

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**



**CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN:**

INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE LA CORROSIÓN INDUSTRIAL.

**TEMA:**

EVALUACIÓN DEL EFECTO CORROSIVO DE SOLDADURAS EN SUPERFICIES METÁLICAS DE ACERO AL CARBÓN A36 CON RECUBRIMIENTO DE PROTECCIÓN ANTICORROSIVA.

**PRESENTADO POR:**

ASCENCIO DE CAÑAS, KATHERINE YANIRA  
MÉNDEZ DURÓN, SANDRA MABEL  
NAVARRO CALLEJAS, LUIS FRANCISCO

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

INGENIERO(A) QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO 2024

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

**SECRETARIO GENERAL:**

LIC. PEDRO ROSALIO ESCOBAR CASTANEDA

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**DECANO:**

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

**SECRETARIO:**

ARQ. RAUL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

**DIRECTORA INTERINA:**

INGA. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

**CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN:**  
INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE LA CORROSIÓN INDUSTRIAL.

**TEMA:**  
EVALUACIÓN DEL EFECTO CORROSIVO DE SOLDADURAS EN SUPERFICIES  
METÁLICAS DE ACERO AL CARBÓN A36 CON RECUBRIMIENTO DE  
PROTECCIÓN ANTICORROSIVA.

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

INGENIERO(A) QUÍMICO.

**PRESENTADO POR:**

ASCENCIO DE CAÑAS, KATHERINE YANIRA  
MÉNDEZ DURÓN, SANDRA MABEL  
NAVARRO CALLEJAS, LUIS FRANCISCO

**DOCENTE ASESOR:**

ING. HÉCTOR MANUEL GUERRA PÉREZ

CUIDAD UNIVERSITARIA, ENERO 2024

TRABAJO DE GRADO APROBADO POR:

DOCENTE ASESOR:

ING. HÉCTOR MANUEL GUERRA PÉREZ

## DEDICATORIAS

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la fuerza para poder culminar esta etapa de mi vida. Agradezco de todo corazón a mi madre, a mi esposo y a mi hijo por su apoyo y cariño incondicional. Agradezco a cada uno de los docentes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura por ser mis guías en todo el proceso de formación, a mis compañeros de tesis, a mi familia y amigos que me apoyaron para finalizar este trayecto. Muchas gracias a todos.

***Katherine Yanira Ascencio de Cañas***

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la fuerza y paciencia para terminar mis carrera, agradezco especialmente a mis padres y familiares quienes me apoyaron en todo el proceso, a los docentes de la Universidad de El Salvador de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, a mis compañeros de tesis por el apoyo y la paciencia durante el desarrollo de este trabajo que fue toda una aventura con grandes retos, en especial agradezco a mis amigos por su apoyo incondicional y por estar presentes en los momentos más cruciales de mi vida.

***Sandra Mabel Méndez Durón***

Agradezco a Dios, a mis padres, abuelos y a todos los que alguna vez brindaron su apoyo durante todo este proceso.

***Luis Francisco Navarro Callejas***

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a los docentes de la Universidad de El Salvador junto con la escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura por el apoyo incondicional y por sus esfuerzos por transmitir sus conocimientos a lo largo de esta carrera, en especial al Ing. Héctor Manuel Guerra Pérez por el apoyo como docente y asesor de este trabajo de aplicación.

Agradecemos a la empresa Sherwin Williams de Centro América Limitada de C.V. por brindarnos el apoyo en prestarnos los equipos y las instalaciones para el desarrollo de nuestro trabajo de aplicación.

Adicionalmente extendemos nuestros agradecimientos a la Ing. Kathya Bonilla por compartir sus conocimientos y experiencias con nosotros, también agradecemos infinitamente a Fast Care S.A. de C.V. por permitirnos utilizar sus instalaciones para el desarrollo de este trabajo de aplicación.

## Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal evaluar el efecto de la corrosión en superficies metálicas soldadas por tres métodos de soldadura (Autógena, MIG y Punto), dichas superficies metálicas han sido previamente preparadas bajo la norma internacional SSPC-VIS 3:2016 Guía y fotografías de referencia para superficies de acero preparadas mediante limpieza con herramientas manuales y mecánicas, además todas las piezas metálicas soldadas fueron pintadas con un recubrimiento anticorrosivo, para sus evaluaciones se utilizarán las siguientes normas internacionales: la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 Método estándar para la evaluación del grado de corrosión en superficies de acero pintadas y la norma internacional ASTM D714:2002 Método estándar para la evaluación de la formación de ampollas en pinturas.

