<b>METAL DE APORTE (QW-404)</b>					
Especificación N° (SFA)	<b>5.18</b>				
AWS N° (Clase)	<b>ER70S-6</b>				
N° F	<b>6</b>				
N° A	<b>1</b>				
Diámetro de electrodo	<b>1.20 mm</b>				
Forma del electrodo	<b>Alambre Solido</b>				
Metal Depositado:	-----				
Rango de espesores:	<b>Hasta 50 mm</b>				
Ranura					
Filete	<b>ilimitado</b>				

Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 51**  
**WPS CALIFICADO (CONTINUACIÓN)**

	<b>ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b> <b>(De acuerdo a ASME Sección IX-2015)</b>				<b>WPS-001-16</b>			
	Hoja		2 de 2		Rev.			0
	Edic. Form		09/08/16					
<b>POSICIONES (QM-405)</b>				<b>TRATAMIENTO DE POST-CALENTAMIENTO</b>				
Posición(es) de ranura: <i>Toda Posición</i>				Rango de temperatura: -----				
Progresión: Ascendente ----- Descendente -----				Tiempo: -----				
Posición de filete: -----				Otro				
<b>PRECALENTAMIENTO (QW-406)</b>				<b>GAS (QW-408) Composición Porcentual</b>				
Temp. Pre calentamiento		Min.: 15°C		Gas(es)	Mezcla (%)	Flujo (LPM)		
Temp. Interpase		Max.: 150°C		Protección	<i>Ar / Co<sub>2</sub></i>	<i>80% / 20%</i>		
Mantn. Pre calentamiento: -----		Arrastre		-----	-----	-----		
		Respaldo		-----	-----	-----		
<b>CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409)</b>								
Corriente AC o DC: <i>DC</i>				Polaridad: <i>Positiva</i>				
Rango de amperaje: <i>Ver Tabla</i>				Rango de <i>Ver Tabla</i>				
Modo de transferencia en GMAW: <i>Spray</i>								
Velocidad de alimentación de alambre: ----								
<b>TECNICA</b>								
Pase ancho o angosto: <i>Primer pase Angosto y demás pases Ancho</i>								
Orificio o tamaño de protección gaseosa: -----								
Limpieza inicial y entre pasadas (escobillado, esmerilado, etc.):				<i>Escobillado y/o Esmerilado</i>				
Método de limpieza de raíz: <i>Esmerilado</i>								
Oscilación: <i>La necesaria</i>		Distancia de boquilla a pieza de trabajo: <i>8.0 mm – 10.0 mm</i>						
Pase múltiple o simple: <i>Múltiple</i>		Velocidad de avance (rango): <i>9 cm/min – 12 cm/min</i>						
Electrodo simple o múltiple: <i>Simple</i>		Martilleo: -----						
Otro: -----								
<b>PROCEDIMIENTO DE SOLDEO</b>								
Pase o capa (s) soldadura	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Velocidad de avance (cm/min)	Otros
		Clase	Diám.	Tipo & Polaridad	Amperaje (A)			
<i>1º</i>	GMAW	ER70S-6	1.20	<i>DC(+)</i>	140- 180	17- 23	9- 12	-----
<i>2º - n</i>	GMAW	ER70S-6	1.20	<i>DC(+)</i>	340- 400	27- 31	9- 12	-----
<i>Respaldo</i>	GMAW	ER70S-6	1.20	<i>DC(+)</i>	340- 400	27- 31	9- 12	-----
<b>NOTAS COMENTARIOS OBSERVACIONES:</b>								
<b>APROBACION</b>								
Nombres y Apellidos		INSPEC DAC S.A.C.		CALIDAD CYM		CLIENTE		
		Roberto León		Fernando Chávez				
Fecha		09/08/16		09/08/16				
Firma								

Fuente: Elaboración propia

## **V. EVALUACIÓN TÉCNICA – ECONÓMICA**

### **5.1 Evaluación técnica del proyecto.**

El presente proyecto “ELABORACIÓN Y CALIFICACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA GMAW PARA LA FABRICACIÓN DE TUBERÍA FORZADA CON MATERIAL ASTM A572 GR50. CENTRALES HIDROELÉCTRICAS ANGEL I, II Y III. PUNO”, ha sido elaborado y calificado, cumpliendo los lineamientos de estándares internacionales, especificaciones y hojas técnicas de referencia, como el ASME Sección IX, ASTM A 572/A572M, desarrollado empleándose materiales certificados y equipos calibrados, el personal que intervino en la supervisión contó con calificación Nivel II ASNT SNT TC 1A. ( anexo 1) y con experiencia para desarrollar la elaboración y calificación del documento directriz (WPS); la ejecución de la soldadura fue realizada por un soldador calificado y con mucha experiencia, asimismo los servicios externos de maquinado, ensayos no destructivos y destructivos, a los que fue sometido nuestro espécimen de prueba fue encargado a una prestigiosa empresa con personal certificado (anexo 11) que realizó los procedimientos y técnicas recomendadas, usando patrones de referencia calibrados.

Por cuanto, el desarrollo del proyecto logró cumplir con los objetivos de viabilidad pertinentes.

## **5.2 Evaluación económica del proyecto.**

El proyecto demandó personal, equipos, materiales y servicios externos como se describe:

### **Personal:**

- Responsable de Calidad: encargado de conducir la elaboración y calificación del procedimiento de soldadura y coordinación de ensayos con servicios externos
- Soldador con experiencia: encargado del proceso de soldeo, estableció parámetros eléctricos y variables en base a su experiencia

### **Equipos y materiales:**

- Equipo de soldar: fuente de poder y maleta de alimentación alquilado de proveedor externo
- Gas de protección, se utilizó mezcla Agamix con CO<sub>2</sub> 20%
- Metal Base, se utilizó ASTM A572 GR 50 de 25x1200x 400mm
- Material de aporte se utilizó electrodo ER 70S 6, MIGFIL
- Kit de inspección, calibrador de soldadura, pirómetro digital
- Esmeril angular, se utilizó marca Bosch de 1200w
- Equipos de protección personal: careta de soldar, lentes, mascarilla, guantes, mandil, mangas, escaarpines, botas

### **Servicios:**

- Maquinado de probetas, realizados por la empresa INSPECDAC.SAC
- Ensayo de doblez realizados por la empresa INSPECDAC SAC
- Ensayo de radiografía realizado por la empresa INSPECDAC SAC

- Energía eléctrica suministrada por alquiler de grupo electrógeno

En la siguiente tabla N° 15, se aprecia el detallado completo.

**TABLA N° 15 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO**

ELABORACIÓN Y CALIFICACIÓN DE WPS GMAW		Costo Unit.	Núm. Días	Costo
<b>Personal</b>				
1	Responsable de Calidad	150	12	1800
2	Soldador con experiencia	200	2	400
<b>Equipos, Materiales e insumos</b>				
3	Grupo electrógeno alquiler	80	2	160
3	Equipo de soldar alquiler	50	2	100
4	Gas de protección	200	-	200
5	Metal base	240	-	240
6	Material de aporte	80	-	80
7	Esmeril angular, discos de corte	225	-	225
8	Kit de inspección de soldadura (calibradores, medidor de alineamiento, escala graduada, lupa, flexómetro, espejo telescópico)	900	-	900
9	Pirómetro digital	375	-	375
10	EPPs (guantes, lentes, casco, botas)	200	-	200
11	Equipos y útiles de oficina (Laptop, impresora, hojas bond)	90	-	90
12	Comunicación e internet	70	-	70
<b>Servicios y Ensayos</b>				
13	Maquinado de probetas	200	-	200
14	Ensayo de tracción	1200	-	1200
15	Ensayo de dobléz	300	-	300
16	Ensayo de Radiografía	200	-	200
17	Movilidad	70	-	70
<b>TOTAL SOLES</b>				<b>6810</b>

Fuente: Elaboración propia

La inversión para la elaboración y calificación del WPS GMAW representó el 0.057% del total de la inversión en la fabricación y montaje (\$ 3 600 000), lo que significó que una mínima inversión, evitó grandes pérdidas en costos de reparación, tiempo y calidad.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

- Se elaboró y calificó el procedimiento de soldadura GMAW con material ASTM A572 GR50, en base a los lineamientos del código ASME Sección IX, garantizando de esta manera la soldabilidad y calidad de las uniones soldadas permitiendo el inicio de la fabricación de tubería forzada para las centrales hidroeléctricas ANGEL I,II y III PUNO.
- La metodología descriptiva establecida en el presente proyecto nos permitió explicar la elaboración y calificación del procedimiento específico de soldadura GMAW, siguiendo los lineamientos del código ASME Sección IX, ésta metodología, sin duda servirá como guía y punto de referencia de similares investigaciones referidas al campo de la soldadura.
- Se identificó y evaluó las variables esenciales y no esenciales para la elaboración del procedimiento de soldadura definiendo cada uno de los parámetros seleccionados: como proceso de soldadura, diseño de junta, características mecánicas y químicas del metal base y metal de aporte, precalentamiento y gases de protección, los cuales influyeron en la calidad de la soldadura y en los resultados satisfactorios de los ensayos.

