



# FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS) INCREMENTA LA CALIDAD DE LA FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS EN LA EMPRESA COCYMET DEL SUR S.A.C.”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Autor:

Norberto Gabriel Perez Chavez

Asesor:

Mg. Ing. Julio Douglas Vergara Trujillo

Lima - Perú

2021

## **DEDICATORIA**

La investigación está dedicada a mi familia de manera muy especial a mis hijos y mis padres por su apoyo y cariño incondicional que siempre estuvieron pendiente en todo momento de lucha para cumplir mis metas y objetivos trazados.

*Norberto Gabriel Pérez Chávez*

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por haberme permitido brindado su bendición para así cumplir mis proyectos y llegar terminar mis metas, a mis padres por darme la vida y por el amor más grande que me brindaron, mis hijos por ser mi motor y motivo de este largo travesía de esfuerzo que siempre estuvieron presente para poder seguir con mis objetivos, a la universidad por acogerme en sus aulas y a los docentes de muy profesional, y en ese último tramos de la carrera a mis asesores quienes me orientaron el trabajo de investigación.

*Norberto Gabriel Pérez Chávez*

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>x</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA .....</b>	<b>24</b>
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....</b>	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>93</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>96</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Estrategias de desarrollo</i> .....	32
Tabla 2. <i>Problemas identificados en el área de soldadura</i> .....	37
Tabla 3. <i>Diagnóstico inicial del proceso de soldadura de la empresa Corporación COCYMET del Sur, S.A.C.</i> .....	39
Tabla 4. <i>Frecuencia de ocurrencia de los problemas relacionados con el producto no conforme por soldadura defectuosa.</i> .....	43
Tabla 5. <i>Matriz de los porqué para evaluar la ocurrencia de los problemas relacionados con el producto no conforme por soldadura defectuosa.</i> .....	45
Tabla 6. <i>Registro de fallas en el proceso de soldadura</i> .....	48
Tabla 7. <i>Frecuencia de Fallas en el proceso de soldadura</i> .....	48
Tabla 8. <i>Costos por tipo de reparación de soldadura en la empresa.</i> .....	50
Tabla 9. <i>Producción planificada y producida por la empresa.</i> .....	51
Tabla 10. <i>Producción liberada y producción que cumple con requisitos de calidad.</i> .....	53
Tabla 11. <i>Cronograma de ejecución del plan de mejoras</i> .....	57
Tabla 12. <i>Clasificación de materiales de acuerdo con la Norma ASTM.</i> .....	58
Tabla 13. <i>Propiedades del acero ASTM A36.</i> .....	60
Tabla 14. <i>Clasificación del procedimiento</i> .....	61
Tabla 15. <i>Consideraciones para seleccionar y elaborar un WPS</i> .....	63
Tabla 16. <i>Características del material de aporte para el proceso de soldadura.</i> .....	65
Tabla 17. <i>Ventajas, desventajas y aplicaciones de la inspección visual de probeta (VT).</i> .....	74
Tabla 18. <i>Ventajas, desventajas y aplicaciones de la prueba con líquidos penetrantes</i> .....	76
Tabla 19. <i>Registro de fallas en el proceso de soldadura durante el periodo de evaluación</i> ...	78
Tabla 20. <i>Costos por tipo de reparación de soldadura en la empresa.</i> .....	79

Tabla 21. <i>Producción planificada y producida por la empresa posterior a la implementación del WPS.</i> .....	81
Tabla 22. <i>Variaciones en la producción planificada y producida por la empresa antes y después de la implementación del WPS.</i> .....	81
Tabla 23. <i>Producción liberada y producción que cumple con requisitos de calidad posterior a la implementación del WPS.</i> .....	82
Tabla 24. <i>Variaciones en la Producción liberada y producción que cumple con requisitos de calidad posterior a la implementación del WPS.</i> .....	83
Tabla 25. <i>Variaciones en los indicadores antes y después de la implementación</i> .....	83
Tabla 26. <i>Actividades den la fase de actuación para la implementación de la metodología WPS en el incremento de la calidad de los procesos de soldadura.</i> .....	86
Tabla 27. <i>Costos de implementación de mejoras</i> .....	88
Tabla 28. <i>Estimación del flujo de efectivo proyectado sin implementación</i> .....	89
Tabla 29. <i>Estimación del flujo de efectivo proyectado con implementación</i> .....	90
Tabla 30. <i>Estimación del flujo incremental para determinar el costo y beneficio de la propuesta</i> .....	91
Tabla 31. <i>Estimación del tiempo de retorno de la implementación</i> .....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Organigrama de la empresa. ....	4
<i>Figura 2.</i> Marco conceptual de la investigación.....	21
<i>Figura 3.</i> Diagrama de flujo del proceso de soldadura.....	33
<i>Figura 4.</i> DAP del proceso de soldadura.....	34
<i>Figura 5 .</i> Partes y defectos del cordón de soldadura.....	35
<i>Figura 6.</i> Diagrama de Ishikawa o de causa y efecto de los elementos que inciden en la calidad de los procesos de soldadura de la empresa.....	42
<i>Figura 7.</i> Diagrama de Pareto de la Frecuencia de ocurrencia de los problemas relacionados con el producto no conforme por soldadura defectuosa. ....	44
<i>Figura 8 .</i> Porcentajes de frecuencia de fallas en el proceso de soldadura.....	49
<i>Figura 9.</i> Costo semestral por tipo de reparacion de soldadura. ....	50
<i>Figura 10.</i> Situación inicial Produccion planificada por la empresa en el segundo semestre 2019.....	52
<i>Figura 11.</i> Situación inicial. Producción de la empresa en el segundo semestre 2019. ....	52
<i>Figura 12</i> Producción liberada y producción que cumple con requisitos de calidad.....	54
<i>Figura 13.</i> Secuencia que debe seguir para un proceso de mejora de soldadura.....	56
<i>Figura 14.</i> Registro de un WPS. (AWS D1.1 2015). ....	64
<i>Figura 15.</i> Alambre y gas utilizado para el proceso de soldadura.....	66
<i>Figura 16.</i> Tipos de bisel. ....	66
<i>Figura 17.</i> Tipos de Juntas de soldadura .....	67
<i>Figura 18.</i> Posiciones para el proceso de soldadura.....	68
<i>Figura 19.</i> Ejecución de una probeta de soldadura.....	70
<i>Figura 20.</i> Especificación de procedimiento de soldadura (WPS).....	72

Figura 21. Prueba con líquidos penetrantes .....	75
<i>Figura 22. Ahorros proyectados por tipo de reparación de soldadura. ....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 23. Producción liberada y producción que cumple con requisitos de calidad posterior a la implementación del WPS.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 24. Propuesta de DAP una vez realizadas las mejoras en el proceso de soldadura...85</i>	

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1. Niveles de producción</i> .....	51
--	----

## RESUMEN EJECUTIVO

El informe que se presenta a continuación es el resultado de una experiencia profesional que tuvo como objetivo Implementar un plan de mejoras mediante la metodología WPS (Especificación de procedimiento de soldadura) para aumentar la calidad en la fabricación de estructuras metálicas en la empresa COCYMET del Sur S.A.C. El estudio surge como respuesta a la necesidad de aplicar métodos innovadores y certificados para estandarizar los procesos de soldadura, provistas por diferentes investigaciones relacionadas con la Ingeniería Industrial, para el mejoramiento del desempeño de la organización y sus métodos, pues les proporcionan herramientas eficientes para hacer sus procesos más productivos y así poder incrementar su nivel de satisfacción a socios, clientes y trabajadores. Se detectó en el diagnóstico que los principales problemas que afectaban la calidad eran: uso de un procedimiento de soldadura no aprobado según la norma; existían procedimientos deficientes en el proceso de soldadura y se observa falta de conocimiento de los materiales. El plan de mejora desarrollado fue dividido en tres acciones principales: definición de los parámetros de los protocolos de la metodología WPS; elaboración y aprobación del procedimiento de soldadura y calificación del soldador y reconocimiento del material a soldar. En la verificación de las mejoras se apreció una disminución de los costos por reprocesamiento de US\$ 34,239.00 hasta US\$4,243.20; el material liberado incrementó de 93.18% a 95.62% y la calidad de 96.7% hasta 98.72%

**Palabras clave:** Especificación de procedimiento de soldadura, calificación de soldador, reconocimiento de materiales, material liberado, calidad.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En la empresa COCYMET DE Sur S.A.C. se llevó a cabo la implementación de mejoras en el área de procesos de soldadura, actividad que está estrechamente relacionada con las actividades de calidad, productividad y competitividad de una organización y forman parte de los fundamentos sobre los que se construye una cultura de mejora continua en el área de soldadura, ya que están orientadas a reforzar actitudes y buenos hábitos en el puesto de trabajo los cuales son necesarios para el éxito de cualquier organización. El resultado del estudio será una Especificación del procedimiento (WPS), en el cual se describirán las variables y condiciones de la soldadura adaptadas a las características de la empresa.

De esta forma, se consideró importante la aplicación de metodologías innovadoras para estandarizar los procesos de soldadura, provistas por diferentes investigaciones relacionadas con la Ingeniería Industrial, para el mejoramiento del desempeño de COCYMET del Sur S.A.C. y sus métodos, pues les proporcionan herramientas eficientes para hacer sus procesos más productivos y así poder incrementar su nivel de satisfacción a socios, clientes y trabajadores.

### **Descripción de la empresa**

COCYMET del Sur S.A.C. es una empresa de servicios de ingeniería dedicada la fabricación de estructuras, así como montaje y reparaciones de puentes metálicos y embarcaciones navales y pesqueras. Está registrada con el código RUC 20538536092, desde el año 2010 se ubica en el distrito de Chorrillos, Lima Metropolitana. Con el compromiso de la alta dirección y participación de todo el personal se compromete a:

- a) Lograr la satisfacción de sus clientes a través de productos y servicios de la más alta calidad, y a partir de la consideración de la seguridad, salud y cuidado del medio ambiente

como elementos prioritarios en la ejecución de sus labores, buscar el constante desarrollo profesional de sus trabajadores y alcanzar la máxima rentabilidad de la empresa.

- b) Proteger al medio ambiente de cualquier efecto adverso resultante de sus operaciones, en procura de la minimización del impacto ambiental provocado por el consumo de recursos, generación de residuos y emisión de gases.
- c) Velar por la seguridad y salud de todos los empleados en el sitio trabajo, así como de las partes interesadas se encuentre en sus instalaciones, mediante la prevención y control de riesgos.

**Planta de fabricación.** La empresa se ubica en Chorrillos, en la dirección P.J. Tupac Amaru de Villa. Cuenta con un área de 8000 metros cuadrados la cual está distribuida en áreas proporcionales para los siguientes departamentos: oficina de ingeniería, almacén de material, habilitado, ensamblaje y soldadura, granallado, pintura, despacho.

### **Misión y Visión**

**Visión:** Prestar servicios de su especialidad con los más altos niveles de calidad, seguridad, cumplimiento y rentabilidad, para la plena satisfacción de sus clientes y el cumplimiento su responsabilidad social y empresarial.

**Misión:** Ser una empresa líder competente en ingeniería, fabricación y montaje con crecimiento en el Perú basado en exigentes criterios de calidad e innovación, garantizando a sus clientes un servicio de excelencia.

### **Productos y/o servicios de la empresa**

**Habilitado de material corte con oxígeno:** es un área donde se realizan cortes de los materiales de fabricación tales como planchas, ángulos, vigas, empleando una combinación química de gas y oxígeno con presión regulada.

**Área de armado de estructura:** se realizan para dar forma a las estructuras según el plano de fabricación y con las tolerancias permitidas.

**Soldeo de piezas:** En esta área se realiza la unión de dos materiales por medio de calor o presión consiste en caldear el material a unir y el de aporte hasta que se funde, y una vez fijado o unida las piezas se dejan enfriar para luego realizar los ensayos correspondientes.

**Preparación de superficie - norma SSPC en estructuras metálicas:** Consiste en la correcta preparación de superficie previa a la aplicación de cualquier tipo de revestimiento o pintura lo cual es un factor de suma importancia; este proceso está normalizado por varias asociaciones internacionales, siendo una de las más difundidas la norma americana SSPC (siglas de Steel Structures Painting Council).

**Pintado de las estructuras metálicas:** es una de las formas usuales de protección de las superficies metálicas y consiste en el proceso de pintura en general sobre la superficie debidamente preparada según las especificaciones, donde la protección cumplirá satisfactoriamente garantizando la durabilidad del material.

**Montaje de estructuras metálicas:** el montaje consiste en realizar el ensamblaje de las estructuras en obra o establecimiento de cada proyecto industrial que requiere el uso de maquinaria, especialmente de los llamados EPC (Siglas en inglés de Engineering Procurement and Construction, procura y construcción en ingeniería). En la empresa COCYMET del Sur SAC, este tipo de montajes suelen realizarse en las construcciones de centrales generadoras y sistemas de transmisión, en centros mineros o en centros de explotación de hidrocarburos.

Para adecuarse a las exigencias del mercado y asegurar la calidad en todos sus procesos, la organización ha adoptado un modelo basado en procesos, la cual queda plasmada en su organigrama mostrado en la Figura 1:

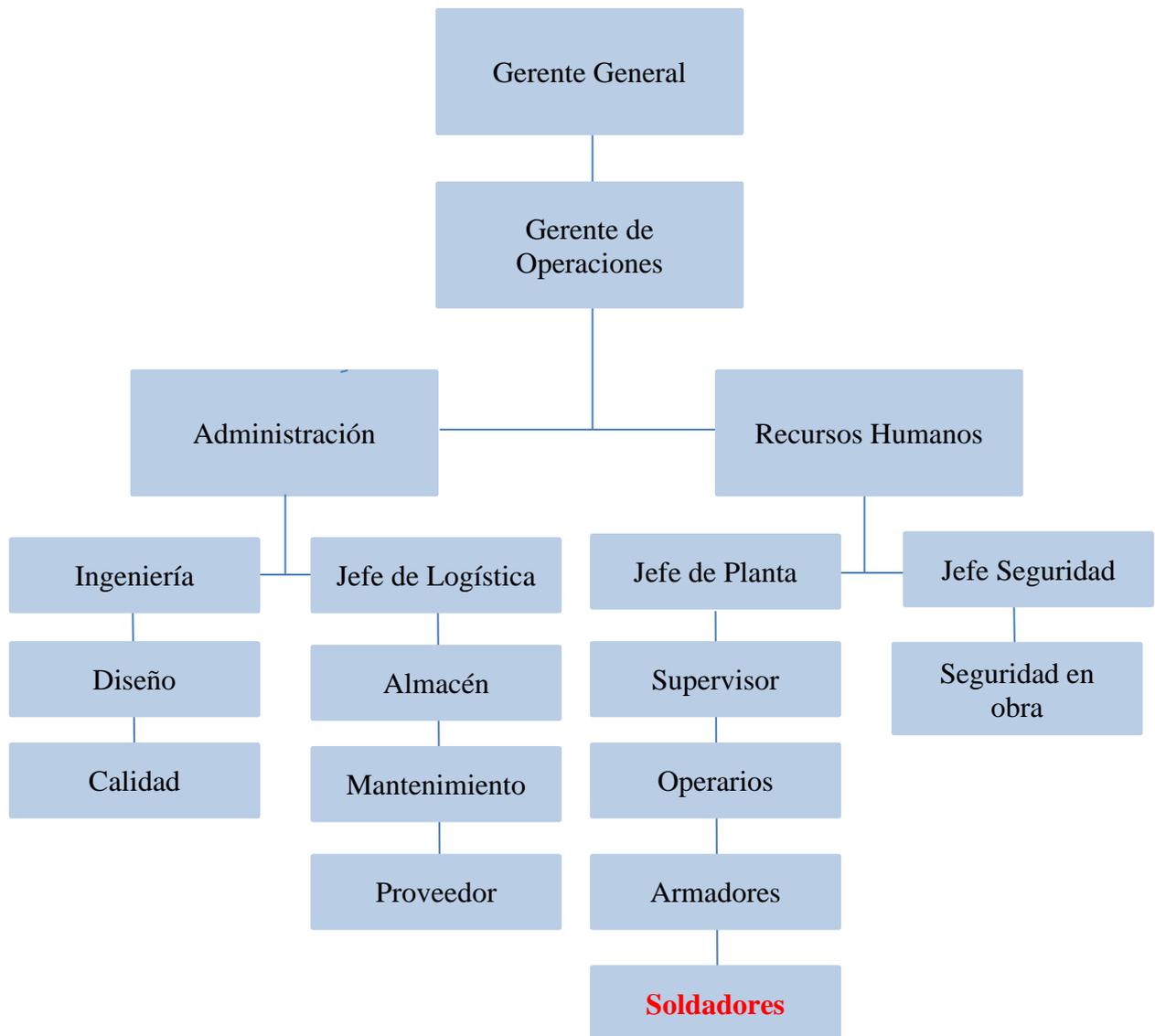


Figura 1. Organigrama de la empresa.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **Antecedentes de la investigación**

#### **Antecedentes internacionales**

Entre los estudios consultados a nivel internacional, relacionados con la mejora de los procesos de soldadura, Welt et al (2020), elaboraron un estudio cuyo objetivo fue proponer estándares de control de calidad para la evaluación de la resistencia al impacto como requisito de prueba de calificación para soldaduras. Se trató de una investigación descriptiva, en la que se utilizó muestra una base de datos de más de 400 registros de calificación de soldadura de empresas metalúrgicas de los Estados Unidos.

En sus resultados evidenció que se observaron variaciones significativas en muchos parámetros de soldadura que incluyen, entre otros: material base, proceso de soldadura, posición de soldadura, y tipo de unión de conexión. El estudio concluyó que el metal de soldadura controla la resistencia al impacto de la conexión para la mayoría de los metales básicos incluidos en el estudio, independientemente del parámetro.

Rodríguez et al (2019) realizaron un estudio para evaluar la influencia de los procedimientos de soldadura sobre el análisis de la distribución de tensiones residuales y la distorsión de paneles rígidos soldados a través de un FCAW robotizado. Fue realizada bajo el tratamiento de una investigación cuantitativa, experimental y aplicada, llevada a cabo en una empresa en Brasil. En sus resultados, se mostró que las secuencias de soldadura influyen profundamente en el comportamiento de tensiones y distorsiones residuales, es decir, ambos efectos están directamente asociados. De la misma manera, las tensiones residuales transversales muestran un comportamiento similar a la placa de referencia. El

estudio concluyó que Las direcciones de soldadura de adentro hacia afuera tienen una mejor distribución del calor, generando una menor influencia en los paneles rígidos.

Ericsson & Astrand (2018), elaboraron una investigación con el propósito de estudiar la variación sobre valores de parámetros elegidos para un procedimiento de especificación de soldadura (WPS) en cada sitio de soldadura e identificar cualquier diferencia entre sitios en el resultado resultante cuando suelde de acuerdo con los WPS. Fue un estudio de naturaleza cuantitativa, con diseño basado en la investigación descriptiva, en la que delimitó una muestra de cinco empresas soldadura en Suecia.

Los resultados obtenidos indicaron que el estudio da una indicación de la gran variación relacionada con el proceso de soldadura basada en el parámetro elegido y la posibilidad de reproducir soldaduras de acuerdo con una especificación definida. Asimismo, se concluyó que se produjo una gran variación en el resultado cuando se soldaba el mismo WPS en los diferentes talleres de soldadura, ambos relacionados con geometría externa, penetración y defectos.

Ibrahim et al (2016) elaboraron un estudio para proponer un enfoque de modelado de procedimientos de soldadura para placas de acero pesadas para reducir las pérdidas relacionadas con la falta de normas. Fue una investigación aplicada, realizada través de una investigación exhaustiva de las propiedades del material de las placas de acero, realizada en los Estados Unidos.

En los resultados se confirmó que el material cumplía con las especificaciones en términos de alargamiento de tensión de fractura mínima y tenacidad a la fractura. El estudio concluyó que el modelo se usó para predecir con éxito el inicio de la grieta debido a tensiones térmicas que se desarrollaron cerca de las soldaduras. De esta forma, el modelo propuesto puede emplearse potencialmente para evaluar los límites de defectos encontrados

en las especificaciones actuales para ensambles de acero soldado que utilizan placas gruesas.

Arboleda (2015), en su investigación propuso un plan de mejora en los procesos de soldadura en una empresa del sector petrolero en Colombia. Fue realizada bajo los parámetros de una investigación descriptiva, en la que se consideró como muestra de observación 65 trabajadores de la empresa, a quienes se les aplicó una lista de observación y un cuestionario para evaluar el nivel de cumplimiento de las normas, conocimiento en temas de soldadura y cumplimiento de requisitos.

En los resultados del estudio se mostró que se evidenciaron oportunidades de mejora en las áreas de documentación, procedimientos de inspección y ensayo, así como la comunicación de las normas, códigos y requisitos. En las conclusiones se indicó que se hizo una adecuada calificación de los procesos de soldadura, así como un incremento en las habilidades de los soldadores mediante capacitación.

### **Antecedentes nacionales**

Caqui (2019), en su tesis describió la metodología que se debe aplicar para calificar un procedimiento durante la fabricación de tanques a presión fabricados en una empresa dedicada a las construcciones metálicas. Fue realizada bajo el enfoque cualitativo y nivel descriptivo. Se aplicó el proceso de soldadura SMAW para la totalidad de las juntas soldadas. Mediante la calificación del proceso de soldadura según ASME IX, buscó la compatibilidad entre el material base y materiales de aporte con la finalidad que presenten propiedades mecánicas similares, que fueron comprobadas mediante los ensayos de doblez y ensayo de tracción. Concluyó que la metodología para determinar la calificación del proceso de soldadura según lo especificado en el código ASME para la construcción de tanques a presión, cumplió con base en los resultados de los ensayos realizados a las

probetas de calificación; lo que permitió determinar que los variables usadas durante el proceso de soldadura fueron las correctas para aplicarlas durante la fabricación del tanque.

Castillo (2019), en su tesis, dio a conocer la estandarización el procedimiento de soldadura y a los soldadores en la producción de tanques de gas. Para tal fin, se desarrolló un estudio cuantitativo de tipo aplicado. Se utilizó el proceso GMAW (soldadura por arco metálico con gas). Se probaron distintas variables de proceso y se generó el WPS. Posteriormente, se realizaron los ensayos mecánicos que correspondieron de acuerdo con el código, se generó la calificación del procedimiento (PQR) y se calificaron y se señalaron los criterios de calificación para los operadores de soldadura.

Jiménez & Paquiyauri (2018), elaboraron una investigación con el propósito de mejorar el proceso de soldadura en la reparación de pilotes para una defensa ribereña con el fin de evaluar la sustitución del método de Soldadura SMAW (Soldadura de arco con metal protegido) por el método FCAW (Soldadura de arco con núcleo fundente). Fue una investigación cuantitativa y aplicada, de tipo comparativa y no experimental. Se aplicó la herramienta denominada estudio de métodos para detallar los subprocesos y hacer un análisis comparativo de la aplicación de ambas técnicas de soldadura y crear un plan de acción basado en el ciclo de Deming (Planificar, hacer, verificar y actuar) cuyo eje principal está en el diseño de una serie de pruebas de soldadura con el fin de obtener los parámetros reales del proceso mediante la aplicación de un procedimiento de soldadura de acuerdo a las normas de la AWS (American Welding Society) en el código D1.1/ D1.1 M-2015.