La parte experimental de este trabajo de investigación se realizó colocando los especímenes en la cámara de niebla salina, bajo las condiciones de la norma internacional ASTM B117:2011 Práctica estándar para el funcionamiento de aparato de niebla salina a condiciones de temperatura de 35 °C, presión de 110 kPa y una concentración del 5.3% p/v de NaCl, expuestas por un periodo de tiempo de 1250 horas, las cuales fueron observadas cada semana aproximadamente.

Los resultados obtenidos de la parte experimental fueron la base principal para la hacer una calificación del desempeño de los tres métodos de soldaduras, esto con el fin de dar respuesta a los objetivos específicos de este trabajo de investigación.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>ABREVIATURAS</b> .....	2
<b>1. CAPÍTULO I: MARCO CONTEXTUAL REFERENCIAL</b> .....	3
1.1 Definición del Problema .....	3
1.2 Objetivos.....	5
1.2.1 Objetivo General.....	5
1.2.2 Objetivos Específicos.....	5
1.3 Justificación .....	5
1.4 Alcances del proyecto.....	6
1.5 Limitaciones del proyecto .....	6
<b>2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	7
2.1 Generalidades de la Corrosión .....	7
2.1.2 El Impacto de la corrosión. ....	8
2.1.3 Tipos de corrosión .....	9
2.1.4 Ambiente corrosivo .....	13
2.2 Generalidades de las soldaduras. ....	14
2.2.2 Clasificación de las soldaduras.....	15
2.2.3 Métodos de soldadura .....	16
2.2.4 Técnicas de soldadura.....	19
2.3 Generalidades del acero al carbón A36 .....	21
2.4 Recubrimientos.....	21



2.4.1	Recubrimientos epóxicos.....	22
2.5	Normas y estándares internacionales para la evaluación del desempeño de la resistencia a la corrosión de los recubrimientos .....	23
2.5.1	ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 Método estándar para la evaluación del grado de corrosión en superficies de acero pintadas.....	23
2.5.2	ASTM D714:2002 Método estándar para la evaluación de la formación de ampollas en pinturas.....	23
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>24</b>
3.1	Enfoque metodológico .....	24
3.2	Diseño experimental .....	24
3.2.1	El Sistema CSP .....	28
3.2.2	El Sistema CPSP .....	29
3.2.3	Resumen gráfico de la elaboración de especímenes .....	30
3.3	Elaboración y observaciones de especímenes.....	31
3.3.1	Corte.....	32
3.3.2	Soldadura .....	32
3.3.3	Preparación de superficie .....	33
3.3.4	Preparación de recubrimiento.....	35
3.3.5	Cámara salina.....	36
3.3.6	Formato para la toma de observaciones.....	37
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>38</b>
4.1	Resultados del grado de corrosión según la norma ASTM D 610/SSPC-VIS 2:2016 .....	38
4.1.1	Desempeño de los tres métodos de soldadura en el sistema CSP .....	39

4.1.2	Desempeño de los tres métodos de soldadura en el sistema CPSP .....	42
4.2	Resultados del grado de formación de ampollas según la norma ASTM D714:2002 .....	44
4.2.1	Resultados del grado de formación de ampollas del sistema CSP .....	45
4.2.2	Resultados del grado de formación de ampollas del sistema CPSP .....	46
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	47
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	48
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	49
	<b>ANEXOS</b> .....	51
	Anexo A1: Tabla de resultados de observaciones según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 y ASTM D714:2002 de la soldadura autógena del sistema CSP .....	51
	Anexo A2: Tabla de resultados de observaciones según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 y ASTM D714:2002 de la soldadura MIG del sistema CSP .....	53
	Anexo A3: Tabla de resultados de observaciones según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 y ASTM D714:2002 de la soldadura PNT del sistema CSP .....	55
	Anexo A4: Tabla de resultados de observaciones según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 y ASTM D714:2002 de la soldadura autógena del sistema CPSP .....	57
	Anexo A5: Tabla de resultados de observaciones según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 y ASTM D714:2002 de la soldadura MIG del sistema CPSP .....	59
	Anexo A6: Tabla de resultados de observaciones según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 y ASTM D714:2002 de la soldadura PNT del sistema CPSP .....	61