- Se elaboró y desarrolló el instructivo del procedimiento de soldadura (WPS), lo que permitió obtener las directrices para la ejecución de las soldaduras y el control de la calidad de las uniones soldadas en la fabricación de las tuberías forzadas.
- Se elaboró y desarrolló el registro de calificación del procedimiento (PQR), con las variables adoptadas del WPS preliminar, registrando los resultados obtenidos en su ejecución, como también los ensayos satisfactorios al que fue sometido, demostrando así, su capacidad de respaldo al WPS.
- Fue importante calcular inicialmente, el grado de soldabilidad del metal base, con ayuda de conceptos del carbono equivalente y composición química del material A572 GR50, pues no dió un criterio más del comportamiento estructural al que sería sometido, y de su riesgo a la fisuración, teniendo de esta manera que optar por un control de la velocidad de enfriamiento del material ( precalentamiento)

## **6.2 Recomendaciones**

- La elaboración y calificación de procedimientos de soldadura deberían ser realizados por personal calificado y con experiencia en supervisión de construcciones soldadas, asimismo tener como respaldo, certificación en Inspección Visual y conocer sobre las técnicas de ensayos no destructivos y destructivos. (Anexo 1)

- La ejecución del proceso de soldeo para calificar el WPS, deben ser realizadas por un soldador con experiencia demostrada para tener un factor de mayor probabilidad de éxito en los resultados de la calificación.
- Debe haber reciprocidad en el cumplimiento de las directrices del WPS tanto del control de los parámetros (supervisor) como de quien los pone en práctica (soldador).
- Es de vital importancia tener bien definido los alcances del proyecto y los requerimientos del cliente para saber que normativa aplicar y que parámetros evaluar para seleccionar criterios que cumplan con el objetivo de calificación.
- Tener cuidado con los factores externos que influyen negativamente en los resultados, como son, la humedad, los vientos, las caídas de tensión, etc., para ello se debe adoptar medidas de control que no se indican en el WPS, esto exige, llevar un control en la ejecución de las soldaduras antes, durante y después, para prevenir defectos en la superficie y la sanidad de las mismas.
- La temperatura de precalentamiento depende de la composición química del material base así como de su espesor, es muy necesario e importante precalentar antes de soldar un metal a una determinada temperatura para evitar que existan zonas templadas en el metal base luego del proceso de soldeo, la temperatura debe controlarse durante todo el proceso de soldadura.

- Se recomienda antes de iniciar un proceso de soldadura en taller o en campo, realizar una calificación del mismo con la finalidad de tener parametrizado las actividades de soldeo para obtener soldaduras de calidad y evitar reprocesos
- El proceso GMAW debe efectuarse con ciertas precauciones, debido a que tiene parámetros que influyen en la calidad de los cordones, como la distancia del electrodo libre, la velocidad de avance, la tensión aplicada y la temperatura del metal base al inicio y entre pasadas.
- Es muy necesario e importante invertir en la elaboración de procedimientos de soldadura, mucho más cuando no se cuenta con PQRs, o WPSs precalificados, al inicio de todo proyecto y antes del arranque de soldadura, con ello no solo se evitará costos de no calidad, sino mejorar la eficiencia de la producción y la calidad de las uniones, al contar con directrices ya aprobadas con ensayos destructivos y no destructivos, además respaldadas bajo cierto código.

## VII. REFERENCIALES

### 7.1 Fuentes bibliográficas

- **AMERICAN SOCIETY MECHANICAL ENGINEERS** ASME Sección IX Qualification standard for Welding, Brazing and Fusing Procedures, Welders Brazers, and Welding, Brazing and Fusing operators **Edición 2015**
- **AMERICAN SOCIETY MECHANICAL ENGINEERS** ASME Sección VIII Rules for Construction Pressure Vessels **Edición 2010**
- **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, (ASTM)** Standard Specification for A572/ A572M-03. **Edición 2003**
- **AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS).** D1.1/D1 Código de acero estructural **Edición 2010**
- **ANSI/AWS 3.0.** Norma de términos y definiciones de Soldadura. EEUU 2001
- **ASOCIACION ESPAÑOLA DE SOLDADURA Y TECNOLOGIAS DE UNION.** Inspección Visual. España. **CESOL 2013**
- **ASOCIACION ESPAÑOLA DE SOLDADURA Y TECNOLOGIAS DE UNION.** Ensayos no destructivos de materiales y uniones soldadas. España. **CESOL 2013**

- **ASOCIACION ESPAÑOLA DE SOLDADURA Y TECNOLOGIAS DE UNION.** Inspección radiográfica. **España. CESOL 2013**
- **ASOCIACION ESPAÑOLA DE SOLDADURA Y TECNOLOGIAS DE UNION.** Soldeo migmag. **España. CESOL 2007**
- **BARRERA, MORALES, GIRALDO.** Estudio de la soldabilidad del acero estructural ASTM A572 grado 50 con proceso GMAW en junta en t, posición 3f progresión descendente, comparado con el proceso SMAW progresión ascendente. **Tesis de grado Bogotá. 2015**
- **ESAB – CONARCO.** Boletín técnico 129 publicación **Edición Diciembre 2007**
- **ESQUICHA LARICO, ELIAS.** Control de parámetros del proceso GMAW- MIG en soldaduras del acero A-36 para optimizar la recuperación de piezas. **Tesis de Maestría. Universidad Nacional de San Agustín 2017**
- **FOSCA PASTOR, CARLOS** Introducción a la metalurgia de la soldadura **Séptima Edición. 2007**
- **HERNANDEZ RIESCO, GERMÁN.** Manual del soldador **Madrid. 2010**
- **SOLDEXA.** Manual técnico. **Segunda Edición.**

## 7.2 Fuentes electrónicas

- **INGEMECÁNICA.** Características Mecánicas del Acero  
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html>  
Consultado el 6 de enero de 2018
- **FSU WELD PROF** Welding positions  
<http://fsuweldprof.weebly.com/basics.html>  
Consultado el 30 de enero de 2018
- **DEMAQUINASYHERRAMIENTAS** Soldadura migmag  
<http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/partes-de-un-soldador-migmag>  
Consultado el 30 de enero de 2018

## VIII ANEXOS Y PLANOS

### 8.1. ANEXOS

#### ANEXO 1

#### CERTIFICADO NIVEL II INSPECCION VISUAL



[www.iccsudameris.org](http://www.iccsudameris.org)

*This Certification is intended for exclusive use on behalf of the Employer. According with Recommended Practice ASNT-TC-1A, the contract employer's certification will remain valid only for the period of the contract. The employer's certification shall be deemed revoked when contract is terminated.*

Be known that in accordance to the documentation provided to this agency and the examination scores below

**FERNANDO ROY CHAVEZ ASCARRUZ**

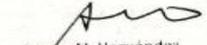
Has meet the established written and published requirements of ASNT SNT-TC-1A 2011 for Level II (limited) in

#### VT - VISUAL TESTING - WELDS

EXAMINATION	SCORE	ADMINISTERED BY	DATE
GENERAL	90.0%	AM. Hernández	MAR - 31- 14
SPECIFIC	90.0%	AM. Hernández	MAR - 31- 14
PRACTICAL	85.0%	A.M. Hernández	MAR - 31- 14
COMPOSITE SCORE	88.3%		

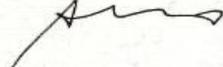
REQUIRED EXPERIENCE	MEETS
FORMAL TRAINING	MEETS
VISUAL ACUITY EXAM	MEETS
CERTIFICATION NUMBER	C120526VT
VALID DATE	MAR - 31- 14
EXPIRATION DATE	MAR - 31- 19

This certificate is issued as evidence that the required examinations; General, Practical and Specific has been satisfactory completed and the Certification in accordance with Employer's written practice, can proceed.

  
Arturo M. Hernández  
ASNT Level III PT/RT/UT/MT/VT  
Cert. N° 97444

Manager, Certification Programs





Administrative Director

For authentication and valid expiration date verification purposes, contact us to [contact@iccsudameris.org](mailto:contact@iccsudameris.org)

## ANEXO 2 ESPECIFICACIÓN A572/ A572M (1 DE 2)



Designation: A 572/A 572M – 03a

American Association State  
Highway and Transportation  
Officials Standard  
AASHTO No.: M223

### Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation A 572/A 572M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

#### 1. Scope\*

1.1 This specification covers five grades of high-strength low-alloy structural steel shapes, plates, sheet piling, and bars. Grades 42 [290], 50 [345], and 55 [380] are intended for riveted, bolted, or welded structures. Grades 60 [415] and 65 [450] are intended for riveted or bolted construction of bridges, or for riveted, bolted, or welded construction in other applications.

1.2 For applications, such as welded bridge construction, where notch toughness is important, notch toughness requirements are to be negotiated between the purchaser and the producer.

1.3 The use of columbium, vanadium, titanium, nitrogen, or combinations thereof, within the limitations noted in Section 5, is required; the selection of type (1, 2, 3, 4, or 5) is at the option of the producer, unless otherwise specified by the purchaser. (See Supplementary Requirement S90.)

1.4 The maximum thicknesses available in the grades and products covered by this specification are shown in Table 1.

1.5 When the steel is to be welded, a welding procedure suitable for the grade of steel and intended use or service is to be utilized. See Appendix X3 of Specification A 6/A 6M for information on weldability.

1.6 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system is to be used independently of the other, without combining values in any way.

1.7 The text of this specification contains notes or footnotes, or both, that provide explanatory material. Such notes and footnotes, excluding those in tables and figures, do not contain any mandatory requirements.

1.8 For structural products produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, the additional requirements, including additional testing requirements and the reporting of additional tests, of A 6/A 6M apply.