El estudio concluyó que la implementación del proceso de soldadura FCAW es el más idóneo para la reparación del proyecto de reparación de Pilotes para una Defensa Ribereña, ya que disminuye el tiempo de ejecución y se obtiene un ahorro en costos de 123,084.36 substituyendo SMAW. Asimismo, un correcto plan de soldadura (WPS) para el soldeo de las

juntas, reduce los defectos de una unión soldada, se obtienen mayores velocidades de deposición dependiendo del proceso que se esté calificando y optimiza la productividad.

Vílchez (2017) elaboró una tesis con el objetivo de implementar un procedimiento de soldadura FCAW en la fabricación de pilotes con la intención de mejorar la productividad de una empresa. Fue realizada como una investigación aplicada de diseño descriptivo, mediante el uso de fichas de observación. Los resultados expuestos indicaron que los tiempos de paradas previos al proceso de capacitación fueron 4127.2 min y después de la capacitación con el proceso FCAW fueron 2129.4 min, con lo cual se redujeron aproximadamente a 1991.5min (48.4%), así mismo los volúmenes de soldadura con la alimentación continua del electrodo tubular disminuyó de 595 kg a 350 kg (es decir en un 42.2%). Se concluyó que se utilizó el proceso de soldadura FCAW debido a su gran versatilidad y capacidad para lograr elevada deposición de material, siendo aplicable en aceros al carbono y aceros de baja aleación, con lo cual se redujeron los tiempos de parada, volúmenes de soldadura y costos operativos para mejorar la productividad de la empresa.

Luna (2015) elaboró una tesis para evaluar la especificación de procedimiento de soldadura para la unión de materiales. La metodología empleada fue de enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo y de tipo aplicada. Los resultados indicaron que los ensayos de seguimiento a las fracturas se presentaron en el material base mientras que los esfuerzos máximos que se obtuvieron fueron poco mayores al esfuerzo de la junta soldada. Por su parte los ensayos relacionados con el doblado no manifestaron ningún defecto relevante y los de impacto las cuantificaciones de energía que el material absorbió fueron mayores a los requisitos establecidos en la especificación. En las conclusiones se especificó que el procedimiento era efectivo para cumplir con los requisitos del proceso y asegurar su implementación en las actividades de transporte de gas natural.

## **Bases teóricas**

### **Enfoque teórico del área de estudio**

Los diversos postulados que se han desarrollado para sustentar la necesidad de mejorar los procesos tecnológicos de las empresas como objeto de estudio de las ciencias gerenciales relacionadas con la Ingeniería Industrial, han sido abordadas desde diferentes perspectivas, con la intención de explicar las diferencias entre los modelos que se han elaborado para dar respuesta a los problemas asociados a innovación (Evans & Lindsey, 2014). En este sentido, las tendencias teóricas consideran al cambio tecnológico o la innovación como un proceso revolucionario o una institución social en constante cambio (Rincón, Rincón y Baralt, 2014).

De acuerdo con la investigación anterior, la diversidad de conceptos provenientes de la sociología aplicada al entorno de las organizaciones, perspectiva que considera a la innovación como un proceso social y no natural, razón por la cual se encuentra bajo el control absoluto de los individuos para dar respuesta a sus necesidades de adaptación, con lo que se descarta que la innovación o la tecnología sean un proceso netamente natural (Funk & Owen, 2016).

De la misma manera, a medida que se ha avanzado en el entendimiento de la innovación como objeto de estudio, han surgido modelos más complejos, aunque la mayoría de ellos apunta a la Teoría de la Evolución del Cambio Tecnológico, como base filosófica para explicar los modelos relacionados con la innovación (Funk & Owen 2016). En resumen, el autor citado explicó que esta teoría propone una visión novedosa del cambio, que consolida o desestabiliza las corrientes tecnológicas existentes al emplear los principios de la teoría evolucionista al desarrollo de la tecnología y la economía.

De acuerdo con los postulados de la Teoría de la Evolución del Cambio Tecnológico, para entender una nueva tecnología efectos, es necesario observar no solo su impacto, sino también cómo la tecnología se ajusta a las trayectorias existentes. “En vista de ello, las medidas que solo consideran la magnitud del uso posterior de una tecnología pierden el punto crucial al momento que surgen nuevas tecnologías en entornos desarrollados por otras tecnologías” (Saviotti & Metcalfe, 2018).

Por su parte, Barletta, Robert y Yoguel (2007) expresaron que en el enfoque evolucionista del cambio tecnológico se pueden apreciar dos puntos de vista. En una vertiente, se explica una visión general del cambio tecnológico a través de su evolución histórica y observa el desarrollo tecnológico y la innovación a través del tiempo, para definir sus líneas de transformación.

Desde otro punto de vista, se estudian los cambios tecnológicos que ocurren en las sociedades contemporáneas, que se observan desde la economía, las ciencias administrativas y la ingeniería. Esta aproximación busca ser más práctica para comprender el origen de los cambios. De manera general, las explicaciones económicas del cambio tecnológico ocurren en períodos de tiempo corto y se asocian con los sistemas de producción capitalistas.

En resumen, la propuesta teórica en relación con la evolución del cambio tecnológico es un enfoque económico en el cual la innovación tecnológica y el cambio son determinantes para dar explicación al crecimiento y la transformación económica. Es un modelo teórico sistémico que propone que la generación, elección y masificación de las innovaciones están sujetas a las características del entorno microeconómico de las empresas, además de la influencia de la competitividad y el ambiente organizacional, mediante el cual se valida el conocimiento que genera e impulsa el cambio (Barletta, Robert y Yoguel, 2007).

Por otra parte, la tendencia de los estudios busca desarrollar iniciativas para el mejoramiento continuo y la excelencia en la gestión. Entre estos surge la teoría del pensamiento estratégico de Mintzberg como parte del proceso reflexivo a través del cual se busca dar explicaciones a la efectividad de la dirección y la eficiencia de los recursos con los que cuentan las organizaciones para el logro de los objetivos de los planes y proyectos previamente trazados (Barba y Montoya, 2012).

La teoría del pensamiento estratégico comprende diversas conceptualizaciones, a partir de las diversas interpretaciones que diversos autores han realizado para dar fundamento al desarrollo y aplicación de la teoría; por tanto, estas definiciones se pueden agrupar en los siguientes enfoques: visión integral individual y colectiva basada en la experiencia; visión proactiva basada en la interpretación y análisis de resultados, y una visión gerencial estratégica basada en el conocimiento de la organización y su entorno (Saviotti & Metcalfe, 2018).

A partir de la visión de los autores antes citados, se puede resumir que el cambio tecnológico constante simultáneamente crea amenazas para los modelos empresariales establecidos, al tiempo que ofrece oportunidades para nuevas ofertas de servicios (Funk & Owen, 2016), por lo que las empresas líderes a menudo buscan dar forma a la evolución de las aplicaciones tecnológicas para su propio beneficio. Con el crecimiento avanzado y dinámico de las tecnologías, la rapidez con la que los consumidores aceptan estas tecnologías depende de una serie de factores, como la disponibilidad de la tecnología, la conveniencia, la necesidad de los consumidores, la seguridad (Lai, 2017).

Asimismo, el modelo de pensamiento estratégico propone un cambio de conciencia, actitud y elasticidad mental en las personas, para anticipar el futuro para hacer frente a los

desafíos previstos e imprevistos; mediante el conocimiento de la realidad organizacional y decisiones estratégicas racionales que justifiquen las actuaciones presentes (Muñoz, 2010).

En particular, la evolución de la tecnología se modela en términos de interacción entre una tecnología superior (con la que se construye el sistema) y una tecnología subordinada o subsistema. De esta forma, el crecimiento evolutivo compara la evolución de la tecnología subordinada en relación con la tecnología superior, lo que sugiere la vía evolutiva del sistema tecnológico global a lo largo del tiempo (es decir, subdesarrollo, crecimiento y desarrollo), con el objetivo de reducir la incertidumbre. Bajo esta perspectiva, también se evalúa la dinámica de la evolución tecnológica para el pronóstico del cambio tecnológico (Coccia, 2019).

### **Enfoque conceptual de la investigación**

La especificación de procedimiento de soldadura (WPS) es un documento escrito formal que describe los procedimientos de soldadura, que proporciona instrucciones al soldador u operadores de soldadura para realizar soldaduras de producción sólidas y de calidad según los requisitos del código (Satish & Jeergi, 2016). El propósito del documento es guiar a los soldadores a los procedimientos aceptados para que se utilicen técnicas de soldadura repetibles y confiables. Se desarrolla un WPS para cada aleación de material y para cada tipo de soldadura utilizado (Ericsson & Astrand, 2018).

En este sentido, los códigos específicos y / o las sociedades de ingeniería son a menudo la fuerza impulsora detrás del desarrollo del WPS de una empresa. En su diseño, un WPS debe ser compatible con un Registro de Calificación de Procedimiento (PQR o WPQR). Un PQR es un registro de una soldadura de prueba realizada y probada (más rigurosamente) para garantizar que el procedimiento produzca una buena soldadura (Escudero & Marianetti,

2016). Los soldadores individuales están certificados con una prueba de calificación documentada en un Registro de Prueba de Calificación de Soldador (WQTR) que muestra que tienen la comprensión y la capacidad demostrada para trabajar dentro del WPS especificado.

De acuerdo con Ibrahim et al (2016), la Sociedad Estadounidense de Soldadura (AWS) indicó que un WPS proporciona en detalle las variables de soldadura requeridas para una aplicación específica para garantizar la repetibilidad por parte de soldadores debidamente capacitados. El AWS define PQR de soldadura como un registro de las variables de soldadura utilizadas para producir una soldadura de prueba aceptable y los resultados de las pruebas realizadas en la soldadura para calificar una especificación de procedimiento de soldadura.

Para la construcción de acero (estructuras de ingeniería civil), AWS D1.1 es un estándar ampliamente utilizado. Especifica una opción de precalificación (capítulo 3) o una opción de calificación (capítulo 4) para la aprobación de procesos de soldadura. Cuando aplican prescripciones de calidad relacionadas con la producción y el uso del diseño, los clientes de las industrias relacionadas reclaman procedimientos de soldadura aprobados, ya que la soldadura requiere habilidad y conocimiento sobre los materiales que se van a soldar y el proceso de soldadura, entre muchos otros factores (Arboleda, 2015). Debido a la gran cantidad de variables involucradas, el conocimiento del ingeniero de soldadura y la habilidad del soldador deben ser validados por una serie de pruebas.

En resumen, el WPS es un elemento clave para formalizar y estandarizar la operación de soldadura. Describe el proceso o los procesos de soldadura utilizados, los materiales de base utilizados, el diseño y la geometría de la junta, los gases y los caudales, la posición de

soldadura e incluye todas las condiciones y variables del proceso. Ericsson & Astrand (2018) indicaron que cada código tiene un formato recomendado y hay tres tipos de WPS:

- a) Los WPS sin experiencia en pruebas de especificación de procedimientos de soldadura, que se pueden usar para la certificación de soldadores, pero también se pueden preparar en conexión con consumibles de soldadura de relleno probado o experiencia previa en soldadura.
- b) WPS con experiencia en pruebas de especificación de procedimientos de soldadura preparadas de acuerdo con el estándar actual para pruebas de procedimientos y datos del WPQR, que es un certificado para pruebas de procedimientos, y WPQR es la abreviatura de Registro de calificación de procedimientos de soldadura.
- c) PWPS es el WPS preliminar utilizado como descripción de trabajo para soldar muestras de prueba para pruebas de soldadura. En principio, se prepara de la misma manera que el WPS mencionado anteriormente, pero puede ser necesario calcular los diversos datos de soldadura por adelantado para garantizar que se logren las propiedades de los materiales solicitados en la unión soldada y los materiales originales.

Por su parte, el Registro de Calificación del Procedimiento de Soldadura (WPQR), es el documento que califica la especificación del procedimiento de soldadura. Para calificar su WPS, una placa de calificación de procedimiento está soldada con los requisitos del código (Rodrigues et al, 2019). Los parámetros de prueba reales se registran en el momento de la soldadura para garantizar que se siga el WPS. En general, cualquier documentación de respaldo, como especificaciones de materiales, especificaciones de electrodos y especificaciones de gas de protección, se incluyen como parte del WPQR. (Ericsson & Astrand, 2018).

El WPQR combina toda la información del WPS y agrega los resultados de la prueba para proporcionar un documento completo que certifique la especificación de soldadura. (Satish & Jeergi, 2016). Todos los códigos también requieren este documento, a menos que califique bajo las especificaciones de la American Welding Society (AWS). Bajo ciertas condiciones, el WPS puede considerarse precalificado en el que no se requiere el WPQR.

Calificación de rendimiento del soldador (WPQ): “Todos los códigos requieren este documento para todos los soldadores. Detalla y resume la siguiente información: Indica el WPS al que se hace referencia durante la prueba de calificación Identifica al soldador por nombre y / o número de reloj Enumera cuáles fueron los parámetros esenciales durante esta prueba Informa los resultados de las pruebas de calificación requeridas Especifica los límites calificados para la soldadora Para la mayoría códigos hay un límite de tiempo asociado con la prueba de calificación de soldador (Qazi, 2017)

## **Herramientas de Ingeniería Industrial Aplicadas en la Investigación**

### **Ciclo de Deming o PDCA**

Comprender la calidad y tratar de mejorarla es posiblemente el propósito central detrás de emprender mejoras en los procesos. W. Edwards Deming en la década de 1950 propuso que los procesos comerciales deberían analizarse y medirse para identificar las fuentes de variaciones que hacen que los productos se desvíen de los requisitos del cliente (Averson, 2019). Recomendó que los procesos comerciales se coloquen en un ciclo de retroalimentación continua para que los gerentes puedan identificar y cambiar las partes del proceso que necesitan mejoras. Como maestro, Deming creó un diagrama, bastante simplificado, para ilustrar este proceso continuo, comúnmente conocido como el ciclo PDCA para Planificar, Hacer, Verificar, Actuar:

- **Planificar:** diseñar o revisar los componentes del proceso empresarial para mejorar los resultados. El primer objetivo dentro del ciclo de Deming es planificar con anticipación para comprender lo que desea lograr. Este es un paso tanto práctico como teórico. La etapa de planificación es tanto un intento de mejorar sus resultados como una investigación científica de su propia capacidad para comprender la organización (Henshall, 2020).
- **Hacer:** implementar el plan y medir su desempeño. Al ejecutar el plan, Deming continuaría reiterando la importancia de permanecer fiel a los valores científicos subyacentes a la investigación. En lugar de simplemente decidir hacer un cambio y revisar repentinamente todas las operaciones, es vital lograr el cambio de manera lenta e iterativa mientras se prueban las hipótesis. El uso de estudios que se pueden medir con grupos de control ayuda a comprender mejor los datos obtenidos, lo que permite no solo mejorar la producción, sino también comprender exactamente por qué la producción mejoró con los cambios que se propusieron (Henshall, 2020).
- **Verificar:** Evaluar las mediciones e informar los resultados a los tomadores de decisiones. La etapa de estudio es el punto clave de diferenciación del ciclo PDCA. Para Deming, los resultados de la planificación y la implementación se mostrarán en esta etapa. Sin embargo, los resultados son más grandes que simplemente si el proceso mejoró o no. Los resultados incluyen si el proceso mejoró o no por las razones que pensó que mejoraría. También incluirían si pudo predecir los cambios en los resultados de antemano (Henshall, 2020).
- **Actuar:** Decidir sobre los cambios necesarios para mejorar el proceso. La etapa Actuar es tanto la implementación de mejoras en la empresa como la implementación de nuevos conocimientos en la teoría de la propia empresa. La etapa de Actuar debe intentar

synthesize the new information obtained in the verification stage with a more comprehensive understanding of how the company operates. Just as repeated experiments create new useful knowledge both for the conditions of those experiments and for the scientific community as a whole, their results must be incorporated into new premises from which the cycle can begin anew (Henshall, 2020).

### **Técnicas y herramientas de mejora de la calidad**

**Método del diagrama de relaciones:** es una técnica desarrollada para identificar interrelaciones causales en un problema complejo para encontrar una solución apropiada (Mizuno, 2010). Para analizar más problemas en una compleja red de relaciones de causa y efecto un diagrama de relaciones se construye al indicar las relaciones lógicas que existen entre los factores causales esto facilita soluciones a problemas a permitir que el problema principal se ha observado desde una perspectiva más amplia , para solucionar problemas usando el diagrama de relaciones un equipo de trabajo debe hacer varios bocetos del problema al construir los diagramas de esta manera el equipo genera nuevas ideas que pueden conducir a una solución efectiva (Jones, 2019).

**Análisis de raíz de la causa:** El análisis de causa raíz (RCA), utilizado ampliamente en ingeniería y es similar a la técnica de incidentes críticos, es un enfoque formalizado de investigación y resolución de problemas centrado en identificar y comprender las causas subyacentes de un evento, así como los eventos potenciales que fueron interceptados (Mizuno, 2010). La RCA es una técnica que se utiliza para identificar tendencias y evaluar el riesgo que se puede utilizar siempre que se sospeche un error humano con el entendimiento

de que el sistema, más que los factores individuales, son probablemente la causa raíz de la mayoría de los problemas (Adams, 2018).

**Análisis de efectos y modos de falla:** El análisis de modos y efectos de falla (AMEF) es una técnica de evaluación que se utiliza para identificar y eliminar fallas, problemas y errores conocidos y/o potenciales de un sistema, diseño, proceso y/o servicio antes de que realmente ocurran (Jones, 2019). El objetivo de esta herramienta es prevenir errores al intentar identificar todas las formas en que un proceso podría fallar, estimar la probabilidad y las consecuencias de cada falla y luego tomar medidas para evitar que ocurran las fallas potenciales. Este método se puede utilizar para evaluar procesos o procedimientos alternativos, así como para monitorear cambios a lo largo del tiempo (Jones, 2019).. Para monitorear el cambio a lo largo del tiempo, se necesitan medidas bien definidas que puedan proporcionar información objetiva sobre la efectividad de un proceso.

**Objetivos SMART:** Es una técnica para la identificación de indicadores de gestión y desempeño cuyo nombre es un acrónimo en inglés de cinco términos que se pueden entender de la siguiente manera:

- a. Específicos (Specific): Las metas que son específicas tienen una probabilidad significativamente mayor de alcanzarse
- b. Medible (Measurable): Una meta INTELIGENTE debe tener criterios para medir el progreso. Si no hay criterios, no podrá determinar su progreso y si está en camino de alcanzar su meta.
- c. Alcanzable (Achievable): Un objetivo SMART debe ser alcanzable. Esto ayudará a descubrir formas en las que puedes lograr ese objetivo y trabajar para lograrlo. La posibilidad de alcanzar el objetivo debe extenderse para que se sienta desafiado, pero debe definirse lo suficientemente bien como para que realmente pueda lograrlo.

- d. **Realista (Realistic):** Debe ser realista en el sentido de que la meta se puede lograr de manera realista dados los recursos y el tiempo disponibles
- e. **Oportuno (Timely):** Una meta debe tener un límite de tiempo, ya que tiene una fecha de inicio y finalización. Si el objetivo no tiene limitaciones de tiempo, no habrá sentido de urgencia y, por lo tanto, menos motivación para alcanzar el objetivo.

**Diagrama de Ishikawa o de causa y efecto:** es una representación visual que muestra las causas de un evento y se usa a menudo en la fabricación y el desarrollo de productos para delinear los diferentes pasos en un proceso, demostrar dónde pueden surgir problemas de control de calidad y determinar qué recursos se requieren en momentos específicos (Adams, 2018). El diagrama de Ishikawa fue desarrollado por Kaoru Ishikawa durante la década de 1960 como una forma de medir los procesos de control de calidad en la industria de la construcción naval. También llamado diagrama de espina de pescado es útil en el desarrollo de productos y en los procesos de resolución de problemas, y generalmente se usa para enfocar una conversación en torno a un problema.

**Diagrama de Pareto:** es un gráfico que indica la frecuencia de los defectos, así como su impacto acumulativo. Los gráficos de Pareto son útiles para encontrar los defectos a priorizar con el fin de observar la mayor mejora general (Adams, 2018). En cualquier diagrama de Pareto, mientras la línea de porcentaje acumulativo sea empinada, los tipos de defectos tienen un efecto acumulativo significativo. Por lo tanto, vale la pena encontrar la causa de este tipo de defectos y solucionarlos. Cuando la línea de porcentaje acumulativo comienza a aplanarse, los tipos de defectos no merecen tanta atención, ya que resolverlos no influirá tanto en el resultado.

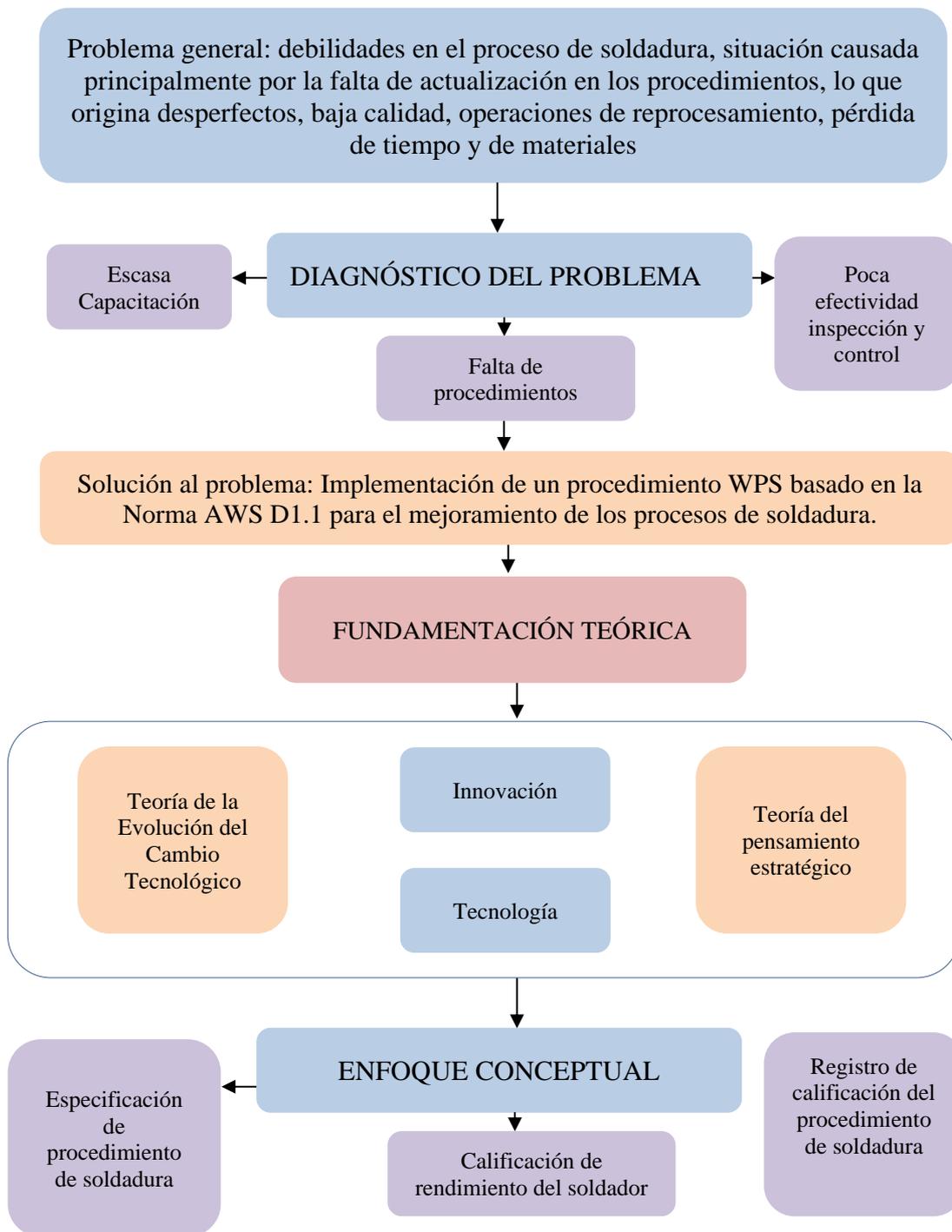


Figura 2. Marco conceptual de la investigación

## Glosario de Términos

AWS: siglas de la *American Welding Society*, Sociedad Americana de Soldadura (Ericsson & Astrand, 2018).