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	a) Mineral de hierro b) Productos de corrosión (Smith y Javad, 2006). .....	8
Figura 2.2	Tipos de corrosión. ....	9
Figura 2.3	Corrosión Localizada según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016. ....	10
Figura 2.4	Corrosión generalizada según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016. ....	11
Figura 2.5	Corrosión por picadura según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016. ....	12
Figura 2.6	Clasificación de los ambientes corrosivos según norma internacional ISO 12944:2017. ....	13
Figura 2.7	Clasificación de las soldaduras. ....	16
Figura 2.8	Sistema de soldadura por gas. (OXGASA, 2016). ....	17
Figura 2.9	Esquema de soldadura MIG (DMYH, 2011). ....	18
Figura 2.10	Sistema de soldadura por punto (MG, 2022). ....	19
Figura 2.11	Esquema de soldadura por cordón (Rodríguez, 2001). ....	20
Figura 2.12	Técnica de soldadura por puntos (EAFNE, 2016). ....	20
Figura 3.1	Etapas del enfoque metodológico para la obtención de resultados. ....	24
Figura 3.2	Esquema de la relación de variables independientes y dependientes. ....	25
Figura 3.3	Esquema general de elementos considerados para la definición del diseño experimental. ....	25
Figura 3.4	Proceso de elaboración de los sistemas de estudio. ....	26

Figura 3.5	Jerarquía de estudio para los dos tipos de sistemas utilizados para la parte experimental.....	27
Figura 3.6	Sistema CSP – Experimento.....	28
Figura 3.7	Sistema CPSP - Experimento. ....	29
Figura 3.8	Diagrama de la elaboración de los especímenes y sus dimensiones. ....	30
Figura 3.9	Cámara de niebla salina Q-FOG .....	36
Figura 3.10	Formato de toma de resultados.....	37
Figura 4.1	Ejemplo del área de estudio del espécimen CSP-ATG a 140 horas de exposición. ....	39
Figura 4.2	Ejemplo de uso de la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 para determinar el tipo y grado de corrosión de los especímenes. ....	39
Figura 4.3	Gráfico comparativo del desempeño de los tres métodos de soldadura en el sistema CSP vs. el tiempo acumulado.....	41
Figura 4.4	Gráfico comparativo del desempeño de los tres métodos de soldadura en el sistema CPSP vs. el tiempo acumulado. ....	44

## INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Matriz de especímenes para pruebas de corrosión. ....	28
Tabla 3.2	Proceso de corte de lámina para fabricación de placas. ....	32
Tabla 3.3	Métodos de Soldaduras. ....	32
Tabla 3.4	Métodos de Soldaduras (continuación). ....	33
Tabla 3.5	Descripción de la preparación de Superficies. ....	34
Tabla 3.6	Preparación de superficies. ....	34
Tabla 3.7	Preparación de superficies (continuación). ....	35
Tabla 3.8	Aplicación de recubrimiento anticorrosivo. ....	35
Tabla 3.9	Aplicación de recubrimiento anticorrosivo (continuación). ....	36
Tabla 4.1	Escala para la asignación de la nota para evaluar el desempeño contra el efecto corrosivo. ....	40
Tabla 4.2	Tabla de resultados de desempeño de los métodos de soldadura del sistema CSP hasta un tiempo acumulado de 1250 hora. ....	41
Tabla 4.3	Escala para la asignación de la nota para evaluar el desempeño contra el efecto corrosivo. ....	42
Tabla 4.4	Tabla de resultados de desempeño de los métodos de soldadura del sistema CPSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas. ....	43
Tabla 4.5	Tabla resumen de la formación de ampollas de los métodos de soldadura para el sistema CSP para un tiempo acumulado de 1250 horas. ....	45
Tabla 4.6	Tabla resumen de la formación de ampollas de los métodos de soldadura para el sistema CPSP para un tiempo acumulado de 1250 horas. ....	46

Tabla A.1.1	Resultados de observaciones del método de soldadura autógena del sistema CSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.....	51
Tabla A.1.2	Avance de la corrosión en el tiempo para la soldadura autógena para el sistema CSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.....	52
Tabla A.2.1	Resultados de observaciones del método de soldadura MIG del sistema CSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.....	53
Tabla A.2.2	Avance de la corrosión en el tiempo para la soldadura MIG para el sistema CSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.....	54
Tabla A.3.1	Resultados de observaciones del método de soldadura PNT del sistema CSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.....	55
Tabla A.3.2	Avance de la corrosión en el tiempo para la soldadura PNT para el sistema CSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.....	56
Tabla A.4.1	Resultados de observaciones del método de soldadura autógena del sistema CPSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.....	57
Tabla A.4.2	Avance de la corrosión en el tiempo para la soldadura autógena para el sistema CPSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.....	58
Tabla A.5.1	Resultados de observaciones del método de soldadura MIG del sistema CPSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.....	59
Tabla A.5.2	Avance de la corrosión en el tiempo para la soldadura MIG para el sistema CPSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.....	60