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 ASTM Standards:

A 6/A 6M Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling<sup>2</sup>

A 36/A 36M Specification for Carbon Structural Steel<sup>2</sup>

A 514/A 514M Specification for High-Yield Strength, Quenched and Tempered Alloy Steel Plate, Suitable for Welding<sup>2</sup>

#### 3. General Requirements for Delivery

3.1 Structural products furnished under this specification shall conform to the requirements of the current edition of Specification A 6/A 6M, for the specific structural product ordered, unless a conflict exists in which case this specification shall prevail.

3.2 Coils are excluded from qualification to this specification until they are processed into a finished structural product. Structural products produced from coil means structural products that have been cut to individual lengths from a coil. The processor directly controls, or is responsible for, the operations involved in the processing of a coil into a finished structural product. Such operations include decoiling, leveling or straightening, hot-forming or cold-forming (if applicable), cutting to length, testing, inspection, conditioning, heat treatment (if applicable), packaging, marking, loading for shipment, and certification.

NOTE 1—For structural products produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, two test results are to be reported for each qualifying coil. Additional requirements regarding structural products produced from coil are described in A 6/A 6M.

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel and Related Alloys, and is the direct responsibility of Subcommittee A01.02 on Structural Steel for Bridges, Buildings, Rolling Stock, and Ships.

Current edition approved May 10, 2003. Published August 2003. Originally

## ANEXO 2 ESPECIFICACIÓN A572 (2 DE 2)



**TABLE 1 Maximum Product Thickness or Size**

Grade	Yield Point, min		Maximum Thickness or Size					
	ksi	[MPa]	Plates and Bars		Structural Shape Flange or Leg Thickness		Sheet Piling	Zees and Rolled Tees
			in.	[mm]	in.	[mm]		
42 [290] <sup>A</sup>	42	[290]	6	[150]	all	all	all	all
50 [345] <sup>A</sup>	50	[345]	4 <sup>B</sup>	[100] <sup>B</sup>	all	all	all	all
55 [380]	55	[380]	2	[50]	all	all	all	all
60 [415] <sup>A</sup>	60	[415]	1¼ <sup>C</sup>	[32] <sup>C</sup>	2	[50]	all	all
65 [450]	65	[450]	1¼	[32]	2	[50]	not available	all

<sup>A</sup>In the above tabulation, Grades 42, 50, and 60 [290, 345, and 415], are the yield point levels most closely approximating a geometric progression pattern between 36 ksi [250 MPa], min, yield point steels covered by Specification A 36/A 36M and 100 ksi [690 MPa], min, yield strength steels covered by Specification A 514/A 514M.

<sup>B</sup>Round bars up to and including 11 in. [275 mm] in diameter are permitted.

<sup>C</sup>Round bars up to and including 3½ in. [90 mm] in diameter are permitted.

**TABLE 2 Chemical Requirements<sup>A</sup>  
(Heat Analysis)**

Diameter, Thickness, or Distance Between Parallel Faces, in. [mm] Plates and Bars	Structural Shape Flange or Leg Thickness, in. [mm]	Grade	Carbon, max, %	Manganese, <sup>B</sup> max, %	Phosphorus, max, %	Sulfur, max, %	Silicon	
							Plates to 1½ in. [40 mm] Thick, Shapes with Flange or Leg Thickness to 3 in. [75 mm] inclusive, Sheet Piling, Bars, Zees, and Rolled Tees <sup>C</sup>	Plates Over 1½ in. [40 mm] Thick and Shapes with Flange Thickness Over 3 in. [75 mm]
6 [150]	all	42 [290]	0.21	1.35 <sup>D</sup>	0.04	0.05	0.40	0.15-0.40
4 [100] <sup>E</sup>	all	50 [345]	0.23	1.35 <sup>D</sup>	0.04	0.05	0.40	0.15-0.40
2 [50] <sup>F</sup>	all	55 [380]	0.25	1.35 <sup>D</sup>	0.04	0.05	0.40	0.15-0.40
1¼ [32] <sup>F</sup>	≤2 [50]	60 [415]	0.26	1.35 <sup>D</sup>	0.04	0.05	0.40	<sup>G</sup>
>½ - 1¼ [13-32]	>1-2 [25-50]	65 [450]	0.23	1.65	0.04	0.05	0.40	<sup>G</sup>
≤½ [13] <sup>H</sup>	≤1 <sup>H</sup>	65 [450]	0.26	1.35	0.04	0.05	0.40	<sup>G</sup>

<sup>A</sup>Copper when specified shall have a minimum content of 0.20 % by heat analysis (0.18 % by product analysis).

<sup>B</sup>Manganese, minimum, by heat analysis of 0.80 % (0.75 % by product analysis) shall be required for all plates over ¾ in. [10 mm] in thickness; a minimum of 0.50 % (0.45 % by product analysis) shall be required for plates ¾ in. [10 mm] and less in thickness, and for all other products. The manganese to carbon ratio shall not be less than 2 to 1.

<sup>C</sup>Bars over 1½ in. [40 mm] in diameter, thickness, or distance between parallel faces shall be made by a killed steel practice.

<sup>D</sup>For each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum is permitted, up to a maximum of 1.50 %.

<sup>E</sup>Round bars up to and including 9 in. [225 mm] in diameter are permitted.

<sup>F</sup>Round bars up to and including 3½ in. [90 mm] in diameter are permitted.

<sup>G</sup>The size and grade is not described in this specification.

<sup>H</sup>An alternative chemical requirement with a maximum carbon of 0.21 % and a maximum manganese of 1.65 % is permitted, with the balance of the elements as shown in Table 2.

#### 4. Materials and Manufacture

4.1 The steel shall be semi-killed or killed

#### 5. Chemical Composition

5.1 The heat analysis shall conform to the requirements prescribed in Table 2 and Table 3.

5.2 The steel shall conform on product analysis to the requirements prescribed in Table 2 and Table 3, subject to the product analysis tolerances in Specification A 6/A 6M.

#### 6. Mechanical Properties

##### 6.1 Tensile Properties:

6.1.1 The material as represented by the test specimens shall conform to the tensile properties given in Table 4.

#### 7. Keywords

7.1 bars; bolted construction; bridges; buildings; columbium-vanadium; high-strength; low-alloy; plates; riveted construction; shapes; sheet piling; steel; structural steel; welded construction

ANEXO 3

CERTIFICADO MODELO DEL METAL BASE A572 GR50

# 中普(邯郸)钢铁有限公司产品质量证明书

## ZHONGPU (HANDAN) IRON AND STEEL CO., LTD CERTIFICATE OF PRODUCT QUALITY

收货单位: HANZHE CORPORATION HANZHEONG COMPANY LIMITED  
 PURCHASER:  
 产品名称: 高强度低合金钢-结构钢  
 PRODUCT: HIGH STRENGTH LOW ALLOY M-N STRUCTURAL STEEL  
 交货状态: 热轧  
 DELIVERY CONDITION: AR

车 号: HJ0093E  
 VEHICLE NO:  
 合同编号: FPIE0046  
 CONTACT NO:  
 证明书编号: C70160574063  
 CERTIFICATE NO:



Z H O N G P U

炉号		批号	牌号	规格	张数	重量	化学成分 CHEMICAL COMPOSITION (%)										机械性能 MECHANICAL PROPERTIES			
HEAT NO.	BATCH NO.	GRADE	SIZE (mm)	SIZE (mm)	PCS	WT	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Cr	屈服强度 Y.S. Re	抗拉强度 Y.S. Rm	伸长率 Elong. A	冲击功 (纵向) IMPACT TEST (J)	冲击功 (横向) IMPACT TEST (J)	
2522102954	15E17688	A572M572M50	25*2400*12000	25*2400*12000	2	11.304	0.16	0.23	1.17	0.019	0.004	0.018	0.0130	0.363	455	565	18.2	/	/	/
2522102954	15E17687	A572M572M50	25*2400*12000	25*2400*12000	5	28.290	0.16	0.21	1.17	0.019	0.004	0.018	0.0130	0.363	419	542	23.4	/	/	/
2522102954	15E17696	A572M572M50	25*2400*12000	25*2400*12000	8	45.216	0.16	0.23	1.17	0.019	0.004	0.018	0.0130	0.363	491	537	21.8	/	/	/
合计: TOTAL					15	84.790														

1. 本产品质量保证书无产品质量专用章无效。  
 THE CERTIFICATE OF PRODUCT QUALITY IS INVALID WITHOUT QUALITY PRODUCT SPECIAL SEAL.  
 2. 如发现质量问题请与我公司联系。  
 PLEASE CONTACT US IF ANY QUALITY PROBLEM OCCURRED.