Calibración: comparación entre los registros obtenidos mediante un instrumento de medición en comparación con una referencia que proporcione un valor que se pueda verificar (Arboleda, 2015).

Calificador: individuo, organización o combinación de ambos, responsable de orientar, supervisar y evaluar las pruebas de calificación, de acuerdo con el documento de referencia (Rodrigues et al, 2019).

Código: norma o conjunto de normas que describen las condiciones y exigencias de un proceso en particular que indica los procedimientos adecuados, lo que permite la evaluación de su cumplimiento (Escudero & Marianetti, 2016).

Corriente directa: flujo de carga eléctrica que se mantiene en forma continua y se transporta a través de un conductor entre diferentes puntos con potenciales distintos de manera que no se altere el sentido en el transcurso del tiempo (Arboleda, 2015).

Ensayo no destructivo: acción que se realiza para determinar las características y efectividad idoneidad de un material o componente para el propósito previsto mediante técnicas que no modifiquen su capacidad de servicio (Rodrigues et al, 2019).

PQR: siglas en inglés de *Procedure Qualification Record*, que se traduce como registro de la calificación del procedimiento (Ericsson & Astrand, 2018).

PQR siglas en inglés de *Procedure Qualification Record*, que se traduce como Registro de calificaciones del procedimiento, protocolo en el cual se describen las condiciones reales de soldaduras que se necesitan para llevar a cabo un ensayo aceptable en un procedimiento de soldadura (Arboleda, 2015).

Soldadura MIG: método de soldadura que utiliza una fuente de alimentación continúa a través de un alambre que funciona como electrodo junto con una composición del gas inerte que contribuye a resguardar la soldadura ante posibles contaminaciones (Arboleda, 2015).

VARIABLES DE CALIFICACIÓN: aquellas condiciones del proceso de soldadura que cambian por encima de los límites especificados, lo que obliga a recalificar el procedimiento (Luna, 2015).

VARIABLES NO ESENCIALES: condiciones del proceso que no causan efectos apreciables en las soldaduras cuando ocurre un cambio, por lo que no se hace necesario recalificar el procedimiento (Arboleda, 2015).

WPQ siglas en inglés de *Welder Performance Qualification*, que se traduce como calificación de la habilidad del soldador (Ericsson & Astrand, 2018).

WPS: siglas en inglés de *Welding Procedure Specification*, que se traduce como especificación del procedimiento de soldadura (Ericsson & Astrand, 2018).

### **CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA**

#### **Descripción del proyecto o programa laboral**

Una de las mayores preocupaciones de las organizaciones, es alcanzar las mejores condiciones para la productividad y el uso de los recursos, en sintonía con los cambios sociales, económicos y tecnológicos derivados de la complejidad de la sociedad de la información (Evans y Lindsay, 2014). En tal sentido, las ciencias e investigaciones de la Ingeniería Industrial han desarrollado diversas herramientas metodológicas que permitan el logro de estos objetivos de una forma estandarizada y orientada a la calidad.

De manera conceptual, el mejoramiento de los procesos, de acuerdo con Ribeiro (2017), consiste en la realización de una planificación para incrementar la eficacia, la eficiencia y la productividad de una organización, con el objeto de hacerla más rentable y asegurar la satisfacción de los clientes. Mediante la implementación de un plan de mejoras se pretende desarrollar las acciones más idóneas que contribuyan a mejorar el desempeño de los procesos internos de una empresa y sus relaciones con el entorno; es decir, la optimización de las actividades clave orientadas a la reducción de costos, aumento de la productividad y mejora de la calidad.

En el contexto mundial, una de las áreas en las que se exige mayor calidad y productividad es en los procesos de soldadura; sin embargo, una investigación de Arboleda (2015) reporta que muchas organizaciones a nivel internacional manifiestan problemas para adaptar sus procesos internos de soldadura hacia estrategias de mejoramiento, debido a la falta de procedimientos estandarizados, desarrollo de competencias para el personal operativo, ausencia de registros estadísticos registros de calibración, inspección y

mantenimiento de los equipos que intervienen en el proceso de soldadura; además de la falta de ejecución de pruebas para garantizar la calidad de la aplicación de la soldadura.

Como respuesta a la necesidad de estandarizar los procesos de soldadura, Ericsson y Astrand (2018) explican que se han creado las herramientas denominadas especificación de procedimiento de soldadura (WPS, siglas en inglés de *Welding Procedures Specifications*) es cual el documento formal escrito que describe procedimientos de soldadura, que proporcionan instrucciones al soldador u operadores para ejecutar actividades de producción sólidas y de calidad según los requisitos del código (Gallego, 2014). El propósito del documento es guiar a los soldadores a los procedimientos aceptados para que se utilicen técnicas de soldadura repetibles y confiables Sánchez (2015).

A nivel latinoamericano, una investigación de Escudero y Marianetti (2016), explica que los principales problemas que enfrentan las organizaciones que cuentan con procesos de soldadura como parte de sus operaciones productivas son: poca participación del personal involucrado en los procesos, falta de procedimientos que permitan alinear los esfuerzos de las organizaciones, falta de actualización en cuanto a las técnicas de soldadura más eficientes.

A nivel nacional, Vílchez (2017) indica que entre las causas de los problemas relacionados con procesos de soldadura está el bajo conocimiento de los requisitos exigidos por las normas vigentes aplicadas al proceso de soldadura, desconocimiento de las causas que generan productos no conforme, poco nivel de exigencia en cuanto a los requisitos de compra e inspección de las materias primas que intervienen en el proceso; falta de planeación y documentación, así como la falta de certificación del personal.

En el caso específico que origina la siguiente investigación, producto de la experiencia profesional en la empresa COCYMET del Sur, S.A.C., se detectó un problema relacionado

con debilidades en el proceso de soldadura, situación causada principalmente por la falta de actualización en los procedimientos, capacitación al personal y ausencia de indicadores de gestión, lo que origina desperfectos, baja calidad, operaciones de reprocesamiento, pérdida de tiempo y de materiales, además de la insatisfacción en los grupos de interés vinculados con la naturaleza económica de la organización: socios, trabajadores y clientes.

De no cambiar esta situación en el corto y mediano plazo, la empresa vería con mayor intensidad las siguientes consecuencias: desventaja frente a sus competidores, al carecer de procedimientos que aseguren la realización eficaz de las operaciones de soldadura y el uso eficiente de los recursos; incremento en los costos de producción, reclamos de calidad por parte de los clientes, incumplimiento de las fechas de entrega de los proyectos a los clientes, imagen general de ineficiencia en el mercado o pérdida de sus clientes.

Como repuesta a la situación antes planteada, se propone implementar un plan de mejoras mediante la metodología WPS (Especificación de procedimiento de soldadura) en la empresa COCYMET del Sur S.A.C., que permita estandarizar y documentar sus actividades, así como la capacitación al personal para el desarrollo de nuevas competencias relacionadas con el proceso de soldadura, que promueva la adaptación de la organización a un sistema de trabajo controlado que permita alcanzar el logro de sus objetivos productivos, humanos y comerciales, así como la satisfacción de los clientes. De lo anteriormente planteado, se formulan las siguientes interrogantes:

### **Descripción de la experiencia profesional en la empresa**

La experiencia profesional en la COCYMET del Sur S.A.C. se inició el 17 de noviembre de 2017 como Supervisor de calidad en el área de fabricación de estructuras metálicas. Las responsabilidades principales estuvieron asociadas con la organización de un plan de calidad y supervisión de los procesos la calidad de la soldadura de acuerdo con los

códigos aplicables o según las especificaciones, hacer cumplir los procedimientos y las normas asegurando que los productos y servicios cumplan con los estándares de calidad, comprobar las muestras y examinar los productos cuya función principal consiste en controlar y asegurar efectivamente la calidad de todos los trabajos.

Presenciar las pruebas de calificación de soldadores y operadores de soldadura y mantener la lista actualizado de mano de obra calificada y sus alcances.

Constatar si se han emitido todos los procedimientos de soldadura, verificando si todos cubren todas las juntas del proyecto y si está debidamente identificado en los planos constructivos.

Proponer y/o evaluar planes de calificación de procedimiento, constatando que las calificaciones propuestas den cobertura a los procedimientos emitido como mejora.

Presenciar la calificación de los procedimientos de soldadura y verificar que se cumpla con todas las variables esenciales.

Interpretar las especificaciones de procedimiento.

Verificar y solicitar los registros de calificación del procedimiento de soldadura y de los soldadores.

Verificar que la aplicación de los procedimientos de soldadura calificados sean los correspondientes y que se cumpla con todas las variables y requisitos del procedimiento propuesto.

Verificar que todos los procedimientos de soldadura aplicados en la fabricación estén aprobados o calificados.

Los controles diarios son los siguientes

- Verificar en todo momento el proceso de soldadura.

- Verificar la limpieza
- Examinar la preparación de la junta.
- Verificar el precalentamiento y temperatura entre cada paso.
- Inspeccionar material de aporte adecuado, el fundente o gas de protección.
- Examinar el control de la distorsión.

De manera general, los deberes y responsabilidades como supervisor de calidad fueron:

Supervisar al personal de control de calidad: coordinar un equipo de analistas de control de calidad. Como responsable de la labor de estos analistas, se buscó comunicar las expectativas de manera clara y asegurarse de que su personal esté debidamente capacitado en los últimos estándares de productos.

Gestión de la experiencia del cliente: para garantizar que el cliente esté satisfecho con el producto terminado. Cuando surgieron problemas de calidad, fue responsabilidad del supervisor de calidad comunicarse claramente con el cliente, estableciendo expectativas realistas sobre cuándo se resolverá el problema.

Supervisar el sistema de gestión de la calidad: para garantizar que todos los productos y servicios se produzcan correctamente y satisfagan adecuadamente las necesidades de los clientes, asegurando que todos los aspectos del sistema se ejecuten para cada producto.

Informe sobre métricas e indicadores de calidad: reportar sobre las métricas de calidad a otros miembros del equipo de gestión. Es fundamental para las operaciones generales de una organización que todo se ejecute con los más altos estándares posibles.

Identificar protocolos de entorno de trabajo seguro: asegurarse que los protocolos de seguridad estén establecidos y se sigan.

Además, el Supervisor de calidad es responsable de realizar las pruebas no destructivas

(END):

- Inspección Visual (VT): realizar la verificación en el proceso de soldadura antes, durante, y después de finalizar las juntas soldadas.
- Los defectos por controlar son los siguientes: deformaciones, calidad de material de aporte, tensión residual, penetración insuficiente, falta de fusión, fisuras o grietas.
- Líquido penetrante: es uno de los END que me ayuda determinar daños superficiales en las piezas trabajados, es donde mi responsabilidad y la experiencia da confianza hacia los clientes.
- Inspección por partícula magnética, también está considerado dentro de los (END) en esta prueba de inspección determino la discontinuidad en la superficie según el flujo magnético.

La responsabilidad en la empresa también es revisar e interpretar los planos de fabricación y los esquemas y parámetro de soldadura, resolver dudas y brindar apoyo técnico en cuestión de calidad de soldadura. Registrar los antecedentes o defectos en cada proyecto y garantizar el cumplimiento de plan de inspección para cada proyecto según los códigos estipulados.

Como parte del equipo responsable de la mejora, se desarrollaron actividades relacionadas con: (a) determinación de la causa raíz y planeación de las actividades de mejora (b) establecimiento de procedimientos operativos estándar (c) desarrollo de habilidades analíticas en el grupo de trabajo (d) reconocimiento de las necesidades del cliente y (e) gestión del equipo de trabajo para el logro de metas conjuntas.

## **Formulación del problema**

### **Problema general**

¿La implementación de mejoras en el proceso de soldadura mediante la metodología Welding Procedure Specification (WPS) incidirá favorablemente sobre el incremento de la calidad en la fabricación de estructuras metálicas en la empresa COCYMET del Sur S.A.C?

### **Problemas específicos:**

- ¿Cómo es el proceso de fabricación de estructuras metálicas en la empresa COCYMET?
- ¿Cuáles son las actividades que se deben implementar para mejorar los procesos en la fabricación de estructuras metálicas en la empresa COCYMET del Sur S.A.C?
- ¿Cuál será el costo y beneficio de implementación de mejoras mediante la metodología WPS (Welding Procedure Specification) para el incremento de la calidad en la fabricación de estructuras metálicas de la empresa COCYMET del Sur S.A.C.?

## **Objetivos de la investigación**

### **Objetivo general**

Demostrar que la implementación de un plan de mejoras mediante la metodología WPS (Especificación de procedimiento de soldadura) incrementa la calidad en la fabricación de estructuras metálicas en la empresa COCYMET del Sur S.A.C.

### **Objetivos específicos**

- Describir los procesos llevados a cabo para la fabricación de estructuras metálicas en la empresa COCYMET del Sur S.A.C.
- Mejorar los procesos de soldadura en la empresa Corporación COCYMET del Sur S.A.C.
- Evaluar los costos y beneficios de la implementación del plan de mejoras mediante la metodología WPS (Especificación de procedimiento de soldadura) en la fabricación de estructuras metálicas en la empresa COCYMET del Sur S.A.C.

### **Estrategias de desarrollo**

Las estrategias para el logro de los objetivos del trabajo fueron organizadas de acuerdo con la metodología PHVA, tal como se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1. *Estrategias de desarrollo*

Fase	Descripción/Actividades
P= Planificar	<p>Actividades por incluir en el plan de mejoras.</p> <p>Plan de acción.</p> <p>Definición de responsabilidades.</p> <p>Planificación de los recursos necesarios.</p> <p>Cronograma de actividades.</p>
D= Hacer	<p>Fases de la metodología WPS:</p> <p>Reconocimiento del material a soldar</p> <p>Selección del capítulo de la norma a utilizar</p> <p>Elaboración del procedimiento de soldadura</p> <p>Preparación de la probeta y calificación del soldador</p> <p>Inspección visual y ensayos requeridos</p> <p>Registro de calificación</p>
V= Verificar	<p>Verificación de los indicadores de cumplimiento (producción, producto liberado).</p> <p>Registro de fallas en el proceso de soldadura</p> <p>Costos por tipo de reparación de soldadura</p>
A= Actuar	<p>Determinación de los costos de implementación</p> <p>Costo y beneficios de la implementación del plan de mejora</p> <p>Conclusiones de la experiencia</p> <p>Lecciones aprendidas</p>

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

### Descripción de los procesos llevados a cabo para la fabricación de estructuras metálicas en la empresa COCYMET del Sur S.A.C.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo (Figura 3) y el análisis de proceso de soldadura DAP (Figura 4), en donde se ilustra el proceso de soldadura en las juntas de estructuras metalmecánicas, como referencia se tomará después del área de ensamblaje, es donde se procede transportar al área de soldadura en donde se refleja la propuesta de implementación de mejora del proceso.

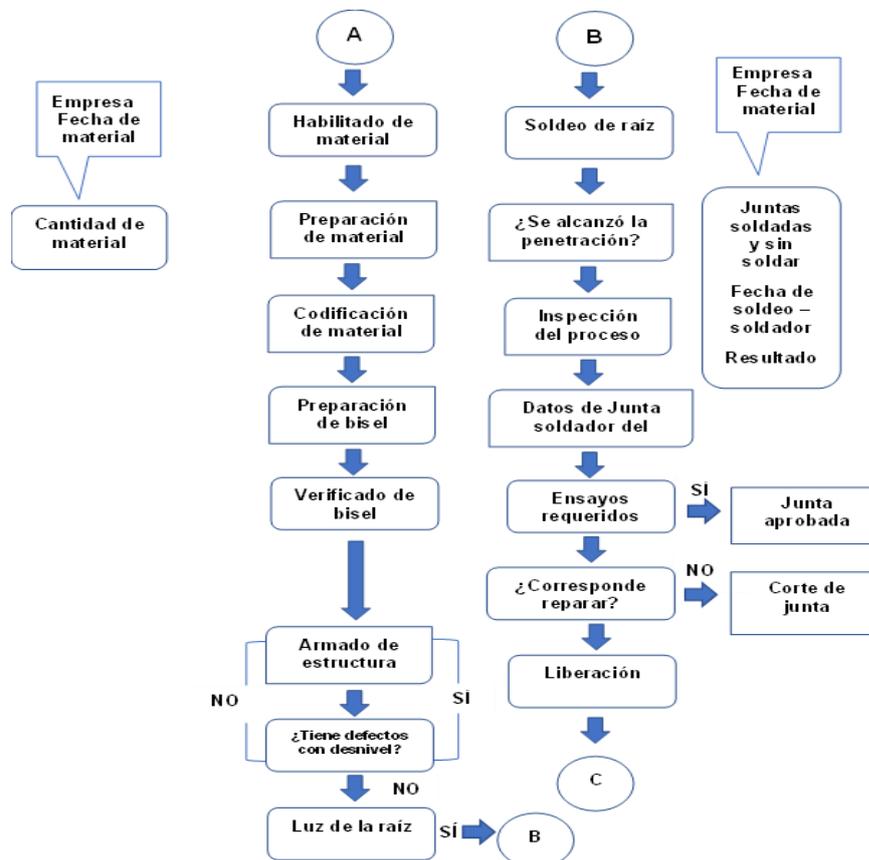


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de soldadura.  
Fuente: Elaboración propia (2021).

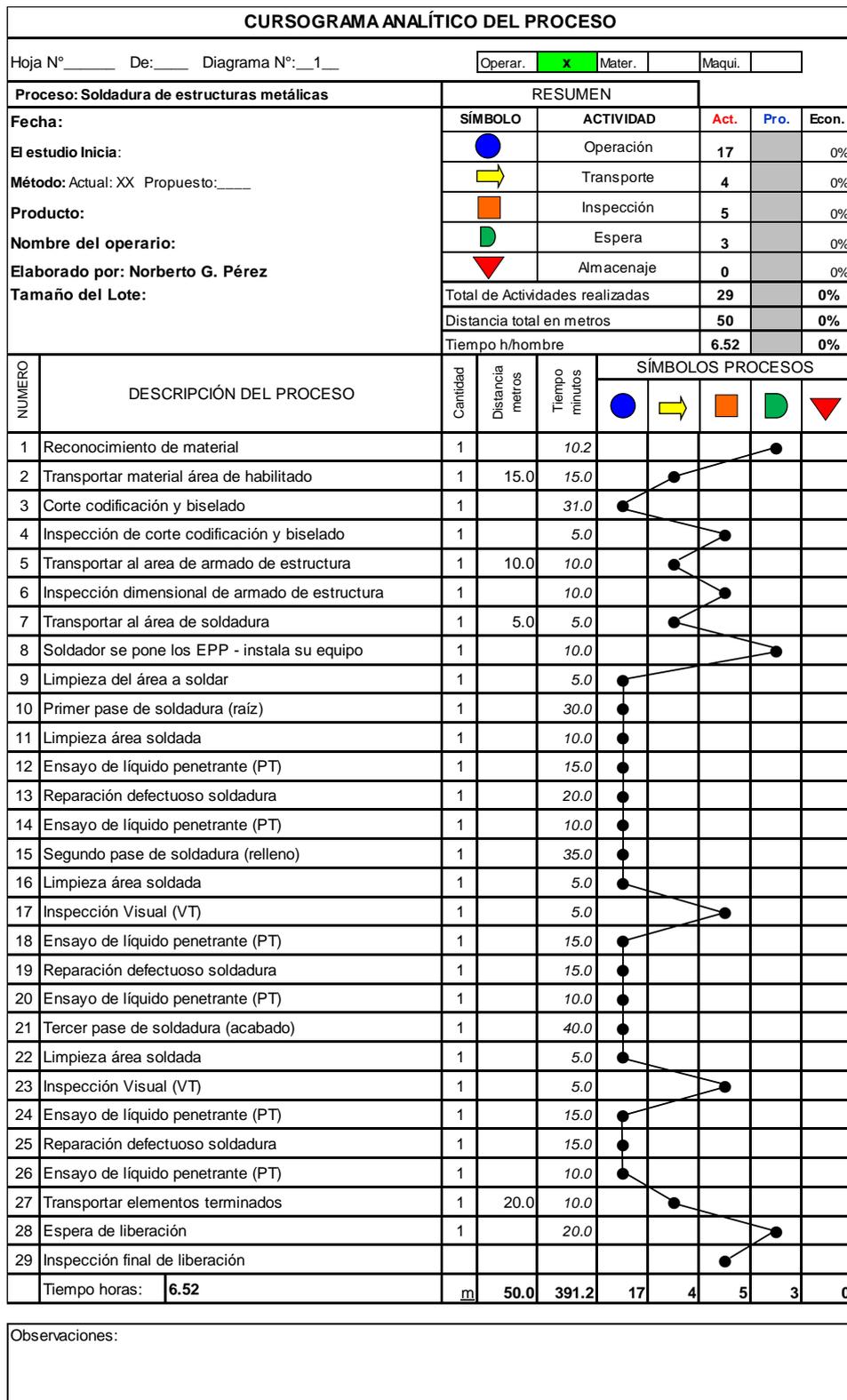


Figura 4. DAP del proceso de soldadura.

### Análisis del área de soldadura

Para que las soldaduras en general sean aceptadas por el área de calidad, se deben verificar una serie de parámetros, los cuales como se explicará más adelante en detalle no se cumplen a cabalidad, ya que se presentan defectos en el soldeo que traen retrasos en la fabricación de las estructuras fabricadas por la empresa. Esta problemática motivada por diversos factores tales como: falta de procedimiento, ingeniería, herramientas y personal, generan reprocesos, costos y la demora de la entrega al cliente interno o externo. Las fallas que se presenta son los siguientes: falta de penetración, socavación, porosidad, grietas, desalineamiento, las cuales están representadas gráficamente en la Figura 5.