Tabla A.6.1	Resultados de observaciones del método de soldadura PNT del sistema CPSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.....	61
Tabla A.6.2	Avance de la corrosión en el tiempo para la soldadura PNT para el sistema CPSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.....	62

## INTRODUCCIÓN

El fenómeno de la corrosión consiste en el proceso natural del deterioro de materiales metálicos por medio de reacciones químicas y electroquímicas, este proceso conlleva a que todo material metálico se comience a degradar. Este deterioro representa un costo grande en la industria a nivel general. Es por ello por lo que se buscan diferentes métodos para controlar, disminuir o prevenir la corrosión.

Este trabajo de investigación está enfocado en evaluar el efecto de la corrosión de soldaduras en superficies metálicas con recubrimiento anticorrosivo. Los procesos de soldaduras son muy fundamentales para diferentes rubros industriales como por ejemplo en el área de manufactura, automotriz, metalurgia, aviación, robótica, construcción entre otros. Existen diferentes métodos de soldaduras que se utilizan en la industria, los métodos que se utilizaron en este trabajo de investigación fueron: soldadura Autógena, MIG y Punto. El procedimiento que se implementó para evaluar como los diferentes métodos de soldaduras influyen en la corrosión y por ende en el deterioro de la pieza metálica, consistió en la preparación de superficies de las piezas metálicas, la aplicación del recubrimiento anticorrosivo, posteriormente se expusieron los especímenes a un ambiente altamente corrosivo acelerado generado por la cámara de niebla salina por de tiempo de exposición de 1250 horas, al finalizar las pruebas se observó el efecto de la corrosión con el uso de las normas internacionales ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 y ASTM D714:2002 generado por los tres métodos de soldaduras.

La realización de este trabajo de aplicación es importante para identificar el método de soldadura que presenta un menor grado de corrosión que se encuentra en condiciones de ambiente altamente corrosivo acelerado.



## ABREVIATURAS

<b>ASTM:</b>	American Society for Testing and Materials Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales
<b>CD:</b>	Calificación de Desempeño
<b>CPS:</b>	Cortado, Pintado y Soldado
<b>CPSP:</b>	Cortado, Pintado, Soldado y Pintado
<b>FHWA:</b>	Federal Highway Administration Administración Federal de Carreteras
<b>ISO:</b>	International Organization for Standardization Organización Internacional de Normalización
<b>MIG:</b>	Metal Inert Gas Gas Inerte Metálico
<b>NACE:</b>	National Association of Corrosion Engineers Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión
<b>PIB:</b>	Producto Interno Bruto
<b>SSPC:</b>	Steel Structures Painting Council Sociedad de Recubrimientos Protectores

# 1. CAPÍTULO I: MARCO CONTEXTUAL REFERENCIAL

## 1.1 Definición del Problema

El fenómeno de la corrosión se define como la degradación espontánea de tipo electroquímica de los metales refinados, es decir, los metales que han sufrido al menos un proceso industrial de transformación para aumentar su pureza mediante métodos químicos o físicos, lo cual resulta en el incremento del estado energético del metal si se compara con el estado en el cual se encuentran naturalmente los metales en la corteza terrestre, denominado como su estado reducido. El desarrollo gradual de la corrosión propicia que el metal regrese a un estado energéticamente menor y más estable, su estado oxidado.

Es imposible hablar sobre corrosión sin hacer referencia directa al ambiente y a las condiciones a las cuales está expuesto el material. Es importante aclarar que todos los ambientes pueden considerarse corrosivos, cada uno con diferentes niveles de agresividad. Entre los típicos ambientes corrosivos está el ambiente relacionado con el agua fresca, destilada, salada y marina. La magnitud de la corrosión dependerá de la sensibilidad particular del metal o aleación a un ambiente específico (Ahmad, 2006).

Las fallas debidas al ataque de la corrosión a las estructuras metálicas utilizadas en todos los campos de la vida cotidiana como la industria de la construcción, transporte, marina, entre otros; causan pérdidas económicas, de productividad y afectan a la población en general (Schmitt, 2009).