电话: (0310) 5178678, 5178696  
 TEL:  
 地址: 邯郸, 河北, 邯郸, 英雄路  
 ADDRESS: HANG YE TOWN, HUI AN CITY, HEBEI PROVINCE, P. R. CHINA

开证日期: 2015-06-04  
 ISSUE DATE:  
 开票员: 徐明庆  
 WRITER:



21 APR. 2016  
 CERTIFICADO DE CALIDAD

**ANEXO 4**  
**ASME SECCION IX TABLA QW/QB-422 P NUMBER**

Table QW/QB-422 Ferrous/Nonferrous P-Numbers Grouping of Base Metals for Qualification (Cont'd)										
Spec. No.	Type or Grade	UNS No.	Minimum Specified Tensile, ksi (MPa)	Welding		Brazing		ISO 15608 Group	Nominal Composition	Product Form
				P-No.	No.	P-No.	No.			
Ferrous (Cont)										
A/SA-542	B, Cl. 4	K21590	85 (585)	5C	1	102	5.2	2.25Cr-1Mo	Plate	
A/SA-542	B, Cl. 4a	K21590	85 (585)	5C	1	102	5.2	2.25Cr-1Mo	Plate	
A/SA-542	E, Cl. 4a	K31390	85 (585)	5C	1	102	6.2	3Cr-1Mo-0.25V-Cb-Ca	Plate	
A/SA-542	C, Cl. 1	K31830	105 (725)	5C	4	102	6.2	3Cr-1Mo-V-Ti-B	Plate	
A/SA-542	C, Cl. 2	K31830	115 (795)	5C	5	102	6.2	3Cr-1Mo-V-Ti-B	Plate	
A/SA-542	C, Cl. 3	K31830	95 (655)	5C	3	102	6.2	3Cr-1Mo-V-Ti-B	Plate	
A/SA-542	C, Cl. 4	K31830	85 (585)	5C	1	102	6.2	3Cr-1Mo-V-Ti-B	Plate	
A/SA-542	C, Cl. 4a	K31830	85 (585)	5C	1	102	6.2	3Cr-1Mo-V-Ti-B	Plate	
A/SA-542	D, Cl. 4a	K31835	85 (585)	5C	1	102	6.3	2.25Cr-1Mo-V	Plate	
A/SA-543	C, Cl. 1	...	105 (725)	11A	5	102	3.1	2.75Ni-1.5Cr-0.5Mo	Plate	
A/SA-543	C, Cl. 2	...	115 (795)	11B	10	102	3.1	2.75Ni-1.5Cr-0.5Mo	Plate	
A/SA-543	C, Cl. 3	...	90 (620)	3	3	102	3.1	2.75Ni-1.5Cr-0.5Mo	Plate	
A/SA-543	B, Cl. 1	K42339	105 (725)	11A	5	102	3.1	3Ni-1.75Cr-0.5Mo	Plate	
A/SA-543	B, Cl. 2	K42339	115 (795)	11B	10	102	3.1	3Ni-1.75Cr-0.5Mo	Plate	
A/SA-543	B, Cl. 3	K42339	90 (620)	3	3	102	3.1	3Ni-1.75Cr-0.5Mo	Plate	
A/SA-553	II	K71340	100 (690)	11A	1	101	9.3	8Ni	Plate	
A/SA-553	I	K81340	100 (690)	11A	1	101	9.3	9Ni	Plate	
A/SA-556	A2	K01807	47 (325)	1	1	101	1.1	C	Smls. tube	
A/SA-556	B2	K02707	60 (415)	1	1	101	11.1	C-Si	Smls. tube	
A/SA-556	C2	K03006	70 (485)	1	2	101	11.1	C-Mn-Si	Smls. tube	
A/SA-557	A2	K01807	47 (325)	1	1	101	1.1	C	E.R.W. tube	
A/SA-557	B2	K03007	60 (415)	1	1	101	11.1	C	E.R.W. tube	
A/SA-557	C2	K03505	70 (485)	1	2	101	11.1	C-Mn	E.R.W. tube	
A/SA-562	...	K11224	55 (380)	1	1	101	1.1	C-Mn-Ti	Plate	
A/SA-572	42	...	60 (415)	1	1	101	1.2	C-Mn-Si	Plate & shapes	
<b>A/SA-572</b>	<b>50</b>	<b>...</b>	<b>65 (450)</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>101</b>	<b>1.2</b>	<b>C-Mn-Si</b>	<b>Plate &amp; shapes</b>	
A/SA-572	60	...	75 (515)	1	2	101	11.1	C-Mn-Si	Plate & shapes	
A573	58	...	58 (400)	1	1	101	11.1	C	Plate	
A573	65	...	65 (450)	1	1	101	11.1	C	Plate	
A573	70	...	70 (485)	1	2	101	11.1	C	Plate	
A575	M 1008	...	...	1	1	101	1.1	C	Bar	
A575	M 1010	...	...	1	1	101	1.1	C	Bar	

## ANEXO 5 GUÍA BÁSICA DE PROCESOS Y METALES DE APORTE

Acero		Límite de Fluencia mínimo (MPa)	Resist. a la Tracción (MPa)	Especificación de proceso y material de aporte según AWS
ASTM A36		250	400-550	
ASTM A53	Grado B	250	415 min	
ASTM A106	Grado B	240	415 min	SMAW AWS A5.1
ASTM A131	Grado A, B, CS, D, DS, E	235	400-490	E60XX E70XX
ASTM A139	Grado B	241	414 min	
ASTM A381	Grado Y35	240	415 min	AWS A5.5
ASTM A500	Grado A	228	310 min	E70XX-X
	Grado B	290	400 min	SAW
ASTM A501		250	400 min	AWS A5.17
ASTM A516	Grado 55	205	380-515	F6XX-EXXX, F6XX-ECXXX
	Grado 60	220	415-550	F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX
ASTM A524	Grado I	240	415-586	AWS-A5.23
	Grado II	205	380-550	F7XX-EXX-XX, F7XX-ECXXX-XX
ASTM A529		290	415-586	
ASTM A570	Grado 30	205	340 min	GMAW v GTAW AWS A5.18
	Grado 33	230	360 min	ER70S-X
	Grado 36	250	365 min	AWS A5.28
	Grado 40	275	380 min	ER70S-XXX, E70C-XXX
	Grado 45	310	415 min	
	Grado 50	345	450 min	
ASTM A573	Grado 65	240	450-530	FCAW
	Grado 58	220	400-490	AWS A5.20
ASTM A709	Grado 36	250	400-550	E6XT-X, E6XT-XM
API 5L	Grado B	240	415	E7XT-X, E7XT-XM
	Grado X42	290	415	
	Grado A, B, CS, D, DS		400-490	AWS A5.29
ABS	Grado E		400-490	E7XTX-X, E7XTX-XM
ASTM A131	Grado AH32, DH32, EH32	315	470-585	SMAW
	Grado AH36, DH36, EH36	350	490-620	AWS A5.1
ASTM A441		275-345	415-485	E7015, E7016
ASTM A516	Grado 65	240	450-585	E7018, E7028
	Grado 70	260	485-620	AWS A5.5
ASTM A537	Clase 1	310-345	450-620	E7015-X, E7016-X
ASTM A572	Grado 42	290	415 min	E7018-X
<b>ASTM A572</b>	<b>Grado 50</b>	<b>345</b>	<b>450 min</b>	SAW
ASTM A588	(< 100 mm)	345	485 min	AWS A5.17
ASTM A595	Grado A	380	450 min	F7XX-EXXX, F7XX-ECXXX
	Grados B v C	415	480 min	AWS-A5.23
ASTM A6065		310-340	450 min	F7XX-EXX-XX, F7XX-ECXXX-XX
ASTM A607	Grado 45	310	410 min	GMAW v GTAW
	Grado 50	345	450 min	<b>AWS A5.18</b>
	Grado 55	380	480 min	<b>ER70S-X, E70C-XC</b>
ASTM A618	Grado Ib, II, III	315-345	450 min	AWS A5.28
ASTM A633	Grado A	290	430-570	ER70S-XXX, E70C-XXX
	Grados C, D (< 65 mm)	345	485-620	FCAW AWS A5.20
ASTM A709	Grado 50	345	450 min	E7XT-X, E7XT-XM
	Grado 50W	345	485 min	AWS A5.29
ASTM A710	Grado A, Clase 2	380	450 min	E7XTX-X, E7XTX-XM
ASTM A808	(2-1/2 in v por debajo)	290	415 min	
ASTM A913	Grado 50	345	450 min	
API 2H	Grado 42	290	550-430	
	Grado 50	345	485 min	
API 2W	Grado 42	290-462	427 min	
	Grado 50	345-517	448 min	
	Grado 50T	345-551	483 min	
API 2Y	Grado 42	290-462	427 min	
	Grado 50	345-517	448 min	
	Grado 50T	345-552	483 min	
API 5L	Grado X52	360	455-495	
ABS	Grado AH32, DH32, EH32	315	490-620	
	Grado AH36, DH36, EH36	350	490-620	

**ANEXO 6**  
**ASME SECCION IX –TABLA QW- 432 F-NUMBER**

<b>Table QW-432</b>			
<b>F-Numbers</b>			
<b>Grouping of Electrodes and Welding Rods for Qualification</b>			
<b>F-No.</b>	<b>ASME Specification</b>	<b>AWS Classification</b>	<b>UNS No.</b>
1	SFA-5.1	EXX20	...
1	SFA-5.1	EXX22	...
1	SFA-5.1	EXX24	...
1	SFA-5.1	EXX27	...
1	SFA-5.1	EXX28	...
1	SFA-5.4	EXXX(X)-26	...
1	SFA-5.5	EXX20-X	...
1	SFA-5.5	EXX27-X	...
2	SFA-5.1	EXX12	...
2	SFA-5.1	EXX13	...
2	SFA-5.1	EXX14	...
2	SFA-5.1	EXX19	...
2	SFA-5.5	E(X)XX13-X	...
3	SFA-5.1	EXX10	...
3	SFA-5.1	EXX11	...
3	SFA-5.5	E(X)XX10-X	...
3	SFA-5.5	E(X)XX11-X	...
4	SFA-5.1	EXX15	...
4	SFA-5.1	EXX16	...
4	SFA-5.1	EXX18	...
4	SFA-5.1	EXX18M	...
4	SFA-5.1	EXX48	...
4	SFA-5.4 other than austenitic and duplex	EXXX(X)-15	...
4	SFA-5.4 other than austenitic and duplex	EXXX(X)-16	...
4	SFA-5.4 other than austenitic and duplex	EXXX(X)-17	...
4	SFA-5.5	E(X)XX15-X	...
4	SFA-5.5	E(X)XX16-X	...
4	SFA-5.5	E(X)XX18-X	...
4	SFA-5.5	E(X)XX18M	...
4	SFA-5.5	E(X)XX18M1	...
4	SFA-5.5	E(X)XX45	...
5	SFA-5.4 austenitic and duplex	EXXX(X)-15	...
5	SFA-5.4 austenitic and duplex	EXXX(X)-16	...
5	SFA-5.4 austenitic and duplex	EXXX(X)-17	...
6	SFA-5.2	All classifications	...
6	SFA-5.9	All classifications	...
6	SFA-5.17	All classifications	...
<b>6</b>	<b>SFA-5.18</b>	<b>All classifications</b>	<b>...</b>
6	SFA-5.20	All classifications	...
6	SFA-5.22	All classifications	...
6	SFA-5.23	All classifications	...
6	SFA-5.25	All classifications	...
6	SFA-5.26	All classifications	...
6	SFA-5.28	All classifications	...
6	SFA-5.29	All classifications	...