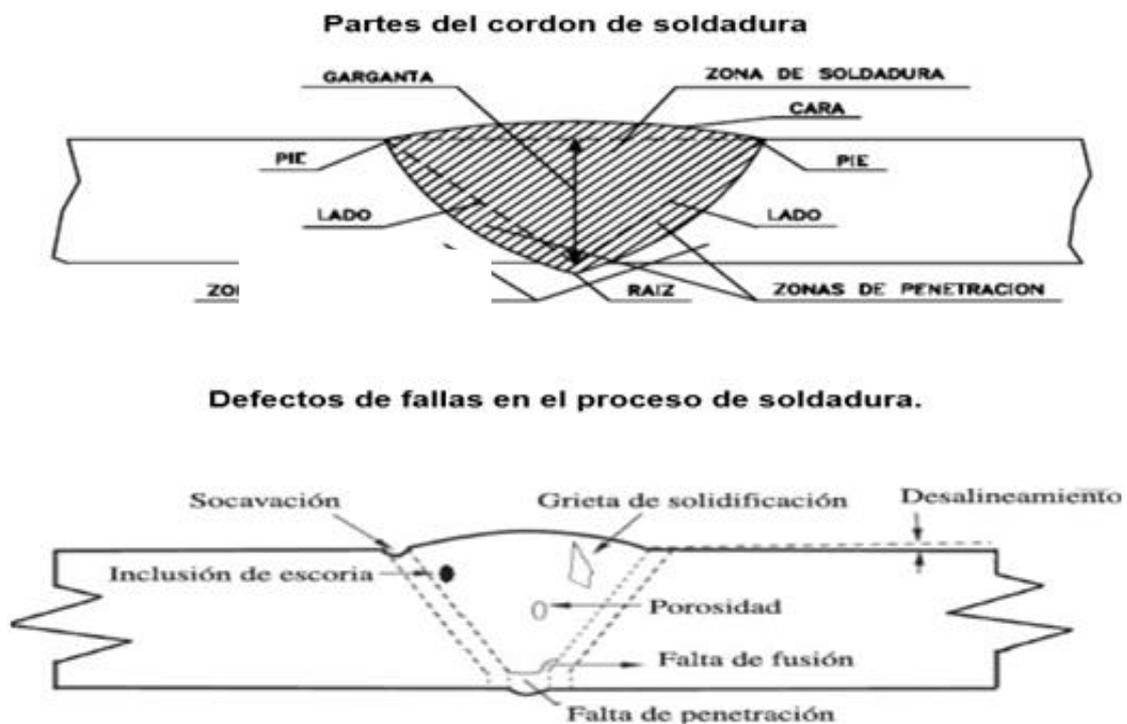


Figura 5 .Partes y defectos del cordón de soldadura  
Fuente: Ingemecanica.com/Scielo.conicyt.cl. (2021)

Los factores de error que se presentan son por la falta de procedimientos normalizados y de detalles técnicos en cada secuencia o etapa según el WPS y el desconocimiento de la supervisión y soldadores, ya que es muy importante la capacitación y la homologación de todo el personal que interviene en esta parte del proceso.

**Análisis de los defectos en el proceso de soldadura:** Para obtener un resultado confiable durante la implementación y la calificación de un procedimiento de proceso de soldadura, fue necesario seguir ciertos lineamientos estipulados en los códigos de construcción con el fin de poder determinar una metodología de trabajo adecuado, para ello se evaluarán las causas del problema en el proceso de soldadura utilizando el diagrama de Ishikawa. Mediante la herramienta de lluvia de ideas, se logró determinar los elementos para realizar dicho diagrama y así poder identificar los puntos más críticos y frecuentes en el proceso.

De esta forma, un procedimiento de soldadura debe demostrar su capacidad de producir uniones soldadas que cumplan los requerimientos mínimos de calidad exigido por el estándar de construcción o procedimiento de soldadura, tiene diferentes formas de demostrar su capacidad. Con este propósito se realizó una observación de los procesos, para analizar los problemas que ocasionan las deficiencias en el proceso de soldadura y a partir de allí se genera una lista con la que se determinan las causas de las deficiencias más evidentes en la empresa (Ver Tabla 2).

Tabla 2. *Problemas identificados en el área de soldadura*

Problema	Descripción
Penetración inadecuada sin desalineamiento	La longitud de una junta individual excede de 1 pulgadas. (25mm).
Penetración inadecuada debido a desalineamiento	La longitud de una junta individual excede de 2 pulgadas (50mm) o la suma de las longitudes de las indicaciones de cordón continua de 12 pulgadas (300mm) exceden las 3 pulgadas (75mm)
Penetración transversal inadecuada	La longitud de una junta individual excede de 2 pulgadas (50mm) o la suma de las longitudes de las indicaciones de cordón continua de 12 pulgadas (300mm) exceden las 2 pulg, (50mm)
Fusión incompleta debido a traslape	Es definida como una imperfección entre dos partes de soldadura adyacente o entre el material de soldadura y el metal base que no está abierto a la superficie
Grietas	Las grietas deben ser consideradas defectos si existen algunas de las siguientes condiciones: grieta de cualquier tamaño o grieta de cráter, grieta de estrella con una longitud superior a 5/32 pulgadas (4mm)
Socavación	El socavado se define como un canal fundente del material base adyacente en la base raíz de la soldadura y que ya no es llenado por el material aporte.
Mal aspecto de práctica	Falta de compromiso y practica de operario; corriente excesivo por regular; mala penetración en la unión de junta

Cavidades	Voltaje no regulado excesivo; pase raíz de la junta excesivo, desplazamiento de la antorcha lenta
Continuidad incorrecta	Voltaje insuficiente, corriente en exceso, grado de inclinación de la antorcha incorrecta
Preparación de junta de la placa	Material inadecuado sin limpieza, Corriente excesivo, voltaje bajo

De esta observación, se obtuvieron los siguientes hallazgos:

- a. Es necesario evaluar los parámetros, almacenamiento de material de aporte que se encuentre libre de contaminación verificación de voltajes y amperajes en la salida de la máquina de soldar.
- b. De este modo se podrá determinar la calificación del proceso y se recolectarán datos de variables, tipos de fallas, pase de soldadura, tipo de junta, tipo de material de aporte, amperaje, voltaje, polaridad velocidad de avance y progresión.

Asimismo, en lo referente a la gestión de los procesos de soldadura en la empresa, se llevó a cabo una lista de chequeo como instrumento observacional, basada en el modelo propuesto por Arboleda (2015). Dicha actividad consistió en la identificación de la presencia o ausencia de un conjunto de elementos asociados con la eficacia, la eficiencia, la productividad y la calidad en la organización, se realizó en conjunto con el Jefe de Producción y los resultados se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3. *Diagnóstico inicial del proceso de soldadura de la empresa COCYMET del Sur, S.A.C.*

No.	Aspecto por observar	PRESENTE	AUSENTE
1.	Las actividades desarrolladas en el proceso de soldadura se realizan bajo el cumplimiento de un procedimiento estandarizado.		X
2.	Se han definido las competencias y habilidades de cada miembro que trabaja en el proceso de soldadura.		X
3.	El personal responsable de las operaciones de soldadura ha recibido capacitación para desarrollar sus habilidades y mantenerlo actualizado.		X
4.	Existen registros los equipos que forman parte del el proceso de soldadura.		X
5.	Se llevan a cabo pruebas para asegurar la calidad del proceso.	X	
6.	Se cumple con el proceso de inspección para certificar la calidad del proceso de soldadura en un proyecto.		x
7.	Se han definido especificaciones técnicas de los materiales que se requieren en el proceso de soldadura para contribuir con una gestión de compras eficiente.	X	
8.	El personal ha sido informado de los requisitos establecidos en las normas relacionadas con el proceso de soldadura.		X

9.	Se realiza una planificación de las actividades que conforman el proceso de soldadura.		X
10.	El personal del área de soldadura ha sido certificado para el trabajo que realiza.		X
11.	Se han elaborado actividades para medir el nivel de cumplimiento de la normativa para los procesos de soldadura.		X
12.	Se han elaborado actividades para medir el nivel de conocimiento del personal respecto a los procesos de soldadura		X
13.	Se han elaborado actividades para medir el nivel de cumplimiento de los requisitos para los procesos de soldadura.		X
14.	Se documenta y se realiza un procedimiento de inspección y ensayo.	X	
15.	Se han definido las actividades para cumplir con cada uno de los pasos del proceso de soldadura.		X

Fuente: Elaboración propia, a partir del modelo de Arboleda (2015)

A partir de los hallazgos y su discusión entre el grupo de trabajo relacionado con el proceso de soldadura, se presentan los siguientes resultados:

- a. Necesidad de mejorar los procesos de documentación, información, control y validación de los procesos mediante un procedimiento.
- b. Capacitación, actualización y certificación al personal del área de soldadura.
- c. Creación de indicadores de gestión para medir la calidad del proceso

- d. Planificación de las actividades que conforman el proceso de soldadura, para delimitar las actividades requeridas de verificación, validación, seguimiento, medición, inspección y ensayo del producto.

### **Identificación de las oportunidades de mejora**

Los problemas identificados en la fase anterior fueron agrupados en un Diagrama de Ishikawa para definir las relaciones de causa y efecto entre los problemas identificado y la consecuencia general del diagnóstico (Ver Figura 6):

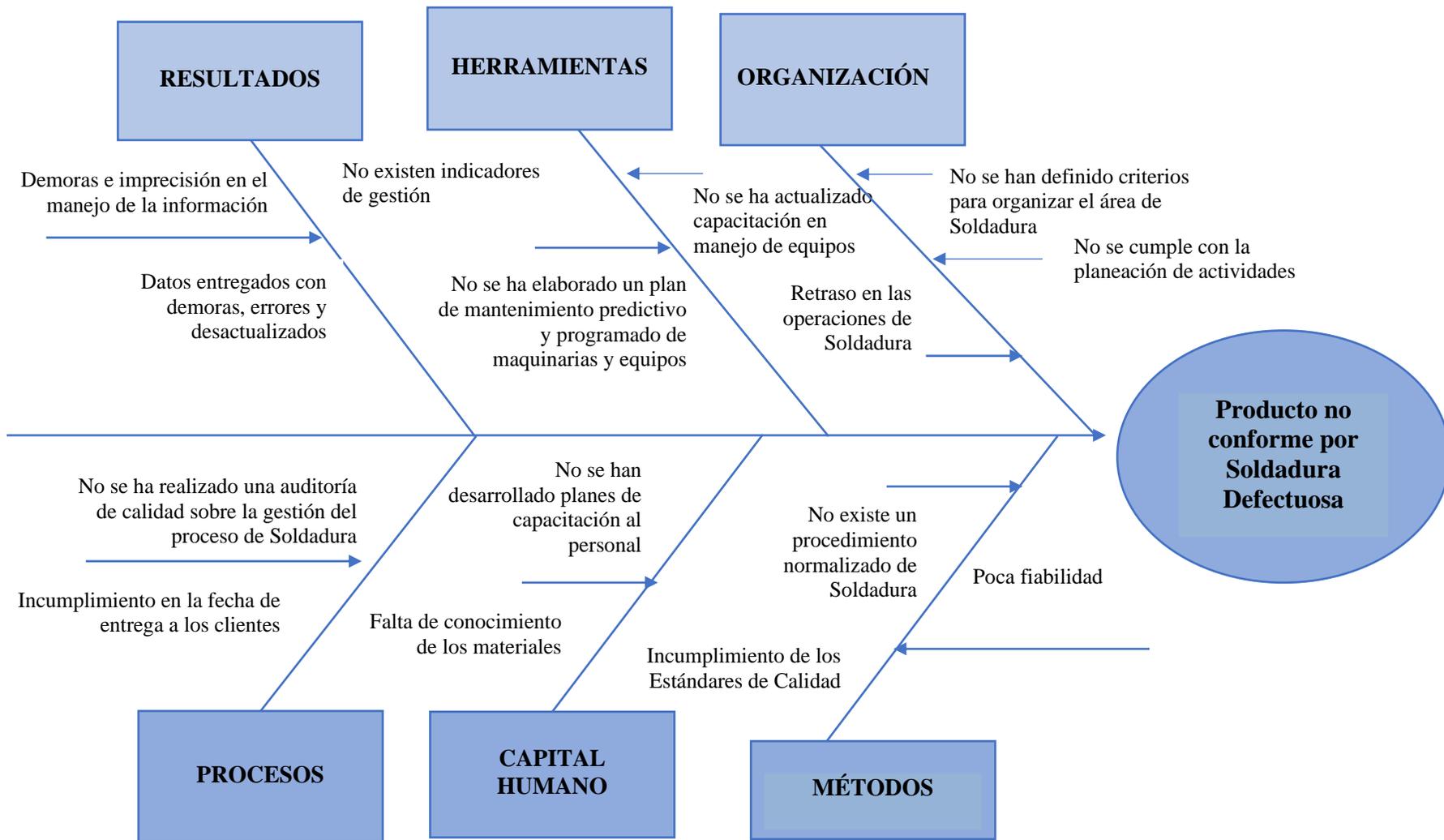


Figura 6. Diagrama de Ishikawa o de causa y efecto de los elementos que inciden en la calidad de los procesos de soldadura de la empresa.

Para priorizar los problemas detectados, se sometieron los resultados del Diagrama de Causa y Efecto a una observación de la frecuencia de ocurrencia para determinar aquellos que incidían principalmente sobre el problema central de estudio (incremento de la calidad). Los resultados de la observación se muestran en la Tabla 4 y se representan visualmente en un diagrama de Pareto (figura 7). Luego, los problemas detectados fueron analizados bajo la matriz de los por qué (Tabla 5) para encontrar a profundidad las razones que ocasionan en problema

Tabla 4. *Frecuencia de ocurrencia de los problemas relacionados con el producto no conforme por soldadura defectuosa.*

Descripción	Frecuencia	%	Acumulado
Procedimientos deficientes en proceso de soldadura	31	32.0%	32.0%
Procedimiento de soldadura no aprobado según la norma	25	25.8%	57.7%
Falta de conocimiento de los materiales	18	18.6%	76.3%
No se ha actualizado capacitación	7	7.2%	83.5%
Incumplimiento en la fecha de entrega	4	4.1%	87.6%
No se ha realizado una auditoría de calidad	3	3.1%	90.7%
No se ha elaborado un plan de mantenimiento	2	2.1%	92.8%
No se cumple con la planeación	2	2.1%	94.8%
Datos entregados con demoras	1	1.0%	95.9%
No se han definido criterios para organizar el área	1	1.0%	96.9%
Imprecisión en el manejo de la información	1	1.0%	97.9%
Retraso en las operaciones	1	1.0%	99.0%
No existen indicadores	1	1.0%	100.0%

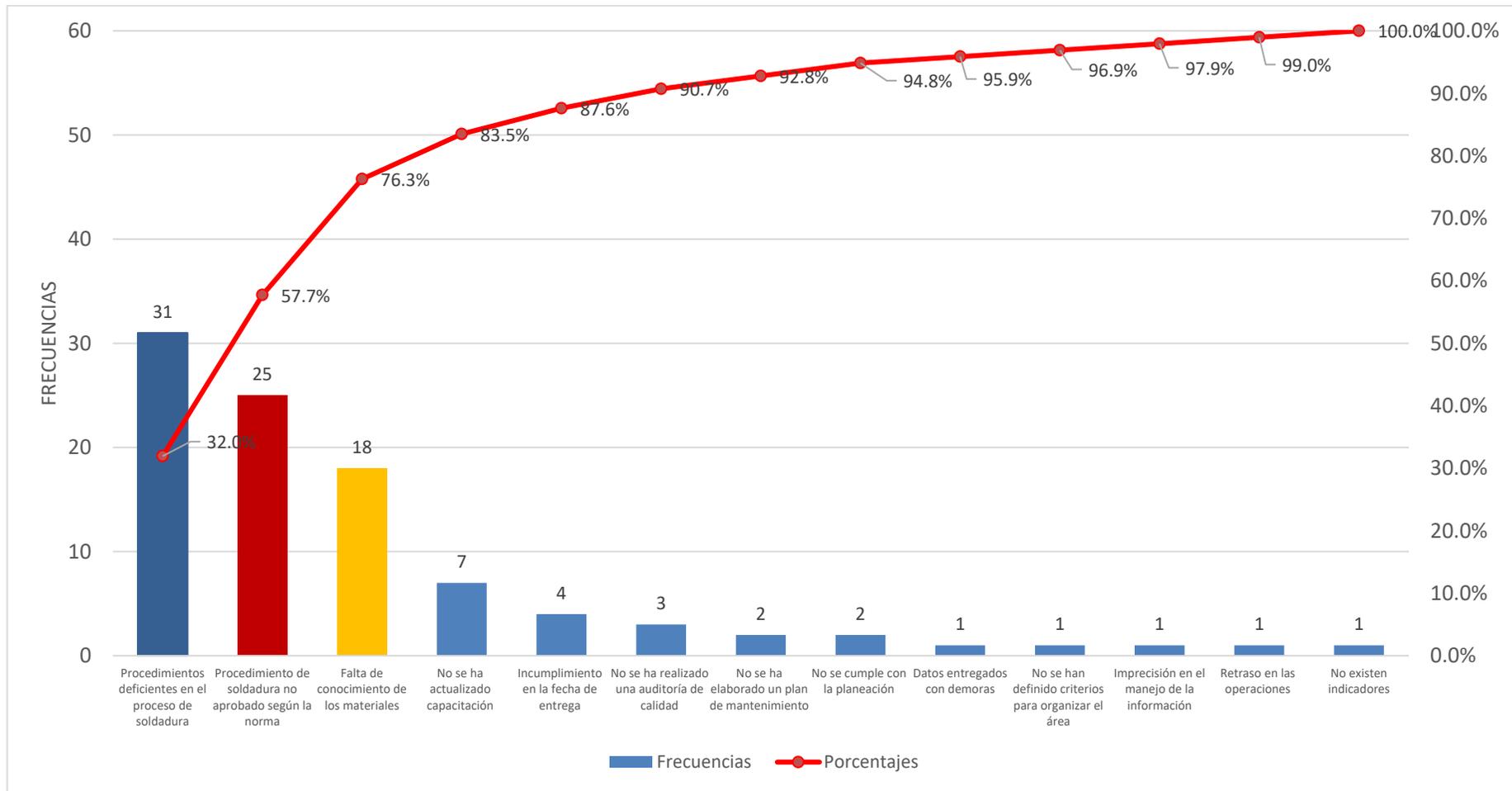


Figura 7. Diagrama de Pareto de la Frecuencia de ocurrencia de los problemas relacionados con el producto no conforme por soldadura defectuosa.

Tabla 5. Matriz de los porqué para evaluar la ocurrencia de los problemas relacionados con el producto no conforme por soldadura defectuosa.

PROBLEMA POR ESTUDIAR	W1	W2	W3	W4	W5	RESULTADO DEL ANÁLISIS
	Se emplea un Procedimiento de soldadura no aprobado según la norma.	No se cumplía con el registro de calificación	Los soldadores desconocían existencias de nuevas metodologías	No se habrá ofrecido capacitación al personal	La empresa estaba conforme con los resultados hasta que la calidad empezó a bajar	Definición de los parámetros de los protocolos de la metodología WPS.
Producto no conforme por Soldadura Defectuosa.	Existen Procedimientos deficientes en el proceso de soldadura.	No se realizan los ensayos adecuados	Se aplica una metodología en desuso	No se han actualizado procedimientos	No se había generado el interés en la dirección de la empresa en realizar la actualización de procedimientos	Elaboración y aprobación del procedimiento de soldadura.
	Se observa falta de conocimiento de los materiales.	No se realiza una inspección visual	No se realizan los ensayos adecuados	No se ha realizado una calificación y certificación del soldador	No se ha incluido en los planes de mejora del personal	Calificación del soldador y Reconocimiento del material a soldar

De esta manera, se logró establecer una relación entre los principales problemas asociados al proceso de soldadura, y las ventajas que ofrece la implementación de la metodología Welding Procedure Specification (WPS) en la fabricación de estructuras metálicas en la empresa.

Las causas principales detectadas en el diagnóstico fueron:

**Procedimientos deficientes en el proceso de soldadura:** La soldadura es un proceso para la unión de dos metales por medio de calor y fusión y penetración y/o presión y se define como la liga metalúrgica entre los átomos del metal y el material de aporte. El control de proceso de soldadura por cada junta o unión soldada es por tonelada el cual es de tanta importancia el control en el proceso de soldadura, para ello es de mucha importancia el procedimiento según la norma WPS. D1.1 y un control de datos en formatos ya estandarizados.

La razón de los diversos errores que se presentan en el área de proceso de soldadura es por la falta de un procedimiento normalizado y la ausencia de formatos no implementados, ya que los que se usan actualmente no cumplen con la norma y no están acorde al proceso de soldadura. Las deficiencias que se presentan en el proceso ocasionan el retrabajo, pérdidas económicas, demora en la liberación y la entrega final. Los problemas más destacados en el área son:

**Procedimiento de soldadura no aprobado según la norma:** La empresa y su organización ejecutaban trabajos de soldadura con un procedimiento sin la consideración de ninguna de las normas estandarizadas, esto como resultado se traduce en reprocesos en el área de soldadura con pérdidas económicas, incumplimiento de entrega creando la desconformidad de cada uno de sus clientes.

**Falta de conocimiento de los materiales:** Se observa la falta de conocimiento en la materia prima, lo cual es un punto de suma importancia en este proceso de fabricación; en todos los proyectos se deben tener las indicaciones y las especificaciones de parte del cliente de los materiales a utilizar, para ello es muy importante contar con un procedimiento de soldadura normalizado basado de acuerdo con el proyecto particular. Como resultado se viene observando reparaciones por la falta de un método de procedimiento que garantice un proceso según las normas requeridas.