Bajo las premisas anteriores, en esta investigación se pretende hacer un estudio del desarrollo de la corrosión como efecto del método de soldadura utilizada para unir dos piezas metálicas de la misma especie. El desarrollo de la corrosión se evaluará mediante la observación y comparación de tres métodos diferentes de soldaduras; aplicando dos técnicas que hacen uso de metal de aporte y una sin metal de aporte;

siendo estas, tres de los métodos más comunes en la fabricación de estructuras metálicas. Manteniendo los métodos de soldadura como la única variable cambiante, se espera realizar una evaluación de desempeño que permita identificar de manera objetiva el método de soldadura que genere menor presencia de corrosión en la estructura metálica observada bajo condiciones de un ambiente altamente corrosivo acelerado, teniendo como indicadores de evaluación el tipo, grado de corrosión y la formación de ampollas. A partir de estos indicadores de evaluación se determinará el papel que juega la soldadura como generador de corrosión.

Siendo la preparación de los especímenes una parte fundamental del proceso experimental, este procedimiento se realizará siguiendo la norma internacional SSPC-VIS 3:2016, las observaciones de la evaluación de la corrosión de los especímenes se realizarán con el uso de la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2 y para la evaluación de la formación de ampollas se usará la norma internacional ASTM D714:2002.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar el efecto corrosivo que tiene la soldadura sobre la superficie metálica de acero al carbón A36 aplicado con un sistema de recubrimiento anticorrosivo.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- a) Identificar el tipo de corrosión para los tres métodos de soldadura aplicados en superficie metálica de acero al carbón A36 con recubrimiento anticorrosivo haciendo uso de estándares visuales.
- b) Comparar el grado de corrosión para los métodos de soldadura aplicados en superficie metálica de acero al carbón A36 con recubrimiento anticorrosivo haciendo uso normas internacionales.
- c) Determinar el método de soldadura que presenta menor efecto de corrosión en la superficie metálica de acero al carbón A36 con recubrimiento anticorrosivo.

## **1.3 Justificación**

La corrosión tiene un enorme impacto económico y ambiental en prácticamente todas las facetas de la infraestructura mundial, desde carreteras, puentes y edificios hasta petróleo y gas, procesamiento químico y sistemas de agua y aguas residuales. Además de causar daños severos y amenazas a la seguridad pública, la corrosión interrumpe las operaciones y requiere una reparación y reemplazo extensos de los activos defectuosos. Se estima que el costo anual de la corrosión en todo el mundo supera los 1,8 billones de dólares estadounidenses, lo que se traduce en entre el 3 y el 4 % del Producto Interno Bruto (PIB) de los países industrializados (Schmitt, 2009).

La unión permanente entre estructuras metálicas para la elaboración de artefactos y estructuras es una práctica y un proceso esencial por lo que resulta más que necesario para el control de la corrosión y para el correcto diseño, generar el conocimiento necesario que permita realizar la selección del método de soldadura más adecuado para cada caso específico de aplicación; para el presente estudio resulta ser la unión de material metálico de la misma especie a través de tres métodos diferentes de soldadura. Este estudio del efecto corrosivo de las soldaduras de superficies metálicas de acero al carbón A36 con recubrimiento de protección anticorrosiva puede ser la base para futuras investigaciones que consideren nuevas variables como por ejemplo diferentes procedimientos de preparación de superficies, estudio de diferentes metales, estudio de diferentes espesores etc.

#### **1.4 Alcances del proyecto**

Conocer cómo influye la corrosión según el método de soldadura (Autógena, MIG y Punto) realizada en acero al carbón A36 expuestas a un ambiente altamente corrosivo acelerado bajo las condiciones de temperatura, presión y concentración controladas.

#### **1.5 Limitaciones del proyecto**

La limitante de este trabajo de aplicación fue el espacio y tiempo disponible dentro de la cámara de niebla salina ya que en simultáneo se estaban realizando otros trabajos de aplicación de la empresa.

## **2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Generalidades de la Corrosión**

#### **2.1.1 ¿Qué es la corrosión?**

La corrosión es el ataque destructivo de un metal por reacción química o electroquímica con su entorno (Revie y Uhlig, 1907).

La velocidad de corrosión a la cual ocurre dependerá hasta cierto punto de la temperatura y de la concentración de los reactivos y productos. Otros factores como el esfuerzo mecánico y la erosión también pueden contribuir a la corrosión (Smith y Javad, 2006).

Cuando se habla de corrosión, es usual referirse al proceso del ataque químico sobre los metales. Éstos son susceptibles a este ataque debido a que tienen electrones libres y pueden establecer celdas electroquímicas dentro de su estructura (Smith y Javad, 2006).