## ANEXO 7 ESPECIFICACIÓN DEL METAL DE APORTE

<b>GMAW</b>		<b>SOLDEXA</b>							
<b>Aceros de C-Mn y baja aleación</b>		<b>ER70S-6</b>							
<p>Alambre macizo para la soldadura de aceros al carbono o de baja aleación por el proceso MAG. Su contenido de silicio y manganeso le confiere excelentes propiedades desoxidantes, lo que asegura una soldadura libre de porosidades en una variedad de trabajos. Está diseñado para aplicaciones en donde se requieren eficiencia y alto grado de deposición.</p>									
<b>Clasificación</b>									
AWS A5.18 / ASME SFA-5.18		ER70S-6							
<b>Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos*) [%]</b>									
C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0.06 0.15	1.40 1.85	0.80 1.15	máx. 0.010	máx. 0.011	-	-	-	0.005	-
<b>Propiedades Mecánicas del Metal Depositado</b>									
Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Limite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V (-20°C) [J]					
Sin tratamiento	497 - 552 (72 000 - 80 000)	mín. 410 (59 500)	mín. 22	mín. 81					
<b>Conservación del Producto</b>		<b>Posiciones de Soldadura</b>							
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mantener en un lugar seco y evitar humedad.</li> <li>No requiere almacenamiento bajo horno.</li> </ul>		<p>P, H, Va, Sc, Vd</p> 							
<b>Parámetros de Soldeo Recomendados</b>									
Diámetro [mm (pulg.)]	0.80 (0.030)		1.00 (0.040)		1.20 (0.047)				
Polaridad	Corriente continua electrodo al positivo (DCEP)								
Gas protector	100%CO <sub>2</sub> ó Mezcla Ar+CO <sub>2</sub> (80%/20% - 75%/25%)								
Posición de soldadura	Amp. [A]	Volt. [V]	Amp. [A]	Volt. [V]	Amp. [A]	Volt. [V]			
Plana, Filete Horizontal	80 - 160	18 - 21	90 - 190	19 - 24	150 - 330	21 - 31			
Horizontal	85 - 120	18 - 19	120 - 170	19 - 22	130 - 170	21 - 25			
Vertical Ascendente	120 - 150	17 - 19	135 - 170	19 - 20	135 - 180	19 - 21			
Sobrecabeza	85 - 140	18 - 19	125 - 170	18 - 19	105 - 170	19 - 20			
<b>Aplicaciones</b>									
<ul style="list-style-type: none"> <li>Aceros estructurales no aleados.</li> <li>Aceros navales A, B, C, D, E.</li> <li>Puede trabajar en cualquier transferencia de material de aporte.</li> <li>Para la fabricación de estructuras metálicas, tolvas, industria carrocera, carpintería metálica, mototaxis, etc.</li> </ul>									

**ANEXO 8**  
**AWS –TABLA 1 DE LA COMPOSICION QUIMICA DEL ELECTRODO**

**Table 1**  
**Chemical Composition Requirements for Solid Electrodes and Rods**

AWS Classification <sup>b</sup>	UNS Number <sup>c</sup>	Weight Percent <sup>a</sup>												
		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cr <sup>d</sup>	Ti	Zr	Al
ER70S-2	K110726	0.07	0.90 to 1.40	0.40 to 0.70	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.50	0.05 to 0.15	0.02 to 0.12	0.05 to 0.15
ER70S-3	K111022	0.06 to 0.15	0.90 to 1.40	0.45 to 0.75	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.50	—	—	—
ER70S-4	K111132	0.07 to 0.15	1.00 to 1.50	0.65 to 0.85	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.50	—	—	—
ER70S-5	K111357	0.07 to 0.19	0.90 to 1.40	0.30 to 0.60	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.50	—	—	0.50 to 0.90
ER70S-6	K111140	0.06 to 0.15	1.40 to 1.85	0.80 to 1.15	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.50	—	—	—
ER70S-7	K111125	0.07 to 0.15	1.50 to 2.00 <sup>e</sup>	0.50 to 0.80	0.025	0.035	(e)	(e)	(e)	(e)	0.50	—	—	—
ER70S-G	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Notes:

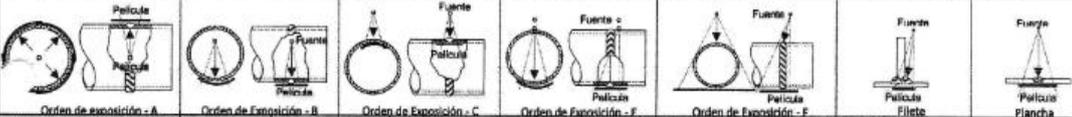
- a. Single values are maximum.
- b. The letter "N" as a suffix to a classification indicates that the weld metal is intended for the core bell region of nuclear reactor vessels, as described in the Annex to the specification. This suffix changes the limits on the phosphorus, vanadium and copper as follows:  
P = 0.012% maximum  
V = 0.05% maximum  
Cu = 0.08% maximum
- c. SAE/ASTM Unified Numbering System for Metals and Alloys.
- d. Copper due to any coating on the electrode or rod plus the copper content of the filler metal itself, shall not exceed the stated 0.50% max.
- e. These residual elements shall not exceed 0.50% in total.
- f. In this classification, the maximum Mn may exceed 2.0%. If it does, the maximum C must be reduced 0.01% for each 0.05% increase in Mn or part thereof.
- g. Chemical requirements are not specified but there shall be no intentional addition of Ni, Cr, Mo, and V. Composition shall be reported. Requirements are those agreed to by the purchaser and the supplier.

**ANEXO 9**  
**TABLA DE PRECALENTAMIENTO MINIMO AWS D1.1**

**Tabla 3.2**  
**Temperatura Mínima de Pre calentamiento Precalificado y de Interpase (ver 3.5)**

C a t e g o r í a	Especificación de Acero	Proceso de Soldadura	Espesor de la Sección Mas Gruesa en el Punto de Soldadura		Temperatura Mínima de Pre calentamiento y de Interpase		
			pulg.	mm	°F	°C	
A	ASTM A 36						
	ASTM A 53	Grado B					
	ASTM A 106	Grado B					
	ASTM A 131	Grados A, B, CS, D, DS, E					
	ASTM A 139	Grado B					
	ASTM A 381	Grado Y35					
	ASTM A 500	Grado A					
		Grado B					
		Grado C					
	ASTM A 501			1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
	ASTM A 516		SMAW con electrodos diferentes a los bajo hidrógeno	Más de 3/4 por 1-1/2 incl.	Más de 20 por 38 incl.	150	65
	ASTM A 524	Grados I & II					
	ASTM A 573	Grado 65					
ASTM A 709	Grado 36						
ASTM A 1008 SS	Grado 30						
	Grado 33 Tipo 1						
	Grado 40 Tipo 1						
ASTM A 1011 SS	Grado 30			Más de 1-1/2 por 2-1/2 incl.	Más de 38 por 65 incl.	225	110
	Grado 33						
	Grado 36 Tipo 1						
	Grado 40			Más de 2-1/2	Más de 65	300	150
	Grado 45						
	Grado 50						
	Grado 55						
API 5L	Grado B						
	Grado X42						
ABS	Grados A, B, D, CS, DS						
	Grado E						
B	ASTM A 36						
	ASTM A 53	Grado B					
	ASTM A 106	Grado B					
	ASTM A 131	Grados A, B, CS, D, DS, E AH 32 & 36 DH 32 & 36 EH 32 & 36		1/8 a 3/4 incl.	3 a 20 incl.	32 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
	ASTM A 139	Grado B					
	ASTM A 381	Grado Y35					
	ASTM A 441						
	ASTM A 500	Grado A					
		Grado B					
		Grado C					
	ASTM A 501		SMAW con otros electrodos bajos en hidrógeno SAW, GMAW, FCAW	Más de 3/4 por 1-1/2 incl.	Más de 20 por 38 incl.	50	10
	ASTM A 516	Grados 55 & 60 65 & 70					
	ASTM A 524	Grados I & II					
ASTM A 529	Grados 50 & 55						
ASTM A 537	Clases 1 & 2						
ASTM A 572	Grados 42, 50, 55						
				Más de 1-1/2 por 2-1/2 incl.	Más de 38 por 65 incl.	150	65
				Más de 2-1/2	Más de 65	225	110