En el segundo semestre de 2019 la producción en la empresa COCYMET del Sur S.A.C. se llevó a cabo con un nivel de eficiencia desfavorable, con múltiples defectos en el proceso de soldadura, los cuales están reflejados en el siguiente cuadro de control de datos; este alto índice de defectos conlleva a implementar un área de reparación, lo cual representa un costo adicional al producto, de igual manera refleja el incumplimiento con el cliente interno y externo (Ver Registro de fallas de soldadura Tabla 6):

### **Indicadores de desempeño base del proceso de soldadura**

Los aspectos por medir como parte de la evaluación inicial previa a la implementación de las mejoras son las siguientes:

- a) Registro de fallas en el proceso de soldadura
- b) Frecuencia de Fallas en el proceso de soldadura (acumulado)
- c) Costos adicionales generados por proceso de soldadura
- d) Producción planificada y producida por la empresa
- e) Producción liberada y producción que cumple con requisitos de calidad

De cada uno de estos indicadores se hizo una medición inicial, para luego comparar con el desempeño alcanzado una vez implementadas las mejoras. En la Tabla 6 se muestra el registro de fallas en el proceso de soldadura:

Tabla 6. *Registro de fallas en el proceso de soldadura*

Descripción de error y reparación	MESES						TOTAL
	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	
Reparación por socavación	5	2	4	3	4	3	21
Reparación sobre monta	2	1	3	0	1	2	9
Reparación por porosidad	1	0	2	4	0	1	8
Reparación por falta de cateto	3	2	5	0	2	4	16
Reparación de junta de placa	5	0	2	1	0	1	9
Reparación por falta de fusión	0	2	0	1	1	0	4
Reparación cordón mal acabado	2	0	1	3	0	1	7
Reparación por falta de penetración	6	4	3	2	5	4	24
TOTAL	24	11	20	14	13	16	98

Nota: datos del periodo anterior a la implementación (julio-diciembre 2019)

A partir de los registros mensuales, se elaboró una lista de frecuencia de fallas, la cual se muestra en la Tabla 7 y se representa en la Figura 8:

Tabla 7. *Frecuencia de Fallas en el proceso de soldadura*

Descripción de error y reparación	FRECUENCIA	FRECUENCIA ACUMULADA	%	% ACUMULADO
Reparación por falta de penetración	24	24	24.5%	24.5%
Reparación por socavación	21	45	21.4%	45.9%
Reparación por falta de cateto	16	61	16.3%	62.2%
Reparación de junta de placa	9	70	9.2%	71.4%
Reparación sobre monta	9	79	9.2%	80.6%
Reparación por porosidad	8	87	8.2%	88.8%
Reparación cordón mal acabado	7	94	7.1%	95.9%
Reparación por falta de fusión	4	98	4.1%	100.0%
TOTAL	98		100%	

Nota: datos del periodo anterior a la implementación (julio-diciembre 2019)

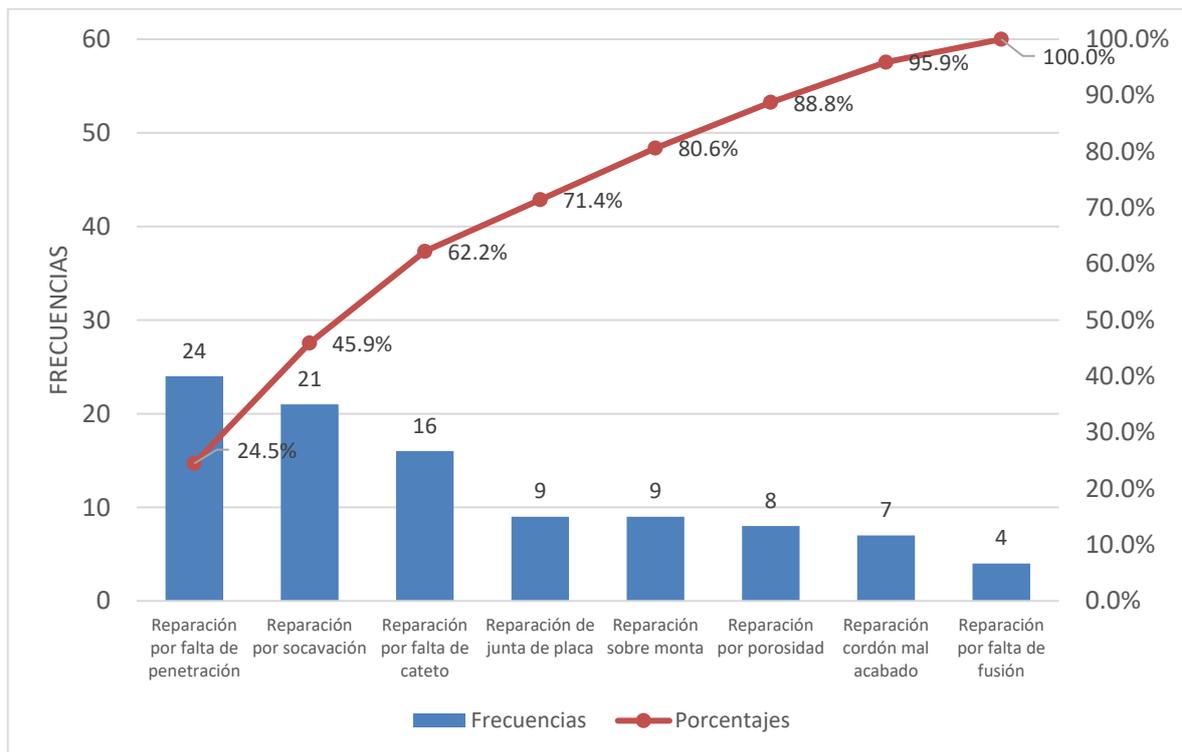


Figura 8 . Porcentajes de frecuencia de fallas en el proceso de soldadura.

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 8, son muchas las deficiencias que conllevan a reparaciones en el proceso de soldadura principalmente fallas por falta de penetración (24.49%), por socavación (21.43%) y falta de cateto (16.33%); este análisis permitió verificar la necesidad de realizar e implementar un procedimiento normalizado que permita eliminar toda la problemática existente en el proceso de soldadura de la empresa.

**Costos adicionales por reparación en el área de soldadura:** Según la tabla 8 y la Figura 9, costos por tipo de reparación en la empresa COCYMET del Sur SAC en el segundo semestre de 2019, se observan claramente las deficiencias en el área de soldadura; dichas deficiencias generan pérdidas económicas en la empresa y es por ello que se plantea la implementación de un procedimiento de soldadura en base la norma AWS D1.1 donde se

consideren los formatos de control de proceso con el fin de reducir al mínimo los costos de reparación con la consecuente mejora en el proceso de fabricación y en el producto final.

Tabla 8. *Costos por tipo de reparación de soldadura en la empresa.*

REPARACIÓN	CANTIDAD DE REPARACIÓN	COSTO UNITARIO (US\$)	COSTO TOTAL SEMESTRAL (US\$)
Reparación sobre monta	9.00	325.00	2,925.00
Reparación por socavación	21.00	260.00	5,460.00
Reparación por falta de penetración	25.00	319.00	7,975.00
Reparación por falta de fusión	6.00	585.00	3,510.00
Reparación por falta de cateto	16.00	263.00	4,208.00
Reparación de porosidad	10.00	495.00	4,950.00
Reparación de junta de placa	6.00	621.00	3,726.00
Reparación cordón mal acabado	5.00	297.00	1,485.00
	98.00		34,239.00

Nota: datos del periodo anterior a la implementación (julio-diciembre 2019)



Figura 9. Costo semestral por tipo de reparación de soldadura.

A partir de la información mostrada en la gráfica anterior los costos por reparación en el área de soldadura son significativos, en el análisis realizado durante los últimos seis meses

del año 2019, que refleja un monto total de reparaciones que asciende a la suma de \$34,829.00.

En cuanto a la productividad, en toda empresa es importante que las informaciones de cada proceso se reflejen con datos de producción, estos datos son de gran ayuda para realizar una proyección en su proceso de producción, para de luego poder determinar un tiempo de entrega hacia el cliente. Para el estudio, se realizó el cálculo de eficacia o cumplimiento, con los datos de acuerdo con la siguiente fórmula de proceso completo de producción:

$$\% \text{ de Proceso completo de produccion} = \frac{\text{Volumen producido}}{\text{Volumen planificado de produccion}} \times 100$$

*Ecuación 1. Niveles de producción*

Tabla 9. *Producción planificada y producida por la empresa.*

<b>MESES</b>	<b>PRODUCCIÓN PROYECTADA TN</b>	<b>CANTIDAD PRODUCIDA TN</b>	<b>% DE PRODUCCION LIBERADO</b>
JULIO	10,950	10,200	93.15 %
AGOSTO	12,890	12,490	96.90 %
SETIEMBRE	15,500	15,150	97.74 %
OCTUBRE	14,900	14,200	95.30 %
NOVIEMBRE	17,200	15,500	90.12 %
DICIEMBRE	13,400	11,500	85.82 %
<b>TOTAL</b>	<b>84,840</b>	<b>79,040</b>	<b>93.18 %</b>

Nota: datos del periodo anterior a la implementación (julio-diciembre 2019)

En la tabla 9 se analizó el porcentaje de elementos liberados para su respectiva entrega al cliente en el segundo semestre del año 2019. Se obtuvo como resultado que

existen deficiencias en el área de producción por las diferencias existente entre lo proyectado y lo realmente producido (93.18% en promedio), por lo que se verifica la necesidad de realizar una propuesta de mejora:

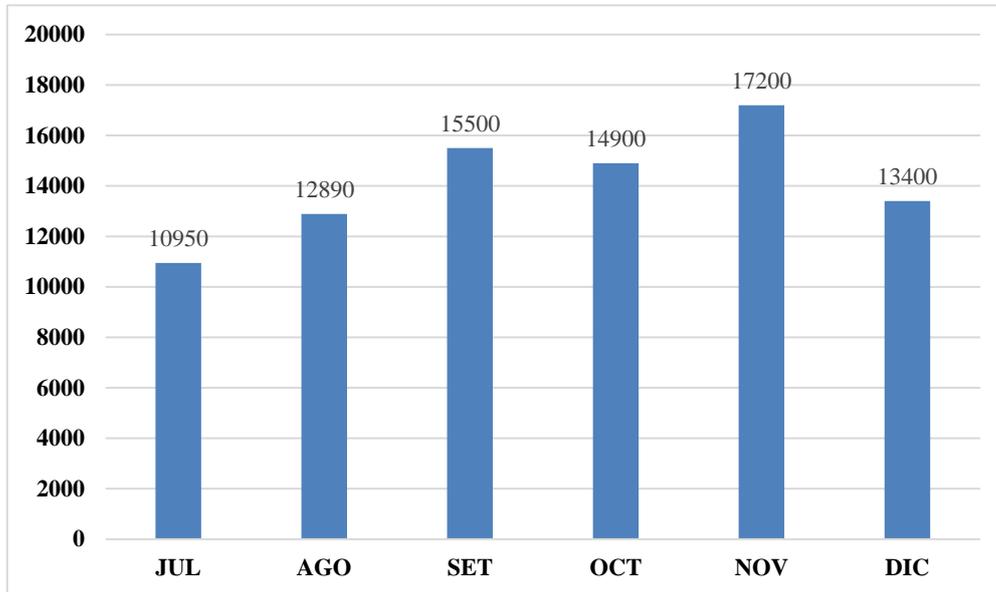


Figura 10. Situación inicial Produccion planificada por la empresa en el segundo semestre 2019

De acuerdo con la Figura 10, la producción proyectada de la empresa es de un promedio de 14,140 toneladas en el segundo semestre de 2019.

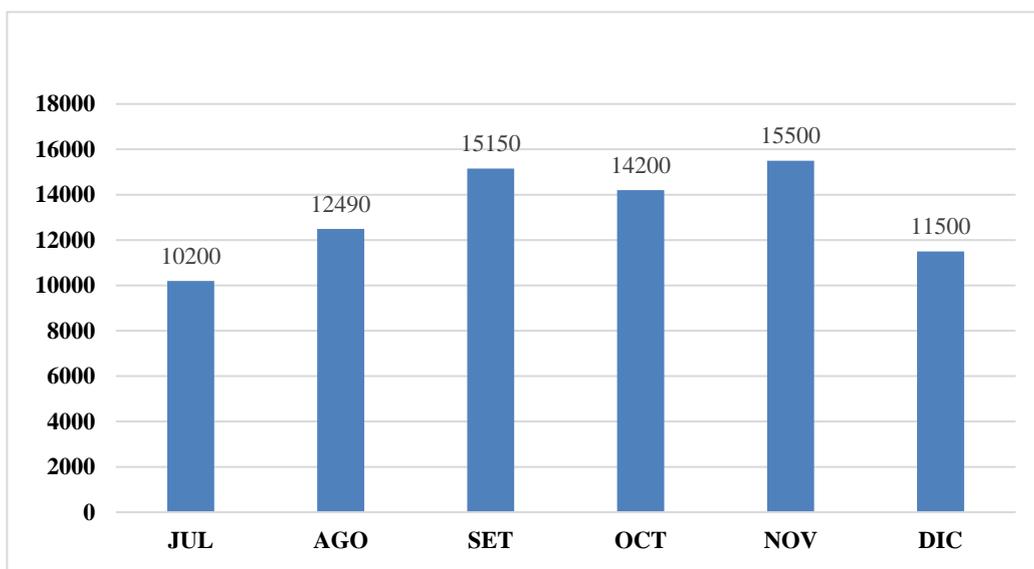


Figura 11. Situación inicial. Producción de la empresa en el segundo semestre 2019.

De acuerdo del cuadro y el diagrama la producción de la empresa es un promedio de 13,173 en los seis meses que esto refleja una diferencia porcentaje que no se llega cumplir el proyectad, que asciende a 5,800 toneladas en el periodo de observación.

Finalmente, en lo que respecta a la calidad, en la Tabla 10 se hace una relación de la producción realizada con la producción conforme (aquella que cumple con los requisitos de calidad establecidos por la empresa para satisfacer al cliente).

Tabla 10. *Producción liberada y producción que cumple con requisitos de calidad.*

<b>MESES</b>	<b>PRODUCCIÓN LIBERADA TN</b>	<b>PRODUCCIÓN APROBADA POR CALIDAD TN</b>	<b>% DE CALIDAD</b>
JULIO	10,200	9,640	94.51%
AGOSTO	12,490	12,120	97.04%
SETIEMBRE	15,150	14,850	98.02%
OCTUBRE	14,200	13,950	98.24%
NOVIEMBRE	15,500	14,860	95.87%
DICIEMBRE	11,500	11,050	96.09%
<b>TOTAL</b>	<b>79,040</b>	<b>76,470</b>	<b>96.75%</b>

Nota: datos del periodo anterior a la implementación (julio-diciembre 2019)

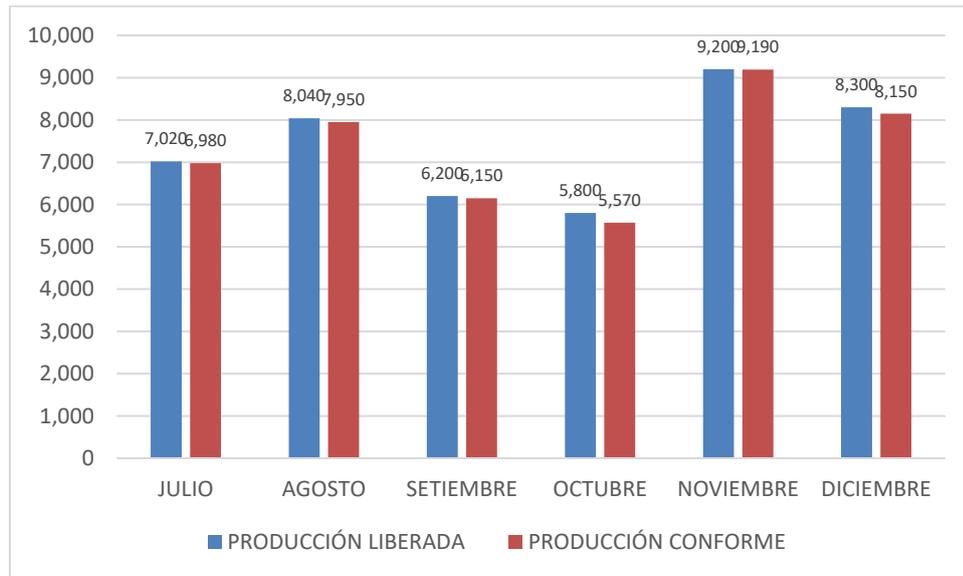


Figura 12 Producción liberada y producción que cumple con requisitos de calidad.

De acuerdo con la tabla 10 y la Figura 12 el porcentaje del promedio de elementos liberados con los requisitos de calidad para su entrega al cliente es 96.75% que esto refleja a 2.570 toneladas que se dejan de liberar por defectos en el área de soldadura.

## Mejora de los procesos de soldadura en la empresa Corporación COCYMET del Sur S.A.C.

### Fase 1. Planear

La propuesta de mejora en el proceso de soldadura según los análisis realizados se recomendó a la empresa Corporación COCYMET del Sur S.A.C. se enfatizó el cumplimiento de todas las normas internacionales y estrategias operativas en el área de soldadura. Para esto con una visión de mejora y que la empresa este dentro de la competencia se realizó un procedimiento de control de WPS y PQR que debe enmarcar los siguientes

supuestos con la metodología definida para el proceso de fabricación de elementos en el área de soldadura:

- a. Determinar la necesidad de requerir un WPS y preparación de documentos.
- b. Los elementos por fabricar en la industria son los siguientes: Estructuras metálicas tuberías, tanques y puentes.
- c. Las empresas del rubro industrial metalmecánica en el sector de fabricación y montaje de estructuras metálicas tuberías, tanques y puentes, en centro minero, Hidrocarburo, sector industrial y transporte y comunicación. Es de tan importancia el cumplimiento la aplicación de un procedimiento en el área y controlar por el intermedio del departamento de calidad.

#### **Actividades incluidas en el plan de mejoras.**

Según el análisis realizado en las tablas y plasmado en el diagrama de Ishikawa, se procedo a plantear el siguiente sistema de mejora según el análisis en el área de soldadura que se requiere de un procedimiento WPS. Los datos y la lluvia de ideas realizados permitieron plantear la mejora con el procedimiento indicado. La secuencia que debe seguir para un proceso de mejora de soldadura es el siguiente (Ver Figura 13):

1. Reconocimiento del material a soldar
2. Selección del capítulo de la norma a utilizar
3. Elaboración del procedimiento de soldadura
4. Aprobación del procedimiento
5. Preparación de la probeta
6. Calificación del soldador
7. Inspección visual
8. Ensayos requeridos
9. Registro de calificación



Figura 13. Secuencia que debe seguir para un proceso de mejora de soldadura.

Para la implementación del plan de mejoras se elaboró un cronograma desarrollado entre los meses de enero y febrero del año 2020, en una duración de ocho semanas, tal como se describe en la Tabla 11:

Tabla 11. Cronograma de ejecución del plan de mejoras

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR	D	2020							
		ENERO				FEBRERO			
		1	2	3	4	5	6	7	8
Programación de actividades de mejora	3	X							
Instalación de oficina técnica	5	X	X						
Organización de cronograma de capacitación	2		X						
Convocatoria para el puesto de inspector nivel II	3		X						
Capacitación del personal de soldadura	6			X	X				
Elaboración de formatos de seguridad	2				X				
Creación de formatos bajo la norma AWS	2				X				
Calibración de equipos	7				X	X			
Prueba piloto	20					X	X	X	X
Evaluación de resultados	2								X

D= número de días programados para cada actividad.

### Actividad 1. Definición de los parámetros de los protocolos de la metodología WPS.

**Proyecto de fabricación:** Es el procedimiento que realiza la empresa es donde el cliente entrega las pautas y las especificaciones de todo los recursos y materiales a usar. Por lo tanto, de cada proyecto se recopilarán especificaciones datos de material necesarias tales como la materia prima soldadura a usar, tipos de junta ensayos no destructivo o ensayos destructivos considerado en cada proyecto, esto servirá para el desarrollo de la metodología de procedimiento a desarrollar, para esto se cuenta con una cantidad de material acero al

carbono clasificado según la norma ASTM, por lo tanto, para este proyecto se tomará en cuenta el acero al carbono A-36 (Ver Tabla 12):

Tabla 12. *Clasificación de materiales de acuerdo con la Norma ASTM*

Clasificación de los aceros, según ASTM	Limite elástico (MPA)	Tensión de rotura (MPA)
ASTM A56	250	400-550
ASTM A53	Grado B	> 415
ASTM A53	Grado B	>415
ASTM A131 E	Gr A8, C8, D. DS,	400-490
ASTM A139	Grado B	>415
ASTM A381	Grado Y35	>415
ASTM A500	Grado A	>310
	Grado B	>400
ASTM A501		>400
ASTM A516	Grado 55	380-515
	Grado 60	415-550
ASTM A524	Grado I	415-586
	Grado II	380-550
ASTM A529		415-550
ASTM A570	Grado 30	>340
	Grado 33	>360
	Grado 36	>365
	Grado 40	>380
	Grado 45	>415
	Grado 50	>450
ASTM A709	Grado 36	400-550
API 5L	Grado B	>415
	Grado X42	>415

## **Definición de las características del material**

**Acero al carbono:** la composición química de los aceros al carbono es compleja, ya que además del hierro y el carbono (que generalmente no supera el 1%), hay en la aleación la presencia de otros elementos necesarios para su producción como el silicio o el manganeso, y hay otros que se consideran impurezas por la dificultad de excluirlos totalmente, tales como azufre, fósforo, oxígeno e hidrógeno. El aumento del contenido de carbono en el acero eleva su resistencia a la tracción, incrementa el índice de fragilidad en frío y hace que disminuya la tenacidad.

**Estado de suministro:** Bruto de laminación.

**Tolerancias:** A.S.T.M. A-36 siglas en inglés (American Society for testing and Materials) que significa, Sociedad Americana para Pruebas de materiales, no obstante, existen otras normas reguladoras del acero, con gran aplicación internacional, como las normas americanas AISI (American Iron and Institute) normas alemanas DIN, O LA ISO 3506. En este proyecto trabajaremos con la norma A.S.T.M.A.

**Características:** acero al carbono, el acero ASTM A36 es una de las variedades más comunes en parte debido a su bajo costo, ofrece una excelente resistencia y fuerza para un acero bajo en carbono y aleación. El acero A36, tiene una densidad muy favorable y buena soldabilidad en la fabricación de vigas estructuras puentes, y depósitos de combustible.

**Aplicaciones:** las intervenciones directas son en las construcciones de Estructuras para el sector minero, hidrocarburo, sector industrial, y transportes y comunicaciones que son los siguientes. Tanques, puentes, torres soportadas y ventadas. Ver propiedades en Tabla 13:

Tabla 13. *Propiedades del acero ASTM A36*

<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>			
<b>Esfuerzo Fluencia</b>		<b>Esfuerzo tracción (Kg/mm<sup>2</sup>)</b>	
(Kg/mm <sup>2</sup> )	Mpa	(Kg/mm <sup>2</sup> )	
25,5 (min)	250 (min)	40,8 (min)	
<b>PROPIEDADES QUÍMICAS (MÁXIMOS)</b>			
% C	% SI	% P	% S
0,26 %	0,40%	0,040%	0,050%
<b>VALORES MÍNIMOS ESTABLECIDOS POR LA NORMA</b>			
Límites de fluencia	36000 lbs/pulg <sup>2</sup>		
Resistencia a la tracción	58,000-80,000 lbs/pulg <sup>2</sup>		
% de Alargamiento	20 %		

En esta parte se indica al respecto del acero al carbono, el acero ASTM A36 es una de la variedad más común usados en Perú debido a su bajo costo. Y de luego ofrece una excelente resistencia y fuerza para un acero al bajo en carbono y aleación. El aceró A36, tiene una densidad de 7860 kg/m<sup>3</sup> (0.28 lb/in<sup>3</sup>).