También es posible considerar a la corrosión de los metales en algunas formas como metalurgia extractiva inversa. Casi todos los metales existen en la naturaleza en el estado combinado, por ejemplo, como óxidos, sulfuros, carbonatos o silicatos. En estos estados combinados las energías de los metales son menores. En el estado metálico las energías de los metales son más altas y, por ello, hay una tendencia espontánea a que los metales reaccionen químicamente para formar compuestos. Por ejemplo, los óxidos de hierro existen comúnmente en la naturaleza y son reducidos a hierro con energía térmica, el cual se encuentra en un estado de energía más alto. Por lo tanto, existe una tendencia para que el hierro metálico regrese de manera espontánea a óxido de hierro mediante la corrosión (oxidándose), de manera que pueda existir en un estado de energía inferior (ver figura 2.1) (Smith y Javad, 2006).

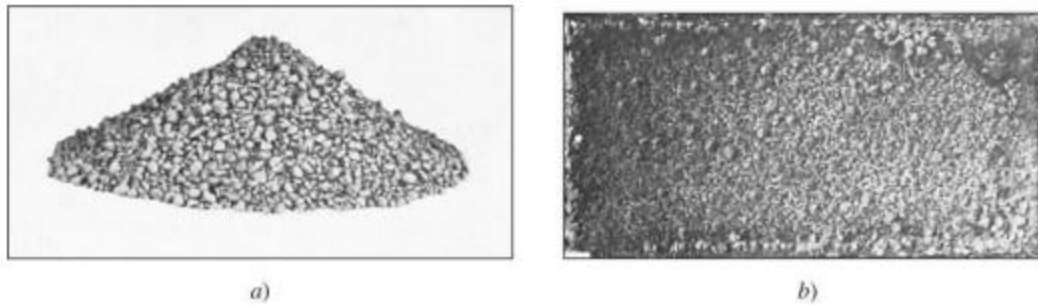


Figura 2.1 a) Mineral de hierro b) Productos de corrosión (Smith y Javad, 2006).

### 2.1.2 El Impacto de la corrosión.

La Administración Federal de Carreteras de EE. UU. (Federal Highway Administration o FHWA sus siglas en inglés) publicó un estudio innovador de 2 años en 2002 sobre los costos directos asociados con la corrosión metálica en casi todos los sectores industriales de EE. UU., desde infraestructura y transporte hasta producción y fabricación. Iniciado por La Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión (National Association of Corrosion Engineers o NACE International sus siglas en inglés) y ordenado por el Congreso de los EE. UU. en 1999, Los resultados del estudio muestran que el costo directo total anual estimado de la corrosión en los EE. UU. es de \$ 276 mil millones, aproximadamente el 3.1% del Producto Interno Bruto (PIB) de la nación. Revela que, aunque el manejo de la corrosión ha mejorado en las últimas décadas, los EE. UU. deben encontrar más y mejores formas de fomentar, apoyar e implementar prácticas óptimas de control de la corrosión (NACE International, 2002).

El estudio realizado por la NACE Internacional demuestra el impacto económico que tiene la corrosión sobre las infraestructuras metálicas, es importante impulsar los estudios, investigaciones en el campo de corrosión para encontrar formas que ayuden a mejorar o reducir los costos generados por la corrosión.

### 2.1.3 Tipos de corrosión

Existen diferentes tipos de corrosión que sufren los metales dependiendo de su naturaleza y de las condiciones medioambientales a las que están expuestos y hacen que propicien su degradación (ver figura 2.2).