## ANEXO 10 INFORME RADIOGRÁFICO

 Av. Oscar R. Benavides 3008 Of. 1203 Lima Tel:(511)-647-6987 - LIMA - PERÚ administración@inspecdac.com www.inspecdac.com		<b>INFORME RADIOGRAFICO</b>		INFORME:	3553-01-16	
		PAGINA:	01	de	01	
		FECHA:	18 / 07 / 16			
		PROCEDIMIENTO:	INS-ASME-RT001-16			
CLIENTE	CyM			ATENCION: Orlando Alva		
Trabajo/Obra:	FABRICACION EQUIPOS HIDROMECANICOS C.H. ANGEL 01, 02 Y 03.					
<b>INFORMACION TÉCNICA</b>						
CRITERIO DE ACEPTACIÓN -	ASME IX-2015	SELECCIÓN DE ICI	1 ASTM B			
PENUMBRA GEOMETRICA	≤ 5 mm.	POSICIÓN DE ICI	FUENTE			
MATERIAL BASE	ASTM A-572 - Gr- 50	HILLO ESENCIAL	0.20 mm			
ESPESOR DE MATERIAL BASE	25.00 mm	PELÍCULA UTILIZADA	AGFA D5			
TIPO ISÓTOPO - TAMAÑO DE	3.71 mm	PANTALLA DE Pb (ambos)	0.027 mm			
ACTIVIDAD	10.0 Ci	DIMENSION DE PELÍCULA	70 x 300 mm			
DISTANCIA FUENTE - PELICULA	300 mm	PROCESO DE REVELADO	MANUAL			
TIEMPO DE EXPOSICIÓN	4.12 min	TEMPERATURA DE	23 °C			
TÉCNICA RADIOGRÁFICA	PARED SIMPLE	TIEMPO DE REVELADO	7 min			
CALIDAD RADIOGRÁFICA	I	DENSIDAD DE PELICULA	2 a 4			
<b>TÉCNICA DE EXPOSICIÓN UTILIZADA: B</b>						
						
<b>ISOMÉTRICO - IDENTIFICACIÓN</b>	<b>SOLDADOR</b>	<b>DISCONTINUIDAD</b>	<b>PROCESO</b>	<b>POSICION</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
01 Neil Dante Reynoso León	NRL02	-	-	-	-	DN N°: 09508886
02 PROBETA	P1	-	GMAW	1G	ACEPTABLE	-
03						
04						
05						
06						
07						
08						
09						
10						
11						
12						
13						
14						
16						
17						
18						
19						
20						
<b>NOMENCLATURA DISCONTINUIDADES</b>						
Aa Porosidad Agrupada Ac Porosidad Dispersa Ae Porosidad alineada en raíz Ba Escoria entre cordones	C Falta de Fusión D Penetración Incompleta De Penetración excesiva K Rehufo de raíz	Da Concavidad interior de raíz Db Concavidad exterior Dh Descantamiento High-Low Ea Fisura Longitudinal Eb Fisura Transversal	Fa Socavado interno Fb Socavado externo T Inclusión de Tungsteno ET Espesor Total HE Hillo Esencial	<b>CONFORME</b>		
<b>LUGAR Y FECHA DE EJECUCION</b>	<b>INSPECTOR END</b>		<b>SUPERVISOR QA/QC</b>		<b>SUPERVISOR CLIENTE</b>	
LIMA 18 DE JULIO DEL 2016	INSPEC DAC S.A.C.  Roberto Leon Davalos NIVEL II SNT 1C - 1A RTUT-MI-PT-VT		 Fernando Chávez Ascarrunz Control de Calidad CYM S.A.C.			

**ANEXO 11**  
**CERTIFICADO NIVEL II - RADIOGRAFÍA**



**NONDESTRUCTIVE TESTING**

1435B Miramar Parkway PMB 299 | Miramar, Florida 33027  
(305) 246-4442 | Fax (305) 246-4644 | [ndtec@attglobal.net](mailto:ndtec@attglobal.net)

Date: November 10, 2014

Be it known that in Accordance with the documentation provided to this agency,  
and the examination scores below

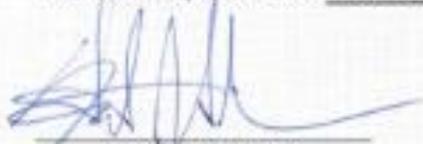
Pedro Roberto Leon Davalos

Has met the established written and published requirements of ASNT SNT-TC-1A  
for Level II certification in

Radiography

<u>EXAMINATION</u>	<u>SCORE</u>	<u>ADMINISTERED BY</u>	<u>DATE</u>
<u>GENERAL</u>	<u>86.0</u>	<u>Hector J. Silverman</u>	<u>11-10-14</u>
<u>SPECIFIC</u>	<u>87.5</u>	<u>Hector J. Silverman</u>	<u>11-10-14</u>
<u>PRACTICAL</u>	<u>90.0</u>	<u>Hector J. Silverman</u>	<u>11-10-14</u>
<u>COMPOSITE SCORE</u>	<u>87.8</u>		

Certification Expiration Date: 11-30-19

  
Hector J. Silverman  
ASNT NDT Level III 17319

245409684  
Certificate Number

Note: This document is valid only while employed by INSPEC/DAC SAC



## ANEXO 13 INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN



### UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**Facultad de Ingeniería Mecánica**

**Laboratorio de Mecánica N° 4**

INFORME TECNICO  
Lb4-1366-2016

### ENSAYOS DE TRACCIÓN EN PROBETAS DE PLANCHAS DE ACERO SOLDADAS

SOLICITANTE : **INSPECDAC S. A. C.**

REFERENCIA : Orden de Laboratorio N° 102803

FECHA : Lima, 09 de Agosto de 2016

1.	ANTECEDENTES	Se recibió dos (02) probetas de planchas de acero soldadas, con la finalidad de realizarle ensayo de tracción.																		
2.	DE LAS PROBETAS	Se identificó según el Cliente, como: Dos (02) probetas de planchas de acero soldadas de 25 mm de espesor  Material : ASTM A 572 Gr. 50 Posición : 1G Proceso : GMAW Soldador : Neil Dante Reynoso León D. N. I. : 09508888 Estampa : NRL2 Proyecto : FABRICACIÓN EQUIPOS HIDROMECAÑICOS C.H. ÁNGEL 01. 02 Y 03.																		
3.	EQUIPOS UTILIZADOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquina Universal de Ensayos mecánicos, marca TOKYOKOKI SEIZOSHO, capacidad 50 Ton.</li> <li>• Vernier digital, marca MITUTOYO, aproximación 0,01 mm.</li> </ul>																		
4.	CONDICIONES DE ENSAYO	T. : 18 °C H.R. : 74 %																		
5.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	Norma ASME Sección IX																		
6.	RESULTADOS	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">MUESTRA</th> <th style="width: 10%;">ESPESOR (mm)</th> <th style="width: 10%;">ANCHO (mm)</th> <th style="width: 10%;">FUERZA ROTURA (Kg)</th> <th style="width: 10%;">ESFUERZO MÁXIMO Kg/mm<sup>2</sup> (Mpa)</th> <th style="width: 50%;">OBSERVACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>25,21</td> <td>18,28</td> <td>28 305</td> <td>58,24 (571)</td> <td>Fractura en la soldadura</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>25,41</td> <td>19,05</td> <td>27 800</td> <td>57,02 (559)</td> <td>Fractura en el material base</td> </tr> </tbody> </table>	MUESTRA	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	FUERZA ROTURA (Kg)	ESFUERZO MÁXIMO Kg/mm <sup>2</sup> (Mpa)	OBSERVACIÓN	1	25,21	18,28	28 305	58,24 (571)	Fractura en la soldadura	2	25,41	19,05	27 800	57,02 (559)	Fractura en el material base
MUESTRA	ESPESOR (mm)	ANCHO (mm)	FUERZA ROTURA (Kg)	ESFUERZO MÁXIMO Kg/mm <sup>2</sup> (Mpa)	OBSERVACIÓN															
1	25,21	18,28	28 305	58,24 (571)	Fractura en la soldadura															
2	25,41	19,05	27 800	57,02 (559)	Fractura en el material base															
* Código de autenticación : OCYIVJT MDNCMIVJ PUTP TUTT																				