**Código y el capítulo la norma AWS:** Para realizar un procedimiento de soldadura es de mucha importancia la identificación de la calidad del tipo de material y de la construcción a soldar, para esto la selección del código será lo más adecuada que requiera la norma (Ver Tabla 14):

Tabla 14. *Clasificación del procedimiento*

Especificación	Descripción
Alcance	El documento presentado incluye los requisitos necesarios para la elaboración e instalación de estructura de aceros de manera tal que cuando se estipule en el contrato con el cliente se exige su estricto cumplimiento con la excepción de que ellas especificaciones eximidas de manera específica por el ingeniero o la contratación.
Requerimiento general	Esta sección contiene información básica sobre el alcance y las limitaciones del código, las definiciones clave y las principales responsabilidades de las partes involucradas en las construcciones de acero. (código de soldadura de estructura- acero AWS D1.1 2015)
Diseño de conexiones soldadas	Esta sección contiene los requisitos para el diseño de conexiones soldadas compuestas de miembro tubular o no tubular. (código de soldadura de estructura- acero AWS D1.1 2015)
Precalificación de las WPS	Esta sección contiene los requisitos para eximir una WPS (Especificación del procedimiento de soldadura) de los requisitos de calificación de la WPS es de este código. (código de soldadura de estructura- acero AWS D1.1 2015)
Calificación	Esta sección contiene los requisitos para calificación de la WPS y las pruebas de calificación de rendimiento que debe aprobar todo el personal de soldadura (soldadores, operadores de soldadura y soldadores punteadores) para realizar la soldadura de conformidad con este código (código de soldadura de estructura- acero AWS D1.1 2015)

Especificación	Descripción
Fabricación	Esta sección contiene los requisitos generales de fabricación y montaje aplicables a estructuras de acero soldadas que se rigen por este código, incluidos los requisitos para metales base, consumibles de soldadura, técnicas de soldadura, detalles soldados, preparación de material y montaje, mano de obra reparación de soldadura y otros requisitos. (código de soldadura de estructura- acero AWS D1.1 2015)
Inspección	Esta parte incluye los criterios para calificar inspectores, la aprobación de la soldadura de producción y las acciones estándar para llevar a cabo inspecciones visuales y ensayos no destructivos (NDT).
Refuerzo y reparación de estructuras existentes.	Esta sección contiene la información básica relacionada con la modificación o la reparación por soldadura de estructuras de acero existente. (código de soldadura de estructura- acero AWS D1.1 2015)
Estructuras tubulares	Esta sección contiene requisitos exclusivos para estructura tubulares. Asimismo, los requisitos de las demás secciones se aplican a las estructuras tubulares, a menos que se especifique lo contrario. (código de soldadura de estructura- acero AWS D1.1 2015)

### **Elaboración del procedimiento de soldadura de acuerdo con la metodología WPS**

La especificación de procedimiento de soldadura preliminar de organiza de acuerdo con el material considerado, y de acuerdo con la norma considerada para esta propuesta de implementación se usará la norma AWS D1.1. Las consideraciones para seleccionar y elaborar un WPS son las siguientes (Ver Tabla 15):

Tabla 15. *Consideraciones para seleccionar y elaborar un WPS*

Especificación	Descripción
Material base	Se necesita especificar el tipo de material el grupo al cual pertenece su espesor el grado de material y sus respectivos diámetros.
Diseño de junta	en esta operación se debe definir el tipo de Junta así como la soldadura y las actividades básicas para llevar a cabo el diseño de juntas tales como el ángulo de ranura la limpieza y el método a emplear.
Material de Aporte	Se requiere la especificación y calificación AWS y definición si se usará electrodo revestido o alambre sólido.
Técnica	es necesario hacer referencia de la temperatura con la cual se va a hacer el precalentamiento del material el tipo de progresión si es necesaria la realización de limpieza entre cada pase y el método con el cual se va a llevar a cabo esta limpieza.
Características Eléctricas	Se indica la forma de transferencia y la corriente a emplear.
Protección	En esta operación se debe determinar el tipo de gas que se va a utilizar en la operación cómo está compuesto y su velocidad de flujo.
Habilidad de soldador	En esta parte el operario cumplirá los parámetros estipulados en las especificaciones.
Equipos	Se indica que el equipo será calibrado para todos los procesos del proyecto.

En la Figura 14 se muestra Formato WPS es donde se llevará un control de parámetros y variables.

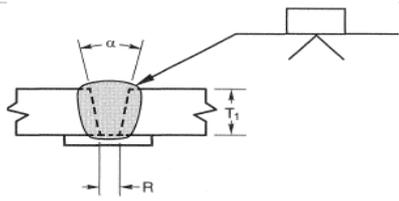
		<b>ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ( WPS )</b> (De acuerdo al Código de Soldadura Estructural AWS D1.1M/D1.1:2015)		Código	WPS-4.02																																												
				Revisión	0																																												
				Fecha	17-06-2020																																												
<b>WPS Rev. 0</b>				Hoja	1 de 1																																												
<b>DATOS GENERALES</b>			<b>PROTECCION</b>																																														
Nombre de la compañía : _____			Gas <input checked="" type="checkbox"/> Composición : <b>Ar 80% - CO2 20%</b>																																														
Identificación N° : <b>WPS-D1.1-1G-548</b> Rev. : <b>0</b>			Velocidad de Flujo : <b>15 - 25 L/min</b>																																														
Fecha : <b>1/10/2020</b>			Fundente <input type="checkbox"/> Composición : _____																																														
Elaborado por : _____			Nombre comercial del fabricante : _____																																														
PQR de soporte N° : <b>PRE-CALIFICADO</b>			Electrodo-Fundente (Clasificación AWS) : _____																																														
<b>PROCESO DE SOLDADURA</b>			Diámetro de tobera : <b>16 mm</b>																																														
Proceso(s) de soldadura : <b>GMAW</b>			<b>POSICION</b>																																														
Tipo : Manual <input type="checkbox"/> Semi-automático <input checked="" type="checkbox"/>			Posición : Ranura : <b>Plana</b>																																														
Máquina <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/>			Filete : <b>Plana</b>																																														
<b>DISEÑO DE JUNTA</b>			Progresión vertical : Ascendente <input type="checkbox"/> Descendente <input type="checkbox"/>																																														
Tipo : <b>Junta a T-ope -V</b>			<b>CARACTERISTICAS ELECTRICAS</b>																																														
Designación : <b>B-U2a-GF</b>			Modo de transferencia (GMAW) : Globular <input type="checkbox"/> Spray <input checked="" type="checkbox"/>																																														
Soldado : Por un solo lado <input checked="" type="checkbox"/> Por ambos lados <input type="checkbox"/>			Corriente : CA <input type="checkbox"/> CCEP <input checked="" type="checkbox"/> CCEN <input type="checkbox"/> Pulsado <input type="checkbox"/>																																														
Respaldo (Backing) : Si <input type="checkbox"/> Material : <b>GROUP I</b>			Distancia del tip a la pieza de trabajo (Stick Out) : <b>12 - 25 mm</b>																																														
No <input checked="" type="checkbox"/>			Otro : _____																																														
Preparación de ranura : Abertura de raíz ( R ) : <b>6 mm</b> Toler. : <b>0, +6 mm</b>			<b>PRECALENTAMIENTO</b>																																														
Tamaño de talón ( f ) : <b>0 mm</b> Toler. : <b>0 mm</b>			De acuerdo a la AWS D1.1																																														
Angulo de ranura ( $\alpha$ ) : <b>45°</b> Toler. : <b>+10°, -5°</b>			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Espesor (mm)</th> <th>T° precalentamiento, mín. (°C)</th> <th>T° interpases, mín. (°C)</th> <th>T° interpases, máx. (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20</td> <td>25</td> <td>25</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>			Espesor (mm)	T° precalentamiento, mín. (°C)	T° interpases, mín. (°C)	T° interpases, máx. (°C)	20	25	25	250																																				
Espesor (mm)	T° precalentamiento, mín. (°C)	T° interpases, mín. (°C)	T° interpases, máx. (°C)																																														
20	25	25	250																																														
Radio ( J - U ) : _____ Toler. : _____			Nota : _____																																														
Saneado de raíz (Backgouging) : Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			Método de precalentamiento : <b>Sopleton</b>																																														
Método : _____			Mantenimiento del precalentado : _____																																														
<b>ESQUEMA</b>			<b>TECNICA</b>																																														
			Cordón rectilíneo (arrastre) u oscilante : <b>Ambos</b>																																														
			Multi-Pase o Pase Simple (por lado) : <b>Múltiple</b>																																														
			Simple o multi electrodos : <b>Simple</b>																																														
			Espaciado de electrodos : Longitudinal <input type="checkbox"/> Lateral <input type="checkbox"/> Angulo <input type="checkbox"/>																																														
			Limpieza inicial : <b>Si</b>																																														
			Limpieza interpases : <b>Esmerilado de traslapes de cordones y escobillado</b>																																														
<b>METAL BASE</b>			<b>TRATAMIENTO TERMICO POSTSOLDADURA</b>																																														
Especificación : <b>GRUPO I y II, Tabla 3.1 AWS D1.1</b>			Temperatura : _____ Tiempo de retención : _____																																														
Tipo o Grado : _____			Velocidad de calentamiento/enfriamiento : _____																																														
Espesor : Ranura : <b>3 - Ilimitado</b>			<b>APORTE TERMICO (HEAT INPUT)</b>																																														
Filete : <b>3 - Ilimitado</b>			Valor del aporte térmico calculado (kJ/mm)																																														
Diámetro ( tubería ) : <b>20 - 100 mm</b>			Aporte térmico máximo : _____ Aporte térmico mínimo : _____																																														
<b>METAL DE APORTE</b>			<b>PARAMETROS DE SOLDEO</b>																																														
Especificación AWS : <b>A5.1</b> Clasificación AWS : <b>ER70S-6</b>			<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pase(s) o Capa(s)</th> <th rowspan="2">Proceso(s)</th> <th colspan="2">Metal de Aporte</th> <th colspan="2">Corriente</th> <th rowspan="2">Voltaje (V)</th> <th rowspan="2">Velocidad de avance (cm/min)</th> </tr> <tr> <th>Clasificación AWS</th> <th>Diám (mm)</th> <th>Tipo y Polaridad</th> <th>Amperaje (A) ó Velocidad de alimentación del alambre (in/min)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>GMAW</td> <td>ER70S-6</td> <td>1.0</td> <td>CCEP(+)</td> <td>185 - 225</td> <td>27 - 31</td> <td>25 - 40</td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> </tbody> </table>			Pase(s) o Capa(s)	Proceso(s)	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (cm/min)	Clasificación AWS	Diám (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A) ó Velocidad de alimentación del alambre (in/min)	1	GMAW	ER70S-6	1.0	CCEP(+)	185 - 225	27 - 31	25 - 40																								
Pase(s) o Capa(s)	Proceso(s)	Metal de Aporte		Corriente				Voltaje (V)	Velocidad de avance (cm/min)																																								
		Clasificación AWS	Diám (mm)	Tipo y Polaridad	Amperaje (A) ó Velocidad de alimentación del alambre (in/min)																																												
1	GMAW	ER70S-6	1.0	CCEP(+)	185 - 225	27 - 31	25 - 40																																										
Nombre comercial del fabricante : _____																																																	
<b>APROBACION FINAL</b>																																																	
V°B° SUPERVISOR			V°B° CONTROL DE CALIDAD																																														

Figura 14. Registro de un WPS. (AWS D1.1 2015).

**Definición de material de aporte:** para la propuesta de mejora se define la siguiente materia, EXATUB E71T.1 es un alambre tubular para aplicar en toda posición para diversas calificaciones del soldador, de modo está diseñado para trabajar con CO<sub>2</sub> como gas protector. El EXATUB E71T.1 en comparación con alambre tabules autoprottegidos generan un menos nivel de humos y brinda buenas propiedades frente a la resistencia al impacto s trabajar a baja temperaturas, para esto también se considera la buena apariencia en acabado y de fácil remoción de escoria (Ver Tabla 16).

Tabla 16. *Características del material de aporte para el proceso de soldadura.*

<b>CLASIFICACIÓN</b>				
AWS A5.20/ ASME SFA-5.20			E71T.1C/9C	
<b>Análisis químico de material depositado (valores típicos) %</b>				
C	Mn	Si	P	S
0,5	1,4	0,52	0,013	0
<b>Propiedades mecánicas del material depositado</b>				
Resistencia a la tracción	Límite de fluencia	Elongación en 2 “	Energía absorbida ISO-V	
Min 578 Mpa.	Min. 529 Mpa	Min. 30 %	100 J (20°C)	
<b>Conservación del producto</b>				
*Mantener en un lugar seco y evitar la humedad				
<b>Parámetros de soldeo recomendados</b>				
Diámetro (mm)	1.2		1.6	
Polaridad	Corriente Continua Electrodo al Positivo (DCEP)			
Amperaje (A)	140-320		200-380	
Voltaje (V)	22-35		25-36	
Atick out (mm)			15-25	
Flujo de Gas (l/min)			15-25	
<i>Fuente: www.Soldexa.com.pe (2020)</i>				

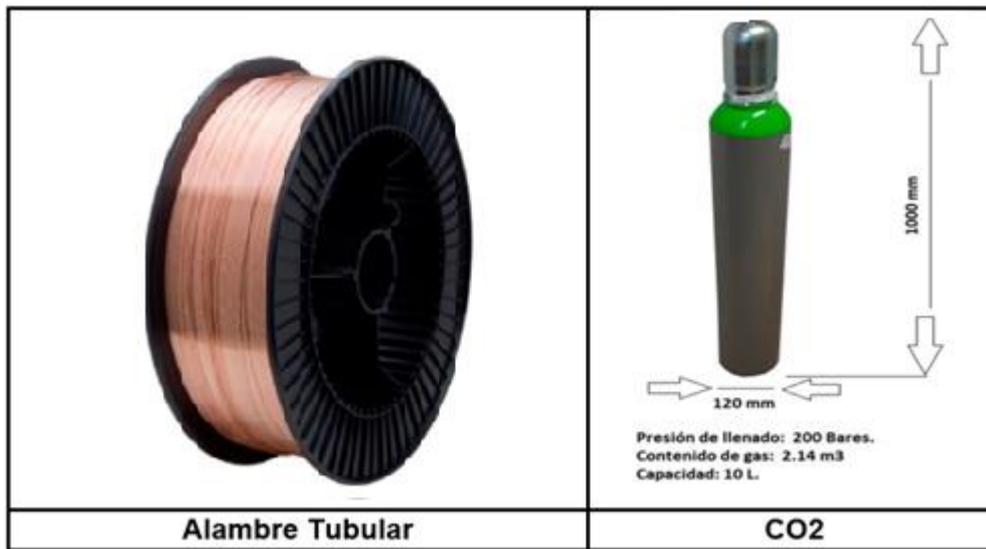


Figura 15. Alambre y gas utilizado para el proceso de soldadura.

**Tipo de Bisel:** el biselado o corte en bisel, generalmente es un proceso preparatorio para posteriores amado y operaciones de soldadura (Ver Figura 16).

TIPOS DE BISEL						
BISEL ESCUADRA	BISEL TIPO "J"	BISEL UNICO	BISEL EN "X"	BISEL EN "V"	DOBLE BISEL	BISEL TIPO "U"

Figura 16. Tipos de bisel.

**Tipos de Probetas:** Es frecuente en este tipo de procesos las juntas soldadas, entendidas como áreas en la que el material de relleno se utiliza para unir materiales metálicos. En esta área es importante el control de las juntas para un proceso correcto; los controles que se tienen que tener en cuenta son los siguientes.

- a. Medidas: según indicaciones del procedimiento y el plano del cliente.
- b. El biselado: según el grado indicado en el plano.
- c. Limpieza en el área a soldar: quitar todos los agentes contaminantes.

Al terminar el ensamblaje será inspeccionado por el área de calidad según la especificación, la probeta será fijado de acuerdo con la posesión requerida en el WPS.

**Junta a Tope:** es la operación que se realiza para soldar objetos que se encuentran en un mismo plano que puede ser bordes cuadrados que tienen forma de V o de U dependiendo de su perfil y de la aplicación que va a tener.

**Junta de Esquinas:** estas juntas son más sencillas y fuertes para realizar la soldadura, que se usan para unir dos objetos de un Angulo de  $90^\circ$  de la forma que esto solo se toquen sobre un borde biselado.

**Junta de Borde:** la junta es tan similar a la junta de tope que se usan en dos objetos entre los bordes de distribución vertical.

**Junta Traslape:** este tipo de juntas se utilizan comúnmente para superponer dos objetos que en realidad no reposan directamente uno sobre otro.

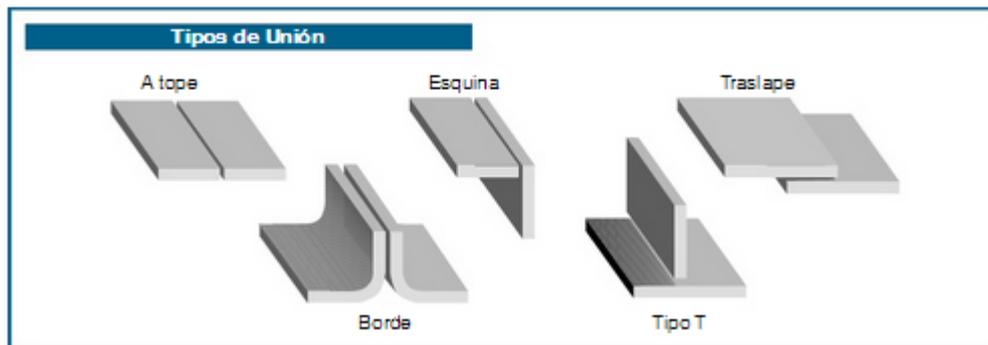


Figura 17. Tipos de Juntas de soldadura

**Posicionamiento en el proceso de soldadura.** Es la posición en los distintos planos de los elementos a soldar en estructuras metálicas, dentro de los cuales tenemos los siguientes: Plana, Vertical, Horizontal y Sobre Cabeza. De luego se elige la que se adecua para cada proyecto que se realizan y de luego mencionar en el WPS, según que se define se procede a realizar un procedimiento adecuado y bajo la norma AWS D1.1. Según las especificaciones de estructuras metálicas se considera de la implementación de la posesión (vertical y ascendente) en la calificación del soldador y las probetas se conoce como 3G.

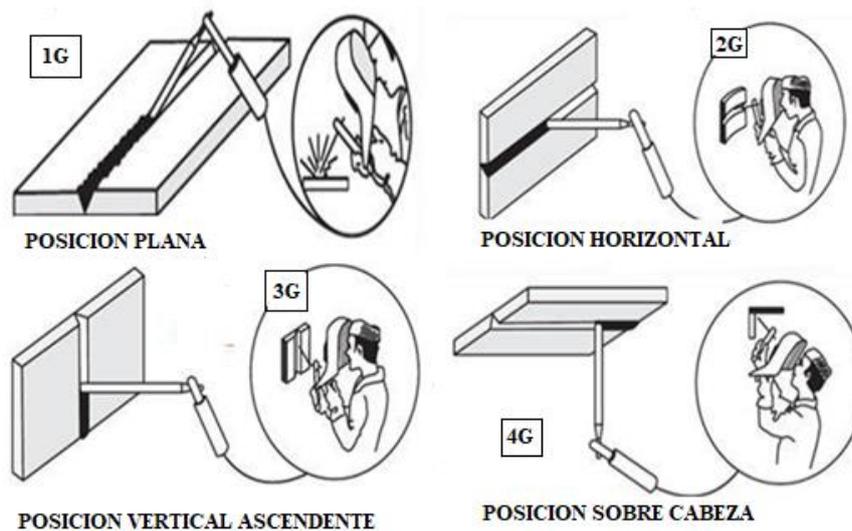


Figura 18.

Posiciones para el proceso de soldadura

### Actividad 3. Calificación del soldador y reconocimiento del material a soldar

La forma en cuál código y estándares permiten el logro de este objetivo es mediante la evaluación de la soldadura realizada por el operador en una situación controlada, para luego hacer la calificación respectiva tomando en cuenta las formas de inspección y los criterios establecidos para medir la calidad. los resultados de esta operación fueron registrados en un

documento que incluyó las variables utilizadas en la calificación y las condiciones bajo la cual se llevó el trabajo. con este propósito se muestra a continuación los pasos utilizados para la calificación de probeta:

**Pase Raíz:** antes de la ejecución del pase de raíz, observar que la fusión sea uniforme en la junta de bisel, se se debe emplear las técnicas de limpieza relacionadas con los bordes del material eliminación de óxido y grasa para evitar defectos en el producto final. En esta parte de pase raíz se controlaron los parámetros para evitar la fundición de raíz des colgamiento o charcos de soldadura en la parte posterior de la junta, si se finaliza con todas las precauciones se realizará una inspección considerando que no exista la falta de penetración y socavación, falta de fusión, poros, el inspector indicará a la conformidad para el siguiente proceso.

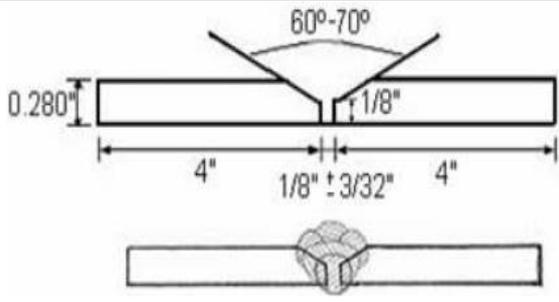
**Pase Relleno:** en esta parte se enfatizó la responsabilidad del soldador en la adecuación y revisión de la ranura del bisel del área de soldadura, para que esta se mantenga en condiciones óptima, antes de proceder a realizar el pase de relleno; si existiera algún contaminante se debe limpiar la superficie con la ayuda de un trapo adecuado, considerar que no se enfrié completamente el área de la soldadura y de ser necesario precalentar por encima de 65 °C.

**Pase de Acabado (o pase de presentación),** antes de aplicar el pase de acabado se verificó que la soldadura se encuentre en las condiciones adecuadas para después retirar los restos de escoria y verificar de manera detallada el contorno para que el pase de relleno no deje enfriar La Junta soldada y precalentar por encima de 50°C si esto es necesario, ajustar corriente y todos los parámetros del equipo para soldar el arco. Los parámetros de inspección se verá la tolerancia en la altura del cordón del acabado de 0 a 3mm, y el ancho no debe

sobre pasar 1.5mm en ambos lados del bisel, una vez terminado el inspector verificará la cara del cordón del acabado sea plana o ligeramente convexa, uniforme en ancho, alto, color de apariencia y emite concepto de aceptación o rechazo. Y de luego se debe colocar o el código del soldador con el fin de asignar la identificación o responsabilidad en los posibles defectos con el control de calidad a posterior.