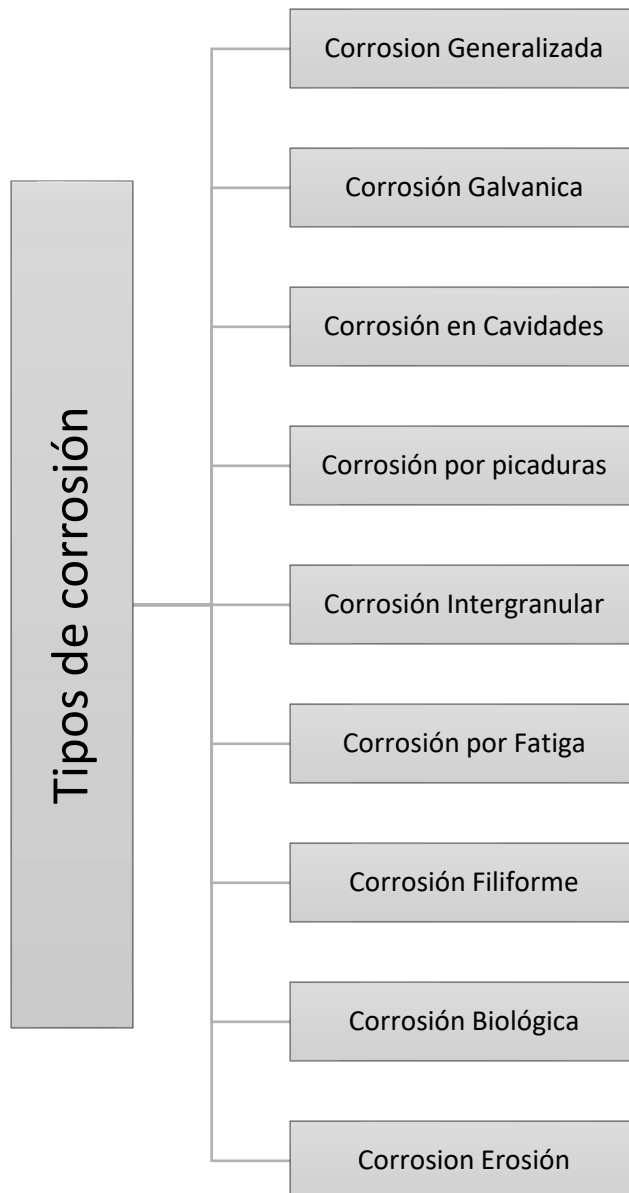


Figura 2.2 Tipos de corrosión.



La investigación se centrará en tres tipos de corrosión, corrosión localizada, corrosión generalizada y corrosión por picaduras, según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 que los define de la siguiente manera:

### 2.1.3.1 Corrosión localizada.

La corrosión localizada, que en inglés se denomina spot rusting, ocurre cuando la mayor parte de la oxidación se concentra en unas pocas áreas localizadas de la superficie pintada (ver figura 2.3).

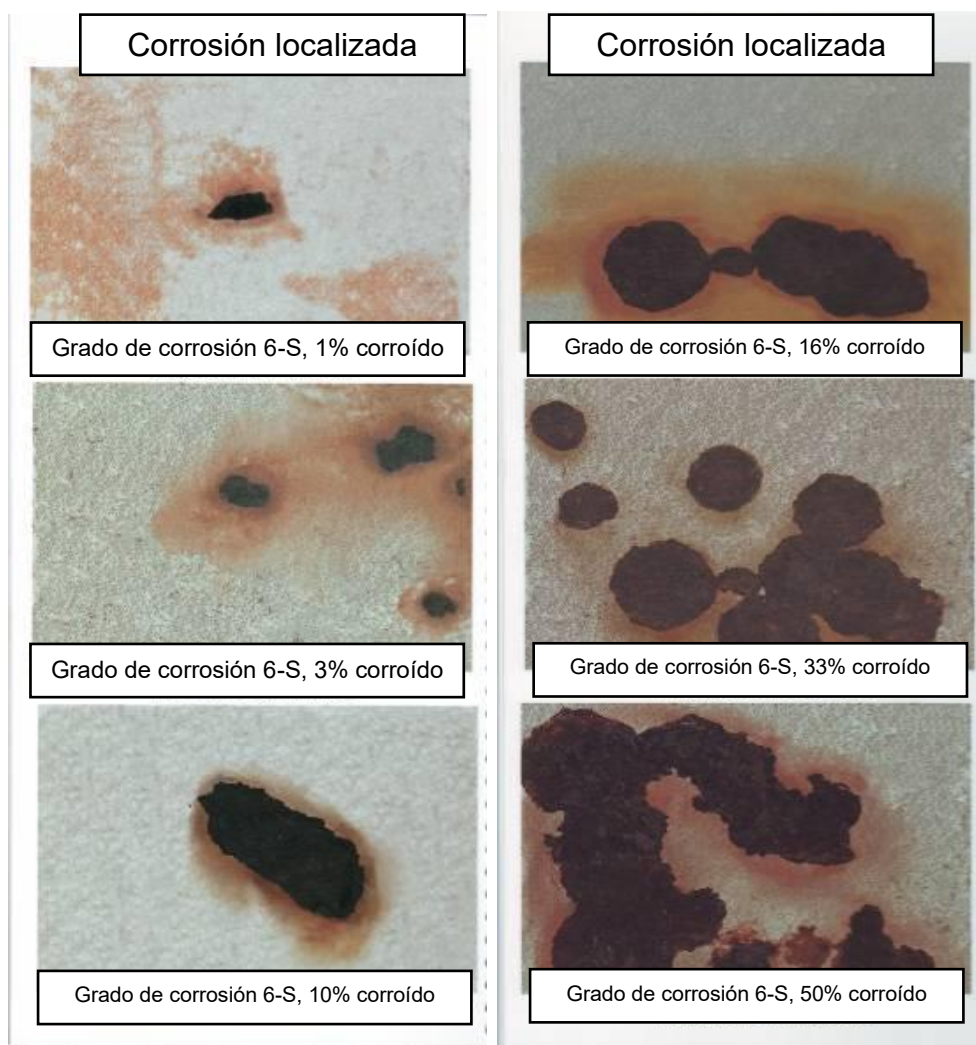


Figura 2.3 Corrosión Localizada según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016.