**ING. SEBASTIAN LAZO OCHOA**  
CIP. 74236  
Jefe del Laboratorio de Mecánica

Av. Túpac Amaru 210 – Lima 25, Perú

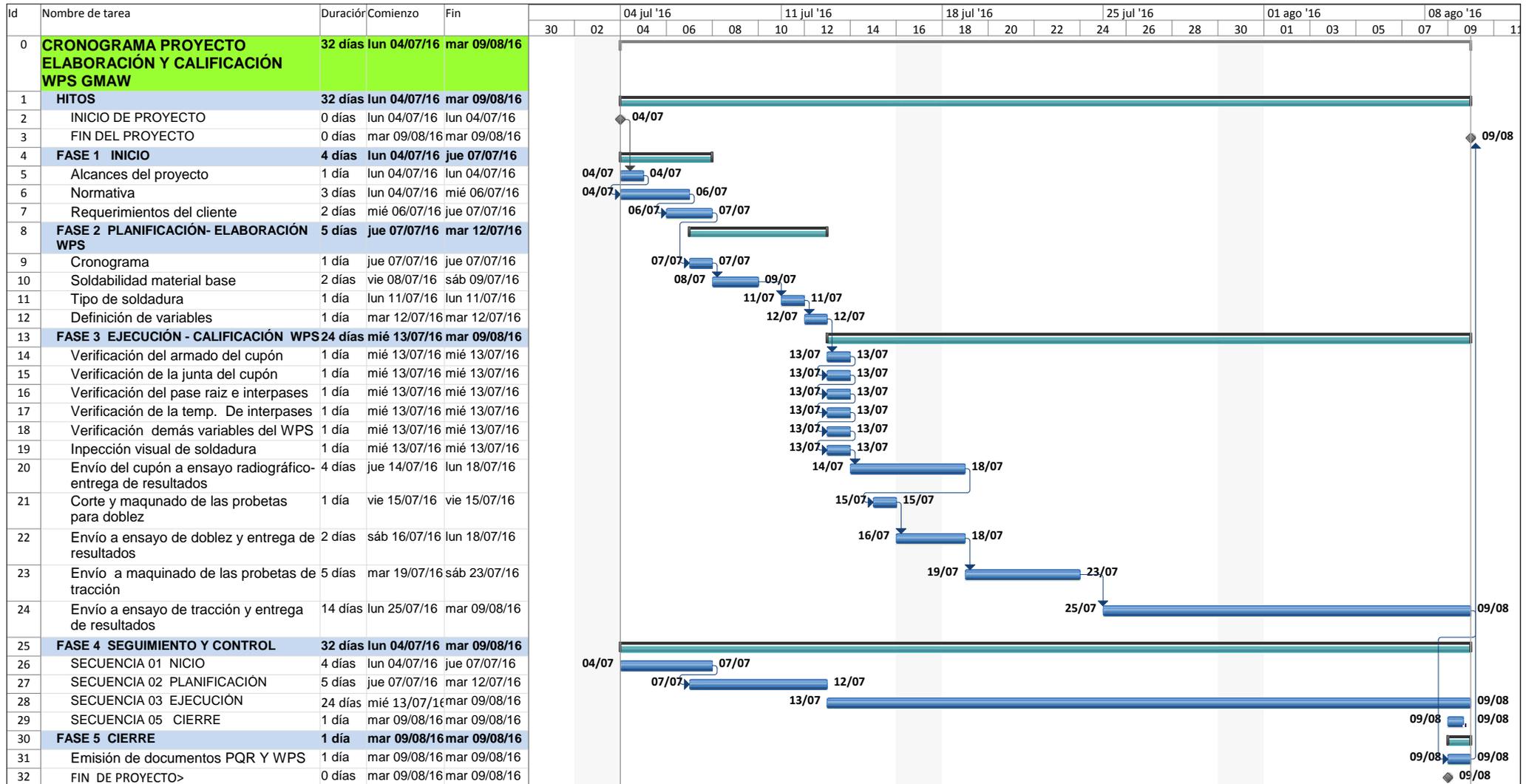
☎ Telefaxis: 381-3833 / 481-1070 Anexo 256 / ✉ Email: laboratorio\_4@outlook.com

Pág. 1 de 1

## **ANEXO 14**

### **CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

**Ver siguiente página**



Proyecto: CRONOGRAMA PROYEC Fecha: jue 07/07/16	Tarea		Resumen del proyecto		Hito inactivo		Informe de resumen manual		Fecha límite	
	División		Tareas externas		Resumen inactivo		Resumen manual		Tareas críticas	
	Hito		Hito externo		Tarea manual		Sólo el comienzo		División crítica	
	Resumen		Tarea inactiva		Sólo duración		Sólo fin		Progreso	

## **8.2 Planos**

### **Planos de montaje de tubería forzada**

#### **Plano 1. Pique de presión**

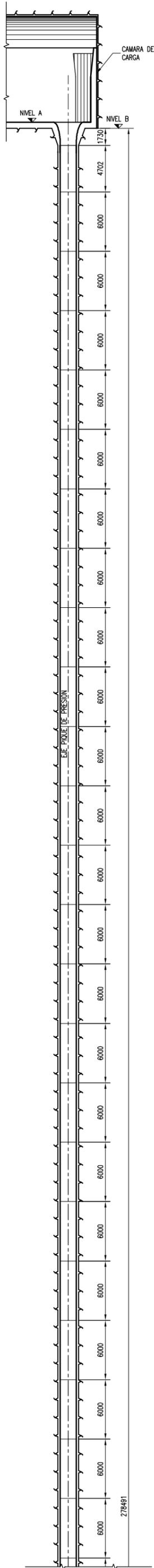
**Ver siguiente página**

TRAMO	
TRAMO 1	9mm
Ø (mm)	4702
L (m)	1600

TRAMO 1	9mm
Ø (mm)	4702
L (m)	1600

TRAMO 2	12mm
Ø (mm)	7200
L (m)	1600

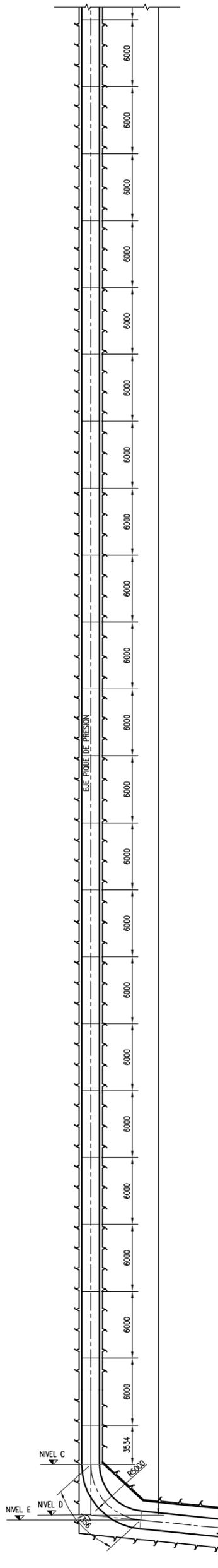
TRAMO 3	16mm
Ø (mm)	9600
L (m)	1600



TRAMO	
TRAMO 3	16mm
Ø (mm)	9600
L (m)	1600

TRAMO 3	16mm
Ø (mm)	9600
L (m)	1600

TRAMO 4	19mm
Ø (mm)	11534
L (m)	1600



**ELEVACION**  
ESCALA 1:200

CUADRO DE NIVELES

NIVELES	ANGEL I	ANGEL II	ANGEL III
NIVEL A	2527.86	2233.25	1938.70
NIVEL B	2527.26	2232.65	1938.10
NIVEL C	2253.30	1958.68	1664.13
NIVEL D	2248.77	1954.16	1659.61
NIVEL E	2248.32	1953.71	1659.16

**PARA COMENTARIOS Y APROBACION**

**NOTAS GENERALES:**

1. LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS, SALVO INDICACION CONTRARIA.
2. LOS NIVELES SE ENCUENTRAN EN METROS SOBRE NIVEL DEL MAR.

**ESPECIFICACIONES TECNICAS:**

1. ACERO ESTRUCTURAL  
ASTM A572. GRADO 50.  
ESFUERZO MIN. FLUENCIA  $f_y = 345\text{MPa}$  (3515 kg/cm<sup>2</sup>).  
ESFUERZO MIN. RUPTURA EN TENSION  $f_u = 450\text{MPa}$  (4570 kg/cm<sup>2</sup>).
2. SOLDADURA  
NORMAS AWS VIGENTE.  
ELECTRODOS E70XX Y/O RECOMENDADOS POR EL FABRICANTE Y COORDINADOS CON EL DISEÑADOR.