Figura 19. Ejecución de una probeta de soldadura  
Fuente: Elaboración propia. (2020)

		<b>ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) NORMA AWS D1.1- 2015</b>		WPS	
				HOJA:	1 de 1
				EMISION:	2020
REVISION:	0				
<b>QW - 482- ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b>					
Nombre de la compañía <b>Cocymet Del Sur Sac.</b>			Elaborado por:		
Especificacion de Procedimiento		N°		NORBERTO PEREZ CHAVEZ	
		WPS- COCYMET DEL SUR SAC. FCAW-001-20			
Revision	N° 0	Fecha 1/04/2020	PQR de soporte Cocymet Del Sur sac. FCAW-001-20		
Proceso de soldadura	FCAW	Fecha 1/04/2020	Por: Luis Chirinos		
		Tipo <b>SEMIAUTOMATICO</b>			
<b>JUNTA (QW-402)</b>					
Diseño de Junta		<b>A TOPE BISEL EN "V"</b>			
Respaldo (SI) <input checked="" type="checkbox"/>		(NO) .....			
Material de Re: (Tipo)		<b>Cordon de Soldadura</b>			
<input type="checkbox"/> Materia		<input type="checkbox"/> Refractario			
<input type="checkbox"/> No Metalico		<input type="checkbox"/> Otros			
Esquema, dibujo de fabricacion Simbolos de soldadura o descripcionescrita debe mostrar el arreglo general de las partes ha de ser soldadas donde sea aplicable. La apertura de raiz y los detalles de la soldadura debe ser especificado.					
<b>METAL BASE</b>					
N° P: 1	Grupo N° 1	al N° P: 1	Grupo 1		
Especificacion de tipo y grado:		<b>A - 36</b>			
Hasta la especificacion de tipo y grado:					
Analisis quimico y propiedades mecanicas:		<b>AWS A5/ASME SFA - 5.20</b>			
Hasta el analisis quimico y propiedad:		<b>LRP 1620 - 14</b>			
Rango de Espesores:					
Metal base: Ranura:	Desde 3.0mm hasta 26.0mm		Filete:	<b>N.A</b>	
Diam. Tubo: Ranura:	.....		Filete:	<b>N.A</b>	
Otros					
<b>METAL DE APORTE (QW - 404)</b>					
PROCESO:	<b>FCAW</b>				
Especificacion N° (SFA)	<b>5.18</b>				
AWS No (Clase)	<b>E71T-1</b>				
N° F	<b>6</b>				
N° A	<b>1</b>				
Tamaño del Electrodo	<b>1.2mm</b>				
Metal depositado	.....				
Rango de Espesores	.....				
Ranura	<b>Hasta 26.0mm</b>				
Filete	.....				
Fundente (clase)	.....				
Nombre comercial	.....				
Inserto consumible	.....				
<b>APROBACION FINAL</b>					
<b>VºBº SUPERVISOR</b>			<b>VºBº CONTROL DE CALIDAD</b>		

*Figura 20. Especificación de procedimiento de soldadura (WPS)*

### **Definición de ensayos no destructivos y destructivos en la soldadura.**

**Ensayos No Destructivos:** se denomina ensayos no destructivos (también llamado END, o en inglés NDT de non destructive testing), las pruebas practicadas a los materiales de forma que no se altera sus cualidades mecánicas dimensionales físicas o químicas. En esta parte del proceso de inspección es importante la recopilación de datos de todos los ensayos que se realice, es donde se tomarán las decisiones ver que no existe ninguna alteración en las estructuras soldadas, los ensayos no destructivos suelen ser más baratos y de luego más usados por las empresas, por lo tanto, el propósito es detectar discontinuidades superficiales e internas en materiales, soldaduras, las estructura a inspeccionar son diversas como los siguientes, laminados, fundidos, forjados, y otras conformaciones.

**Ensayos destructivos:** estos ensayos se utilizan para verificar las propiedades de los materiales o probetas de soldadura, así como para asegurar que los soldadores y los procedimientos de soldadura cuenten con una calificación requerida. De igual manera es necesario realizar ensayos de material durante trabajos de reacondicionamiento o de reparación, especialmente cuando no se conocen la composición de los materiales.

**Tipo de ensayos requeridos para este proyecto:** Los ensayos que se definen para este proyecto tienen como objetivo el determinar los aspectos más importantes del material soldado según su contenido de especificación de cada ensayo; en esta parte se enfatiza el cumplimiento de las características y parámetros de la WPS. Detalles sobre los requisitos de ensayo mecánico y NDT individuales se encuentran en las siguientes subsecciones:

- a. Ensayo visual (VT) de WPS.
- b. Ensayo con Líquido Penetrante (PT)
- c. Doble cara raíz de WPS.

**Inspección visual de Probeta (VT)**, este método se considera una inspección no destructiva, por lo tanto, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos par un resultado de conformidad.

- a. En una inspección visual se observa un cordón uniforme, esto debido a una buena técnica empleado, y un control adecuado de los parámetros de amperajes.
- b. No muestra ninguna alteración a la aplicación de calor y fusión en el área de soldadura en la parte base.
- c. La soldadura no presentar ninguna apariencia que altere la uniformidad.
- d. La junta no presenta solapes fisuras y socavación mayor a 1mm.
- e. La junta de soldadura no presenta porosidades visibles en la superficie de la probeta.
- f. Si la probeta cumple con todo el requerimiento procederá al siguiente ensayo requerido como son los ensayos no destructivos y ensayos destructivos (Ver Tabla 17)

Tabla 17. *Ventajas, desventajas y aplicaciones de la inspección visual de probeta (VT).*

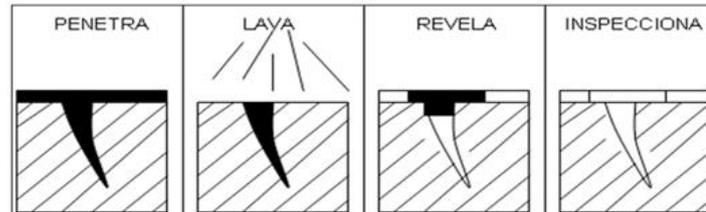
<b>INSPECCIÓN VISUAL DE PROBETA (VT)</b>		
<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>APLICACIONES</b>
Es relativamente fácil de usar en comparación con otros métodos más complicados.  Se pueden utilizar elementos visuales para mejorar su desempeño.	La confiabilidad depende en gran medida de la capacidad y conocimiento de los operadores  Se necesita acceso que permita la visibilidad directa del área trabajada.	Permite detectar los daños superficiales falta de continuidad o desperfectos estructurales en los materiales empleados.

**Inspección con Líquido Penetrante (PT):** consiste en la aplicación de líquidos por encima del material a examinar de manera tal que penetre por efecto de la capilaridad en las fallas presentes en la soldadura, entre las cuales pueden suceder poros o fisuras. Con este propósito existen dos tipos de materiales penetrantes (fluorescentes y no fluorescentes), aunque estos últimos son los más utilizados y fue el que se empleó en la prueba del procedimiento



Kit de Líquidos Penetrantes.

Spray aplicado en Probeta.



Acción del spray aplicado en el Acero.

Figura 21. Prueba con líquidos penetrantes

**Aplicación del líquido penetrante:** el líquido penetrante se aplica por pulverizado uniformemente sobre la superficie de la probeta (spray), se dejará actuar de 10 a 30 minutos, tiempo estimado para la probeta soldado, que comúnmente es un pigmento de color rojo. De modo informativo, el líquido penetrante que se debe utilizar en los procesos de inspección debe tener características tales como:

- a. Tener resistencia a la evaporación.
- b. Que sea de fácil aplicación sobre superficies.
- c. Que tenga capacidad de penetración sobre orificios y grietas.
- d. Que pueda permanecer en aberturas más amplias.
- e. Que sea de tipo fluorescente o pueda mantener su color.
- f. que se haga difícil su eliminación una vez llevada a cabo la discontinuidad.
- g. que sea de fácil absorción.

**Eliminación de líquido sobrante:** se debe realizar una limpieza en la probeta con el objetivo de eliminar los sobrantes del líquido esto se puede llevar a cabo por inversión rociado o pulverización. Esta actividad deberá ser llevada a cabo por el inspector

**Aplicación del líquido revelador:** este líquido normalmente de color blanco se debe aplicar por inmersión, pulverizado o rociado con las extremas condiciones de seguridad debido a su volatilidad. después de aplicarse la zona de probeta que posean restos del líquido penetrante van a destacar a simple vista y se facilitará la observación de los defectos a evaluar

**Examen de la probeta:** los defectos en la soldadura se van a poder observar de manera clara en el material con el uso de líquidos fluorescentes y luz normal lo que permitirá la aparición de manchas rojas en las zonas defectuosas.

**Limpieza final de la probeta:** finalmente se hará la limpieza y eliminación de restos de líquidos penetrantes o reveladores para ello se utilizarán disolventes o detergentes dependiendo del caso.

Tabla 18. *Ventajas, desventajas y aplicaciones de la prueba con líquidos penetrantes*

PRUEBA CON LÍQUIDOS PENETRANTES		
VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
Simple de usar, preciso y de fácil interpretación, según la experiencia del inspector		Detección de grietas, fisura y discontinuidades superficiales de la probeta.

**Ensayo de doblado de probeta:** Las probetas para este tipo de ensayos destructivos serán macropulidas y redondeadas en las aristas paralelas al eje longitudinal con un radio de 1/16", para ello la probeta trabaja a la flexión cuando está sometida a la fuerza que tienden

a curvar sus ejes longitudinales y es lo que se realizara en el presente ensayo doblando las probetas 180°, hasta dejar como una herradura.

La probeta con ensayo de doblado pasa, si cualquier fisura o grieta o defecto abierto no excede de 3.175mm después de doblado. Para esto se deja en claro que no se considera las grietas en esquinas.

### **Evaluación de los resultados**

Una vez realizada la prueba piloto, se evaluaron los resultados de la producción durante un periodo de 30 días, para conocer si hubo mejoras en las actividades de soldadura. El primer registro realizado fue el control de fallas de soldadura, los cuales se reflejan en la Tabla 19, además se hace una descripción de las fallas detectadas en comparación con el promedio de fallas del segundo semestre de 2019. De acuerdo con los resultados obtenidos, se obtuvo una mejora del 75.5% en la cantidad de fallas presentadas en el proceso de soldadura, aunque persisten oportunidades de mejora en las siguientes actividades: reparación por socavación, reparación por sobre monta, reparación por falta de cateto y reparación por falta de penetración.

Tabla 19. Registro de fallas en el proceso de soldadura durante el periodo de evaluación

Descripción de error y reparación	Resultado	II-2019	Mejora
Reparación sobre monta	6	9	33%
Reparación por socavación	0	21	71%
Reparación de porosidad	0	8	100%
Reparación por falta de cateto	6	16	63%
Reparación de junta de placa	0	9	100%
Reparación por falta de fusión	0	4	100%
Reparación cordón mal acabado	0	7	100%
Reparación por falta de penetración	12	18	67%
<b>Total</b>	<b>24</b>	<b>98</b>	<b>75.5%</b>

Nota: datos del periodo posterior a la implementación (julio-diciembre 2020)

Costos adicionales por reparación en el área de soldadura: en la Tabla 20 se hizo una proyección de la reducción de costos de acuerdo con las mejoras obtenidas. Para ello se proyectan de manera semestral las fallas detectadas en el periodo de evaluación y se comparan con los costos incurridos en el último semestre del año 2019.

Tabla 20. *Costos por tipo de reparación de soldadura en la empresa.*

<b>REPARACIÓN</b>	<b>CANTIDAD DE REPARACIÓN</b>	<b>COSTO UNITARIO (US\$)</b>	<b>COSTO TOTAL SEMESTRAL (US\$)</b>	<b>PROYECCIÓN SEMESTRAL DE MEJORAS OBTENIDAS</b>	<b>COSTO SEMESTRAL DE REPARACIONES PROYECTADAS</b>	<b>VARIACIÓN SEMESTRAL (AHORRO EN REPARACIONES)</b>
Reparación sobre monta	9.00	325.00	2,925.00	6	567.00	-2,358.00
Reparación por socavación	21.00	260.00	5,460.00	0	567.00	-4,893.00
Reparación de porosidad	10.00	495.00	4,950.00	0	-	-4,950.00
Reparación por falta de cateto	16.00	263.00	4,208.00	6	787.20	-3,420.80
Reparación de junta de placa	6.00	621.00	3,726.00	0	-	-3,726.00
Reparación por falta de fusión	6.00	585.00	3,510.00	0	-	-3,510.00
Reparación cordón mal acabado	5.00	297.00	1,485.00	0	-	-1,485.00
Reparación por falta de penetración	25.00	319.00	7,975.00	12	2,322.00	-5,653.00
	98		34,239.00	12	4,243.20	-29,995.80

Nota: datos del periodo anterior a la implementación (julio-diciembre 2019) y después de la implementación (julio-diciembre 2020)

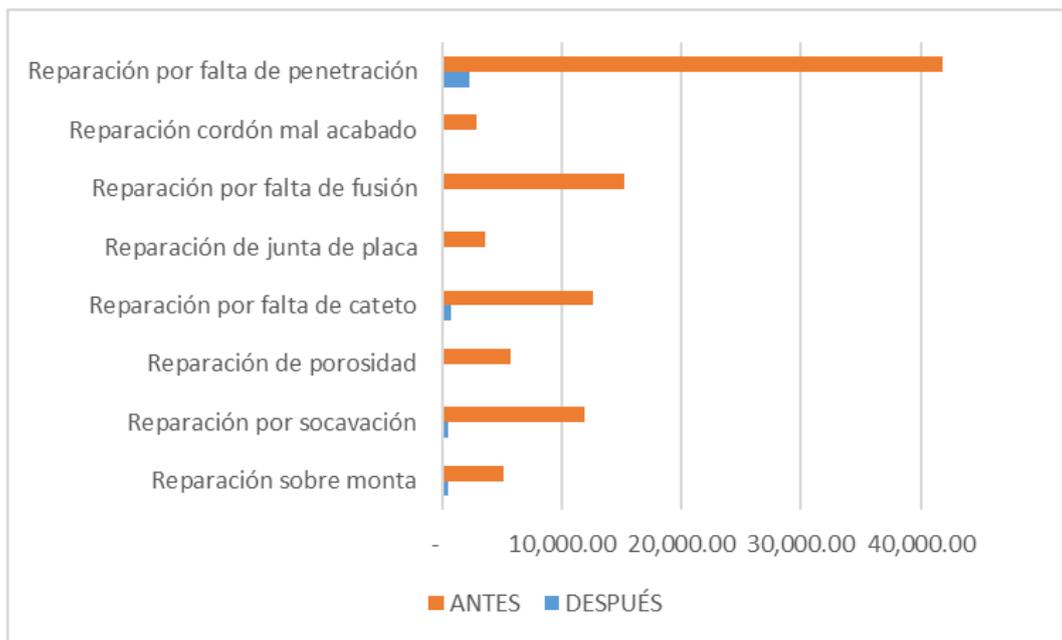


Figura 22. Ahorros proyectados por tipo de reparacion de soldadura.

A partir de la información mostrada en la gráfica anterior la proyección los costos por reparación en el área de soldadura disminuyeron en un 87,60%, hasta llegar a un monto proyectado de US\$ 4,243.00 semestrales.

En cuanto a los niveles de producción, en la Tabla 21 se muestra los índices de producción alcanzados en el período posterior a la implementación (julio a diciembre de 2020) para verificar si la implementación del procedimiento de especificación de soldadura contribuyó a mejorar los niveles de producción de la empresa:

Tabla 21. *Producción planificada y producida por la empresa posterior a la implementación del WPS.*

MESES	PRODUCCIÓN PLANIFICADA TN	CANTIDAD PRODUCIDA TN	% DE PRODUCCION LIBERADO
JULIO	7,100	7,020	98.87%
AGOSTO	8,400	8,040	95.71%
SETIEMBRE	6,500	6,200	95.38%
OCTUBRE	6,300	5,800	92.06%
NOVIEMBRE	9,600	9,200	95.83%
DICIEMBRE	8,700	8,300	95.40%
<b>TOTALES</b>	<b>46,600</b>	<b>44,560</b>	<b>95.62%</b>

Nota: El presupuesto de producción de la empresa fue reducido en 35% debido a las condiciones socioeconómicas y sanitarias existentes en el país. Nota: datos del periodo anterior a la implementación (julio-diciembre 2020)

En la tabla 21 se analizó el porcentaje de elementos liberados para su respectiva entrega al cliente en el segundo semestre del año 2020. Se obtuvo como resultado un incremento del 2.44% en comparación con los niveles de cumplimiento de la planificación de la producción para el segundo semestre del año 2020 (Ver Resumen en Tabla 22), lo que representa un incumplimiento de 2,040 toneladas.

Tabla 22. *Variaciones en la producción planificada y producida por la empresa antes y después de la implementación del WPS.*

PERIODO DE EVALUACIÓN	PRODUCCIÓN PLANIFICADA TN	CANTIDAD PRODUCIDA TN	% DE PRODUCCION LIBERADO
II-2019	84,840	79,040	93.18 %
II-2020	46,600	44,560	95.62%
VARIACIÓN			2.44%

En lo que respecta a la calidad, en la Tabla 23 se hace una relación de la producción realizada con la producción conforme (aquella que cumple con los requisitos de calidad establecidos por la empresa para satisfacer al cliente) alcanzados en el período posterior a la implementación (julio a diciembre de 2020)

Tabla 23. *Producción liberada y producción que cumple con requisitos de calidad posterior a la implementación del WPS.*

MESES	PRODUCCIÓN LIBERADA TN	PRODUCCIÓN APROBADA POR CALIDAD TN	% DE CALIDAD
JULIO	7,020	6,980	99.43%
AGOSTO	8,040	7,950	98.88%
SETIEMBRE	6,200	6,150	99.19%
OCTUBRE	5,800	5,570	96.03%
NOVIEMBRE	9,200	9,190	99.89%
DICIEMBRE	8,300	8,150	98.19%
<b>TOTAL</b>	<b>44,560</b>	<b>43,990</b>	<b>98.72%</b>

Nota: datos del periodo posterior a la implementación (julio-diciembre 2020)

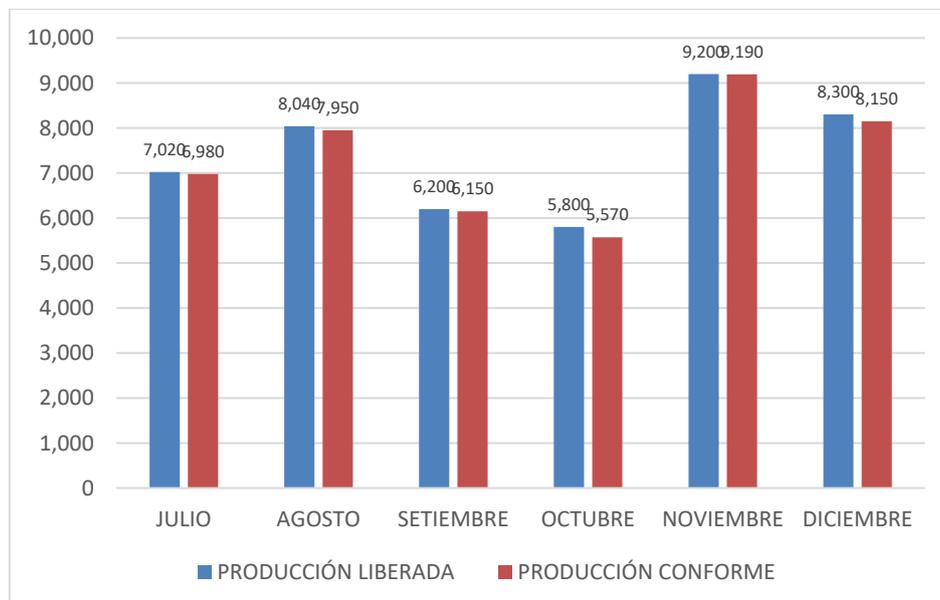


Figura 23. *Producción liberada y producción que cumple con requisitos de calidad posterior a la implementación del WPS.*

De acuerdo con la tabla 23 y la Figura 23 el porcentaje del promedio de elementos liberados con los requisitos de calidad para su entrega al cliente es 98.72% que esto refleja a 570 toneladas que se dejan de liberar por defectos en el área de soldadura, lo que se traduce en un incremento de la calidad en 1.97% (Ver Resumen en Tabla 24).

Tabla 24. *Variaciones en la Producción liberada y producción que cumple con requisitos de calidad posterior a la implementación del WPS.*

<b>PERIODO DE EVALUACIÓN</b>	<b>PRODUCCIÓN LIBERADA TN</b>	<b>PRODUCCIÓN APROBADA POR CALIDAD TN</b>	<b>% DE CALIDAD</b>
II-2019	79,040	76,470	96.75%
II-2020	44,560	43,990	98.72%
<b>VARIACIÓN</b>			<b>1.97%</b>

En la tabla 25 se muestran las variaciones en los principales indicadores utilizados para comparar los resultados en la gestión de soldaduras antes y después del proceso de mejora:

Tabla 25. *Variaciones en los indicadores antes y después de la implementación*

<b>Descripción</b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Variación</b>
<i>Registro de fallas en el proceso de soldadura (número de fallas)</i>	98	24	-75.5%
<i>Costos por tipo de reparación de soldadura en la empresa (USD)</i>	34,239.00	4,243.20	-87.6%
<i>% de producto liberado</i>	93.18%	95.62%	2.44%
<i>% de producto con requisitos de calidad aceptados</i>	96.75%	98.72%	1.97%

Los resultados indicados en la tabla 25 demuestran mejoras notables en cada 1 de los aspectos evaluados una reducción en un 75.5% en el registro de fallas en el proceso de soldaduras; disminución en 87.6% de los costos por reparación de soldaduras; un incremento del 2.44% en las cantidades de producto liberado; es decir, un incremento en los niveles de producción de la empresa con incremento en 1.97% de los niveles de calidad del producto liberado.

De igual manera, la implementación de los cambios permitió una mejora en los tiempos de ejecución, que se traduce en una reducción de 80 minutos en el tiempo total del proceso, tal cual como se muestra en la Figura 24.

CURSOGRAMA ANALÍTICO DEL PROCESO										
Hoja N° _____ De: _____ Diagrama N°: _1_		Operar. <input checked="" type="checkbox"/>		Mater. <input type="checkbox"/>		Maqui. <input type="checkbox"/>				
Proceso: Soldadura de estructuras metálicas		RESUMEN								
Fecha:		SÍMBOLO	ACTIVIDAD	Act.	Pro.	Econ.				
El estudio Inicia:			Operación	17	11	-35%				
Método: Actual: _____ Propuesto: X			Transporte	4	4	0%				
Producto:			Inspección	5	5	0%				
Nombre del operario:			Espera	3	3	0%				
Elaborado por: Norberto G. Pérez			Almacenaje	0	0	0%				
Tamaño del Lote:		Total de Actividades realizadas		29	23	-21%				
		Distancia total en metros		50	50	0%				
		Tiempo h/hombre		6.52	5.19	-20%				
NUMERO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	Cantidad	Distancia metros	Tiempo minutos	SÍMBOLOS PROCESOS					
										
1	Reconocimiento de material	1		10.2						
2	Transportar material área habilitado	1	15.0	15.0						
3	Corte, codificación y biselado	1		31.0						
4	Inspección de corte codificación y biselado	1		5.0						
5	Transporte al área de armado de estructura	1	10.0	10.0						
6	Inspección dimensional de armado de estructura	1		10.0						
7	Transportar al área de soldadura	1	5.0	5.0						
8	Soldador se pone los EPP - instala su equipo	1		10.0						
9	Limpieza del área a soldar	1		5.0						
10	Primer pase de soldadura (raíz)	1		30.0						
11	Limpieza área soldada	1		10.0						
12	Ensayo de líquido penetrante (PT)	1		15.0						
13	Segundo pase de soldadura (relleno)	1		35.0						
14	Limpieza área soldada	1		5.0						
15	Inspeccion Visual (VT)	1		5.0						
16	Ensayo de líquido penetrante (PT)	1		15.0						
17	Tercer pase de soldadura (acabado)	1		40.0						
18	Limpieza área soldada	1		5.0						
19	Inspección Visual (VT)	1		5.0						
20	Ensayo de líquido penetrante (PT)	1		15.0						
21	Transportar elementos terminados	1	20.0	10.0						
22	Espera de liberación	1		20.0						
23	Inspección final de liberación									
Tiempo horas:		5.19	m	50.0	311.2	11	4	5	3	0

Observaciones:

Figura 24. Propuesta de DAP una vez realizadas las mejoras en el proceso de soldadura.