**ESCALA:**



FECHA	REV.	DESCRIPCION	DIB.	CON.	VºBº	ENTR.
-------	------	-------------	------	------	------	-------

CENTRALES HIDROELECTRICAS (3x20 MW)  
ANGEL I ANGEL II ANGEL III



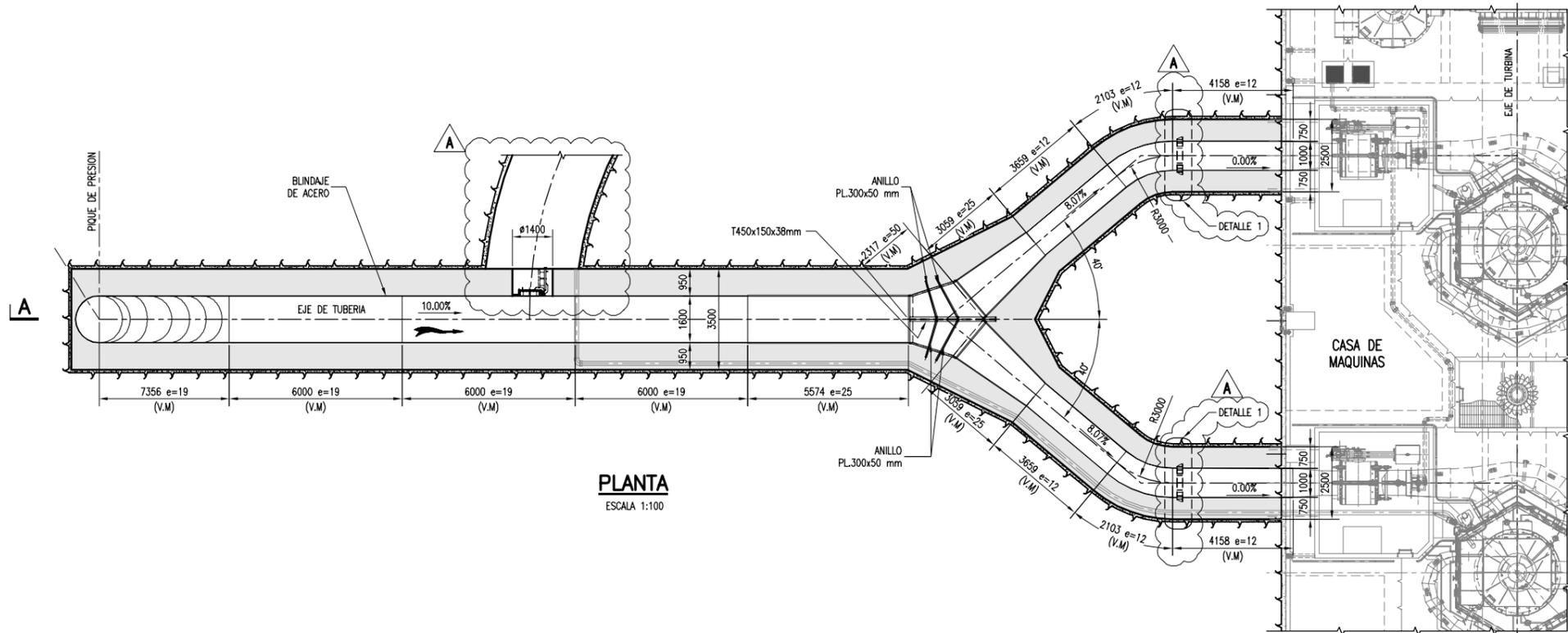
INGENIERIA DE DETALLE

PIQUE DE PRESION  
TUBERIA FORZADA  
DISEÑO DEL BLINDAJE  
ESPESORES DE PLANCHAS

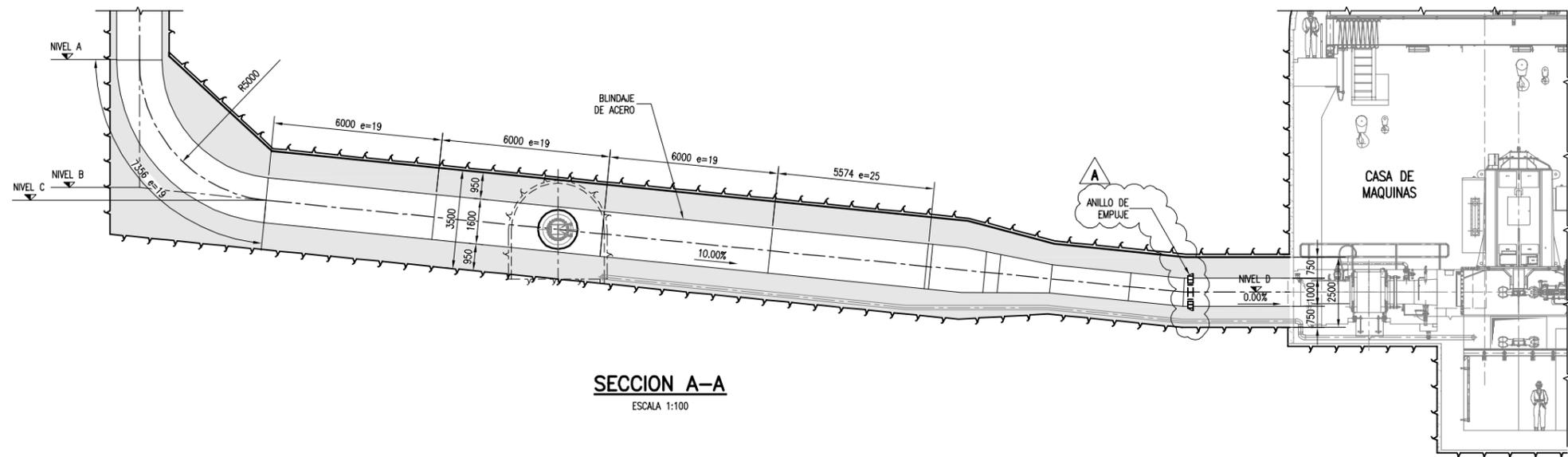
 EPC	 INGENIERIA Av. José Gálvez Barranchea 223 San Isidro, Lima 27, Tel. 2249 111	DIB.	C.CASIMIRO
		CON.	P.FURRER
		VºBº	P.FURRER
ESCALA INDICADA	LUGAR: LIMA	NUMERO DEL PLANO	REVISION
	FECHA: 27.11.2015	D E - A G - 4 4 0 0	0

**Plano 2. Túnel de alta presión**

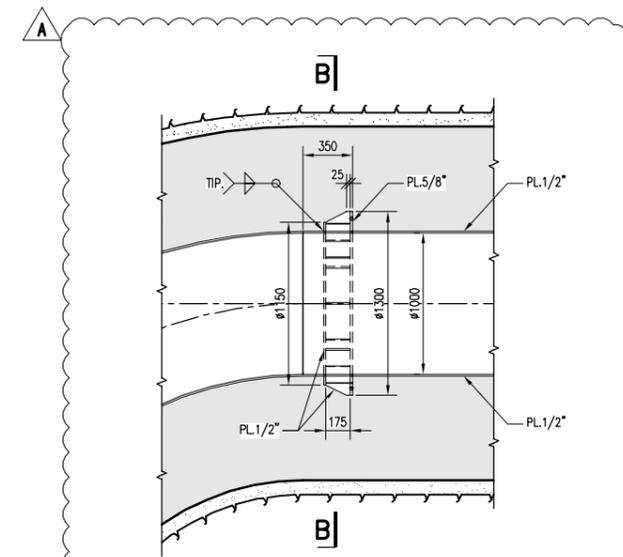
**Ver siguiente página**



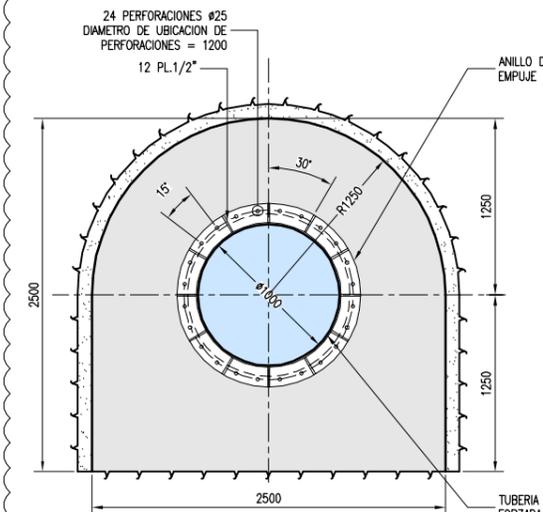
**PLANTA**  
ESCALA 1:100



**SECCION A-A**  
ESCALA 1:100



**DETALLE 1**  
ESCALA 1:25



**SECCION B-B**  
ESCALA 1:25

DIAMETRO (φ) (mm)	CUADRO DE BLINDAJE		BIFURCACION	RAMALES DE DISTRIBUCION	RAMALES DE DISTRIBUCION	CODO	RAMALES DE DISTRIBUCION
	TUNEL DE ALTA PRESION						
1600	1600	1600	1600	1600-1000	1000	1000	1000
LONGITUD (L) (mm)	7356	18000	5574	2317	3059	3659	2103
ESPESOR (e) (mm)	19	19	25	50	25	12	12

NIVELES	CUADRO DE NIVELES		
	ANGEL I	ANGEL II	ANGEL III
NIVEL A	2253.30	1958.68	1664.13
NIVEL B	2248.77	1954.16	1659.61
NIVEL C	2248.32	1953.71	1659.16
NIVEL D	2245.06	1950.45	1655.90

**ESPECIFICACIONES TECNICAS:**

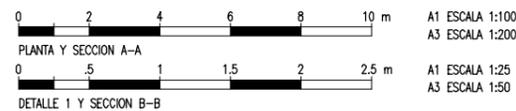
- ACERO ESTRUCTURAL  
ASTM A572, GRADO 50.  
ESFUERZO MIN. FLUENCIA  $f_y = 345 \text{ MPa}$  (3515 kg/cm<sup>2</sup>).  
ESFUERZO MIN. RUPTURA EN TENSION  $f_u = 450 \text{ MPa}$  (4570 kg/cm<sup>2</sup>).
- SOLDADURA  
NORMAS AWS VIGENTE.  
ELECTRODOS E70XX Y/O RECOMENDADOS POR EL FABRICANTE Y COORDINADOS CON EL DISEÑADOR.

**NOTAS GENERALES:**

- LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS, SALVO INDICACION CONTRARIA.
- LOS NIVELES SE ENCUENTRAN EN METROS SOBRE NIVEL DEL MAR.
- V.M. = VERDADERA MAGNITUD

**PARA COMENTARIOS Y APROBACION**

**ESCALA:**



22.04.2016	A	MODIFICACIONES INDICADAS	JMC	GUJ	SCHR
FECHA	REV.	DESCRIPCION	DIB.	CON.	V"BP" ENTR.

**CENTRALES HIDROELECTRICAS (3x20 MW)**  
ANGEL I ANGEL II ANGEL III



**INGENIERIA DE DETALLE**

**PIQUE DE PRESION  
TUNEL DE ALTA PRESION - BIFURCACION  
DISEÑO DEL BLINDAJE  
ESPESORES DE PLANCHAS**

EPC	INGENIERIA	DIB.	M. CRUZ
<b>C M</b>	<b>CON</b>	<b>PÖYRY</b>	CON. J. GUTIERREZ
		Av. José Gálvez Barrenechea 223 San Isidro, Lima 27, Tel. 2249 111	V"BP" M. THIEL
ESCALA INDICADA	LUGAR: LIMA	NUMERO DEL PLANO	REVISION
	FECHA: 27.11.2015	<b>D E - A G - 4 4 0 1</b>	<b>A</b>