## **Actuación para la implementación de la metodología WPS en el incremento de la calidad de los procesos de soldadura**

La última parte de las mejoras estuvo comprendida por las actividades con las cuales se estandarizó los logros del plan de implementación de la metodología WPS en el incremento de la calidad de los procesos de soldadura en la fabricación de estructuras metálicas de la empresa y asegurar su continuidad en el futuro. las actividades fueron las siguientes (Ver Tabla 26)

Tabla 26. *Actividades den la fase de actuación para la implementación de la metodología WPS en el incremento de la calidad de los procesos de soldadura.*

Acciones	Descripción
Incorporación de los cambios a los procedimientos y estándares de la organización	Al adaptar los procesos de soldadura a una metodología estandarizada a nivel internacional como lo es el Welding Procedure Specification, se hizo necesario la integración de los principios de este modelo a las normas y procedimientos existentes en la organización.
Metodología para revisión de indicadores	Se acordó que los responsables de llevar a cabo las métricas de rendimiento y desempeño tanto de los procesos como del personal debían elaborar resultados de manera mensual trimestral y semestral. igualmente se acordó incorporar progresivamente nuevos indicadores para tener una comprensión amplia de las necesidades del cliente y de los resultados de la organización.

Acciones	Descripción
Promover el ciclo de mejora continua	Se acordó aprovechar las lecciones aprendidas y las experiencias de la incorporación de la metodología WPS a los procesos de soldadura de la empresa para crear nuevas iniciativas de mejoras en otros procesos tales como la planeación y la gestión de materiales de manera tal que se pueda agregar valor y calidad a lo largo de toda la organización.
Comunicación de resultados	También se sugirió y fue aprobado por la dirección de la empresa que se aprovechara las ventajas de contar con personal certificado para agregar valor a la propuesta que se ofrece a los clientes, de forma tal que estos comprendan y tengan conocimiento de que se cuenta con profesionales capacitados en las mejores metodologías de procesos de soldadura.

### **Evaluación de los costos y beneficios de la implementación del plan de mejora de los procesos de soldadura en la empresa COCYMET del Sur S.A.C.**

El propósito de esta sección del estudio es presentar los resultados del análisis financiero que se llevó a cabo para determinar los costos y beneficios que se obtuvieron con la implementación del plan de mejora de los procesos de soldadura en la empresa COCYMET del Sur S.A.C. Esta actividad comenzó determinando los costos de implementación en los cuales se incurrió a lo largo de la experiencia profesional y el proyecto desarrollado:

Tabla 27. *Costos de implementación de mejoras*

<b>Descripción</b>	<b>Costo total en USD</b>
Participación del investigador	9,500.00
Participación de los colaboradores del área de soldadura	14,900.00
Certificaciones	3,000
Capacitación	6,000
Ensayos destructivos y no destructivos	20.00
Probetas	5,250
Material de aporte	225,00
Material de oficina para presentación de la propuesta	35.00
Alquiler de proyector para presentación de resultados	30.00
Total USD	38,735.00

La presentación de la información se hace de la siguiente manera: en la tabla 28 se hace una proyección del flujo de efectivo en el escenario de no realizarse ninguna implementación es decir bajo las condiciones en las cuales la empresa estaba funcionando sin la propuesta de mejora en los procesos de soldadura; en la tabla 29 se muestra la proyección del flujo de efectivo para los próximos cinco años tomando en cuenta en las mejoras obtenidas con la implementación de la metodología WPS; la tabla 30 muestra los pasos y razones financieras necesarias para determinar el flujo de caja incremental y la relación costo beneficio mientras que en la tabla 31 se muestra los resultados del tiempo de recupero de la inversión así como la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actualizado neto (VAN).

Tabla 28. *Estimación del flujo de efectivo proyectado sin implementación*

FLUJO DE EFECTIVO PROYECTADO SIN IMPLEMENTACIÓN						
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
<b>INGRESOS</b>						
Producción estimada (TN)		86,853.86	108,567.32	111,824.34	115,179.07	118,634.44
Precio venta		3,200.00	3,200.00	3,200.00	3,200.00	3,200.00
Ingresos por ventas		277,932,339.20	305,725,573.12	336,298,130.43	369,927,943.48	406,920,737.82
<b>TOTAL, INGRESOS</b>		<b>277,932,339.20</b>	<b>305,725,573.12</b>	<b>336,298,130.43</b>	<b>369,927,943.48</b>	<b>406,920,737.82</b>
<b>EGRESOS</b>						
Costos operacionales		225,125,194.75	247,637,714.23	272,401,485.65	299,641,634.21	329,605,797.64
Costos adicionales por reprocesamiento		68,478.00	70,532.34	72,648.31	74,827.76	77,072.59
Gastos de administración y ventas		2,779,323.39	3,057,255.73	3,362,981.30	3,699,279.43	4,069,207.38
Gastos generales		1,389,661.70	1,528,627.87	1,681,490.65	1,849,639.72	2,034,603.69
<b>TOTAL, EGRESOS</b>		<b>229,362,657.84</b>	<b>252,294,130.16</b>	<b>277,518,605.92</b>	<b>305,265,381.13</b>	<b>335,786,681.30</b>
Utilidad bruta		48,569,681.36	53,431,442.96	58,779,524.52	64,662,562.35	71,134,056.53
IGV (18%)		8,742,542.64	9,617,659.73	10,580,314.41	11,639,261.22	12,804,130.17
Impuesto a la Renta (29.5%)		14,328,056.00	15,762,275.67	17,339,959.73	19,075,455.89	20,984,546.68
Utilidad neta		25,499,082.71	28,051,507.55	30,859,250.37	33,947,845.23	37,345,379.68
Flujos de inversión		-	-	-	-	-
<b>Flujo neto económico</b>	<b>38,735.00</b>	<b>25,499,082.71</b>	<b>28,051,507.55</b>	<b>30,859,250.37</b>	<b>33,947,845.23</b>	<b>37,345,379.68</b>

Tabla 29. *Estimación del flujo de efectivo proyectado con implementación*

FLUJO DE EFECTIVO PROYECTADO CON IMPLEMENTACIÓN						
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
<b>INGRESOS</b>						
Producción estimada (TN)		87,980.00	109,975.00	113,274.25	116,672.48	120,172.65
Precio venta		3,200.00	3,200.00	3,200.00	3,200.00	3,200.00
Ingresos por ventas		281,536,000.00	309,689,600.00	340,658,560.00	374,724,416.00	412,196,857.60
<b>TOTAL INGRESOS</b>		<b>281,536,000.00</b>	<b>309,689,600.00</b>	<b>340,658,560.00</b>	<b>374,724,416.00</b>	<b>412,196,857.60</b>
<b>EGRESOS</b>						
Costos operacionales		228,044,160.00	250,848,576.00	275,933,433.60	303,526,776.96	333,879,454.66
Costos adicionales por reprocesamiento		4,868.00	4,868.00	4,868.00	4,868.00	4,868.00
Gastos de administración y ventas		2,815,360.00	3,096,896.00	3,406,585.60	3,747,244.16	4,121,968.58
Gastos generales		1,407,680.00	1,548,448.00	1,703,292.80	1,873,622.08	2,060,984.29
<b>TOTAL EGRESOS</b>		<b>232,272,068.00</b>	<b>255,498,788.00</b>	<b>281,048,180.00</b>	<b>309,152,511.20</b>	<b>340,067,275.52</b>
Utilidad bruta		49,263,932.00	54,190,812.00	59,610,380.00	65,571,904.80	72,129,582.08
IGV (18%)		8,867,507.76	9,754,346.16	10,729,868.40	11,802,942.86	12,983,324.77
Impuesto a la Renta (29.5%)		14,532,859.94	15,986,289.54	17,585,062.10	19,343,711.92	21,278,226.71
Utilidad neta		25,863,564.30	28,450,176.30	31,295,449.50	34,425,250.02	37,868,030.59
Flujos de inversión		-	-	-	-	-
Flujo neto económico		- 25,863,564.30	28,450,176.30	31,295,449.50	34,425,250.02	37,868,030.59

Tabla 30. *Estimación del flujo incremental para determinar el costo y beneficio de la propuesta*

**FLUJO DE CAJA INCREMENTAL**

	<b>AÑO 0</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
<b>INGRESOS ADICIONALES</b>		3,603,660.80	3,964,026.88	4,360,429.57	4,796,472.52	5,276,119.78
<b>EGRESOS OPERACIONALES (INCREMENTAL) (CON PY-SIN PROY)</b>		2,909,410.16	3,204,657.84	3,529,574.08	3,887,130.07	4,280,594.22
<b>INVERSIÓN</b>	38,735.00					
<b>FLUJO DE CAJA INCREMENTAL</b>	-38,735.00	694,250.64	759,369.04	830,855.48	909,342.45	995,525.55
<b>TASA DE DESCUENTO (WAAC)</b>	<b>15%</b>					
<b>VAN</b>	2,550,860.91					
<b>TIR</b>	378%					
<b>B/C</b>	<b>BENEFICIOS</b>	2,739,060.91				
	<b>COSTOS</b>	188,200				
<b>B/C</b>	\$15					

El WACC o la tasa de descuento es la tasa de interés utilizada para determinar el valor presente de los flujos de efectivo futuros en un análisis de flujo de efectivo. Esto ayuda a determinar si los flujos de efectivo futuros de un proyecto o inversión valdrán más que el desembolso de capital necesario para financiar el proyecto o la inversión en el presente.

Tabla 31. *Estimación del tiempo de retorno de la implementación*

<b>PB</b>	<b>AÑO 0</b>	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
<b>FLUJO DE CAJA ACTUALIZADO</b>	<b>-188,200.00</b>	603,696.21	574,192.09	546,300.97	519,919.50	494,952.14
<b>FLUJO ACUMULADO</b>		415,496.21				
EN 12 MESES	\$603,696					
EN X MESES	\$188,200					
<b>X</b>	<b>3.741</b>					
<b>PB</b>	<b>TIEMPO DE RECUPERO DE LA INVERSIÓN = 3.74 MESES</b>					

El cálculo del tiempo de recuperación de la inversión permite observar que el monto invertido (USD 188,200) es menor al beneficio esperado en los primeros 12 meses de implementación (USD 603,696) por lo que se espera la recuperación de esta en un tiempo menor a 4 meses.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Se realizó una descripción de la situación actual en cuanto a la calidad en la fabricación de estructuras metálicas en la empresa COCYMET del Sur S.A.C. y su impacto operativo y económico. Se obtuvo como resultado que las principales fallas estaban asociadas con el uso de un procedimiento de soldadura no aprobado según la norma, formatos de control de proceso no adecuado y falta de conocimiento en la materia prima.
- Se mejoraron los procesos de soldadura en la empresa COCYMET del Sur S.A.C. con la implementación de la metodología Welding Procedure Specification, una guía estándar utilizada para realizar una acción de soldadura. Los datos obtenidos en la prueba indicaron que el metal de soldadura controla la resistencia al impacto de la conexión para en las pruebas realizadas, independientemente del parámetro de soldadura.
- Se evaluaron los costos y beneficios de la implementación del plan de mejora de los procesos de soldadura en la empresa COCYMET del Sur S.A.C. Las cantidades de reparaciones realizadas durante el periodo de prueba posteriores a la implementación fue de 24 acciones de reparación durante el periodo de evaluación, con lo que se disminuyó el volumen de reparaciones en 76%, las cuales representaron para la empresa una disminución en costos de US\$ 29,995.80. Además, el producto liberado se incrementó a 95.62% y la calidad a 98.72%.

- En cuanto a las competencias laborales desarrolladas durante la experiencia laboral, estas incluyeron conocimiento de física, ingeniería, metalurgia, materiales, soldadura y estándares para diseñar, examinar y evaluar soldaduras, así como para planificar, supervisar y documentar las operaciones de soldadura de acuerdo con los códigos, contratos o dibujos relevantes.
- Entre las lecciones aprendidas, es importante mencionar las siguientes:
  1. Para utilizar una especificación de procedimiento de soldadura (WPS) como herramienta para facilitar la estandarización, se debe considerar la variación en los sistemas de medición, la configuración de la tolerancia y los puntos de partida.
  2. Asimismo, planificar las actividades que conforman el proceso de soldadura, para delimitar las actividades requeridas de verificación, validación, seguimiento, medición, inspección y ensayo del producto.
  3. Además, los desafíos constantes son necesarios para ayudar a perfeccionar las técnicas actuales y aprender otras nuevas. Lo más importante es reconocer que cada trabajo, incluso si el soldador lo ha visto antes, debe abordarse como si fuera nuevo evita una preparación de soldadura o una técnica de soldadura deficientes.

## RECOMENDACIONES

- En cuanto al plan de mejoras en procesos de soldadura de la empresa se recomienda realizar oportunamente ensayos no destructivos antes de realizar los ensayos exigidos por el código de calificación, para corregir cualquier falla o discontinuidad previa que pueda presentarse.

- Fortalecer las actividades del área de soldadura a través de formatos de control e implementación del procedimiento de soldadura según el WPS, procedimiento de inspección y (NDT) donde considere los ensayos, (VT-PT) para cumplir con los requisitos que contribuyan a mejorar la efectividad de los procesos la calidad de la operación.
- Asegurar las acciones relacionadas con la certificación de los procedimientos detectados en los PQR y el incremento de la habilidad de los trabajadores mediante los WPQ, acciones que además de contribuir con la mejora del proceso y el incremento de las habilidades del recurso humano impactan favorablemente la competitividad de la empresa.
- Mantener los estándares de calidad para garantizar la reducción de procesamientos y los daños de material que contribuyen a la ineficiencia y el incremento de los costos operacionales.

## REFERENCIAS

- Adams, D. Quality improvement; part 1: introduction and overview. *BJA Education*, 18 (3) 89-94. <https://doi.org/10.1016/j.bjae.2017.12.002>
- Arboleda, M. (2015). *Implementación de un plan de mejoramiento para el proceso de soldadura en la fabricación de unidades de campamentos en KNO Environmental Solutions Ltda.* (Fundación Universitaria Los Libertadores). <https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/477/ArboledaLagosAngelaMaria.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Averson, P. (2019). *The Deming Cycle.* (Balanced Scorecard Institute). <https://balancedscorecard.org/bsc-basics/articles-videos/the-deming-cycle/>
- Barba, A. y Montoya, M. (2012). De la planeación al pensamiento estratégico. *XVII Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática.* <http://congreso.investiga.fca.unam.mx/docs/xvii/docs/B01.pdf>
- Barletta, F., Robert, V. y Yoguel, G. (2007). Tópicos de la teoría evolucionista neoschumpeteriana de la innovación y el cambio tecnológico. (Miño y Dávila Editores y Universidad Nacional de General Sarmineto). [https://www.researchgate.net/publication/279997532\\_Topicos\\_de\\_la\\_teor%C3%ADa\\_evolucionista\\_neoschumpeteriana\\_de\\_la\\_innovacion\\_y\\_el\\_cambio\\_tecnologico\\_vol\\_1](https://www.researchgate.net/publication/279997532_Topicos_de_la_teor%C3%ADa_evolucionista_neoschumpeteriana_de_la_innovacion_y_el_cambio_tecnologico_vol_1)
- Caqui, L. (2019). *Metodología para la calificación de un procedimiento de soldadura según el código ASME sección VIII Div.1 para la construcción de un tanque a presión en la empresa Construcciones Metálicas S.A.C.* (Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión). <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/3123>

Castillo, L. (2019). Evaluación del procedimiento de soldadura para el soldeo del acero SA612 utilizado en la fabricación de tanques de almacenamiento de GLP según ASME IX. (Universidad Nacional de Trujillo).

<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12433>

Collins, K. & Frels R. (2014). Using Bronfenbrenner's ecological systems theory to frame quantitative, qualitative, and mixed research. *Foreword*, 7 (1).

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.5172/mra.2013.7.1.2?journalCode=rmra20>

Ericsson, A. y Astrand, E. (2018). Variation in welding procedure specification approach and its effect on productivity. *Procedia Manufacturing*, 25 (1).

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918306395>

Escudero, L. y Marianetti, M. (2016). *Mejora en el desempeño del proceso de soldadura en industria autopartista*. (Universidad Nacional de Córdoba).

<https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/4687/PI%20ESCUADERO%20MARIANETTI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Evans, J. y Lindsay, W. (2014). Administración y Control De La Calidad.

<https://doi.org/10.1016/B978-84-8086-229-5.50026-6>

Funk, R. & Owen, J. (2016). A Dynamic Network Measure of Technological Change. *Management Science*, 63 (3).

<https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.2015.2366>

Gallego, R. (2014). Elaboración de WPSs, PQRs Y WPQ para la empresa Chía Peñalosa Ingeniería. (Universidad Libre de Colombia).

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9838/Elaboraci%C3%B3n%20de%20WPSs%2C%20PQRs%20y%20WPQ%20para%20la%20empresa%20CH%C3%8DA%20PE%C3%91ALOSA%20INGENIER%C3%8DA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Henshall, A. (2020). How to Use The Deming Cycle for Continuous Quality Improvement.

<https://www.process.st/deming-cycle/>

Ibrahim, O., Lignos, D. & Rogers, C. (2016). Proposed modeling approach of welding procedures for heavy steel plates. *Engineering Structures*, 127 (1).

<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.08.022>.

Jiménez, G. & Paquiyauri, W. (2018). Mejora del proceso de soldadura para reducir costos en la reparación de pilotes para una Defensa Ribereña de la empresa Coiesu S.A.C. (Universidad Privada del Norte).

<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/15200?show=full>

Jones, B. (2019). How to get started in quality improvement. *BMJ Journal*, 12 (7). 364-372.

doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.k5437>

Lai, P. (2017). The literature review of technology adoption models and theories for the novelty technology. *Journal of Information Systems and Technology Management*, 14 (1).

[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S18077752017000100021&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S18077752017000100021&script=sci_arttext)

Luna, R. (2015). Evaluación del procedimiento de soldadura de la unión disímil entre aceros

API 5L X70 PSL1 Y ASTM A707 L5 F65. (Pontificia Universidad Católica del Perú).

[http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6164/LUNA\\_R  
ENZO\\_SOLDADURA\\_DISIMIL.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6164/LUNA_R_ENZO_SOLDADURA_DISIMIL.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Mizuno, S. (2010). Management for Quality Improvement: The 7 New QC Tools. (CRC editores).

[https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=aQ\\_2DwAAQBAJ&oi=fnd&pg  
=PP6&dq=quality+improvement+diagnostic+tools&ots=vX65IMBPGn&sig=Hmg  
XNTIPyAHdHB8ir0AtX6TTezA#v=onepage&q=quality%20improvement%20diag  
nostic%20tools&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=aQ_2DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP6&dq=quality+improvement+diagnostic+tools&ots=vX65IMBPGn&sig=HmgXNTIPyAHdHB8ir0AtX6TTezA#v=onepage&q=quality%20improvement%20diagnostic%20tools&f=false)

Muñoz, O. (2010). El pensamiento estratégico. Una integración de los sentidos.

<https://www.redalyc.org/pdf/1053/105316833003.pdf>

Qazi, H. (2017). Study of verification and validation of standard welding procedure specifications guidelines for API 5L X-70 grade line pipe welding. *Journal of Engineering Sciences*, 4 (2).

[https://doi.org/10.21272/jes.2017.4\(2\).b11](https://doi.org/10.21272/jes.2017.4(2).b11)

Ribeiro, H. (2017). *El origen del programa 5S*.

[http://www.pdca.com.br/site/espanhol/fundamentos-del-5s/el-origen-del-programa-  
5s.html](http://www.pdca.com.br/site/espanhol/fundamentos-del-5s/el-origen-del-programa-5s.html)

Rincón, E. Rincón, J. y Baralt, C. (2014). La innovación y el cambio tecnológico desde la perspectiva de la mesoeconomía. *Investigación Científica y Tecnológica*.

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5085523.pdf>

Rodrigues, L. Loayza, C., Borges, D., Baia, P. y Freitas, E. (2019). Welding procedures influence analysis on the residual stress distribution and distortion of stiffened panels welded via robotized FCAW. *Thin-Walled Structures*, 141 (1).

<https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.03.055>

Sánchez, B. (2015). *Elaboración e implementación de un procedimiento de soldadura en la empresa Revoconstrucciones para la mejora productiva mediante herramientas de calidad*. (Universidad de Las Américas).

<http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/5060/1/UDLA-EC-TTPSI-2016-02.pdf>

Satish, B. & Jeergi, A. (2016). Study on Welding Procedure Specifications as Per ASME Sec IX. *International Journal for Scientific Research & Development*, 4 (4),1354-1359. <http://ijsrd.com/Article.php?manuscript=IJSRDV4I40867>

Skov, F., Wang, T. & Andersen, J. (2018). Science maps and strategic thinking. Proceedings of the 23rd International Conference on Science and Technology Indicators.

[https://openaccess.leidenuniv.nl/bitstream/handle/1887/65203/STI2018\\_paper\\_50.pdf?sequence=1](https://openaccess.leidenuniv.nl/bitstream/handle/1887/65203/STI2018_paper_50.pdf?sequence=1)

Saviotti, P. & Metcalfe, J. (2018). *Evolutionary Theories of Economic and Technological Change: Present Status and Future Prospects*. *Routledge Francis & Taylor*.

<https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=4epTDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=scientific+articles+on+Theory+of+Evolution+of+Technological+Change&ots=7aHX71v30U&sig=CsGWcPc2qVyunAH7JYbmZ-Y4CAk#v=onepage&q=scientific%20articles%20on%20Theory%20of%20Evolution%20of%20Technological%20Change&f=false>

Vílchez, J. (2017). *Implementación del proceso de soldadura FCAW en la fabricación de pilotes para mejorar la productividad de la empresa IMI del Perú SAC.* (Universidad César Vallejo).

[http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/16811/Vilchez\\_RJMJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/16811/Vilchez_RJMJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Welt, T., Junaid, M., Mory, R., Kenney, J. (2020). Evaluating impact toughness as a qualification testing requirement for welds. *Journal of Constructional Steel Research*, 165 (1).

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143974X19308697>