### 2.1.3.2 Corrosión generalizada

La corrosión generalizada, que en inglés se denomina general rusting, ocurre cuando varias manchas de óxido se distribuyen aleatoriamente por la superficie, (ver figura 2.4).

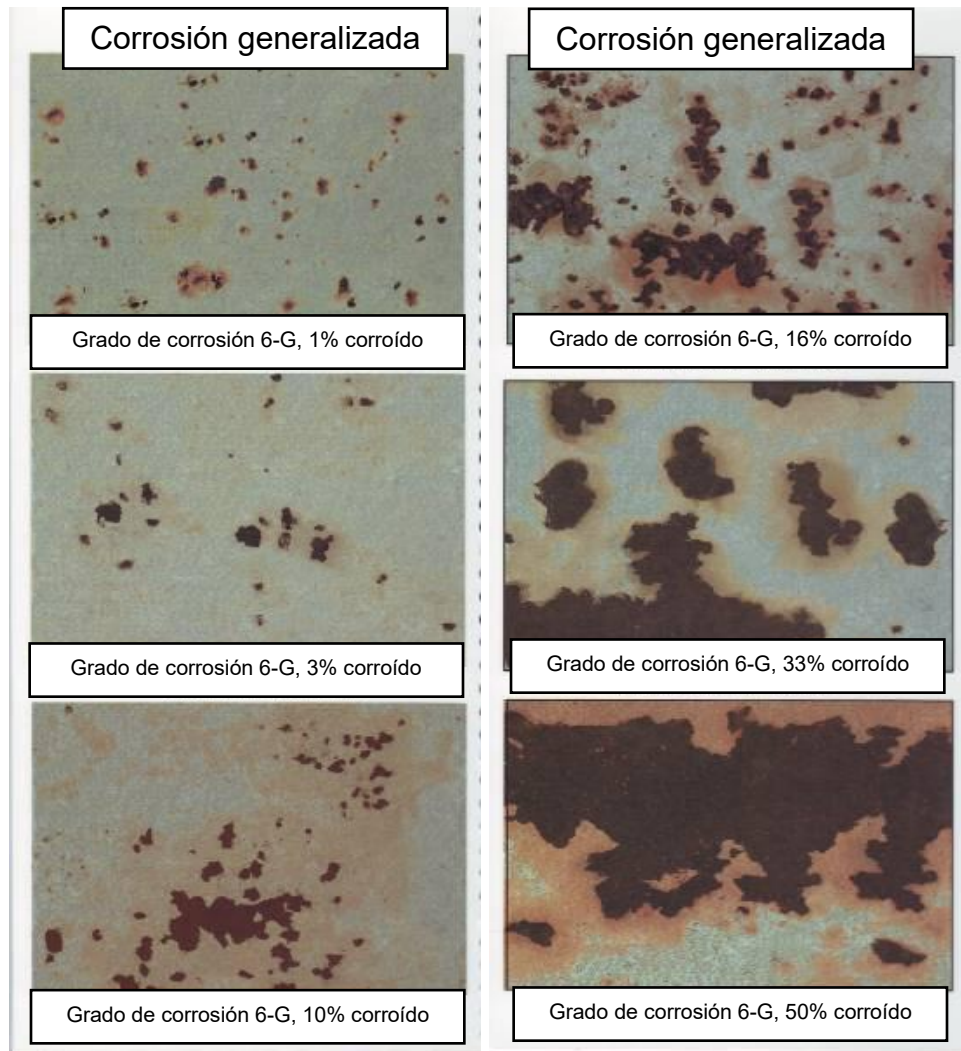


Figura 2.4 Corrosión generalizada según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016.

### 2.1.3.3 Corrosión por picadura

La corrosión por picadura, que en inglés se denomina pinpoint rusting, se produce cuando el óxido se distribuye por la superficie en forma de motas de óxidos muy pequeñas (ver figura 2.5).

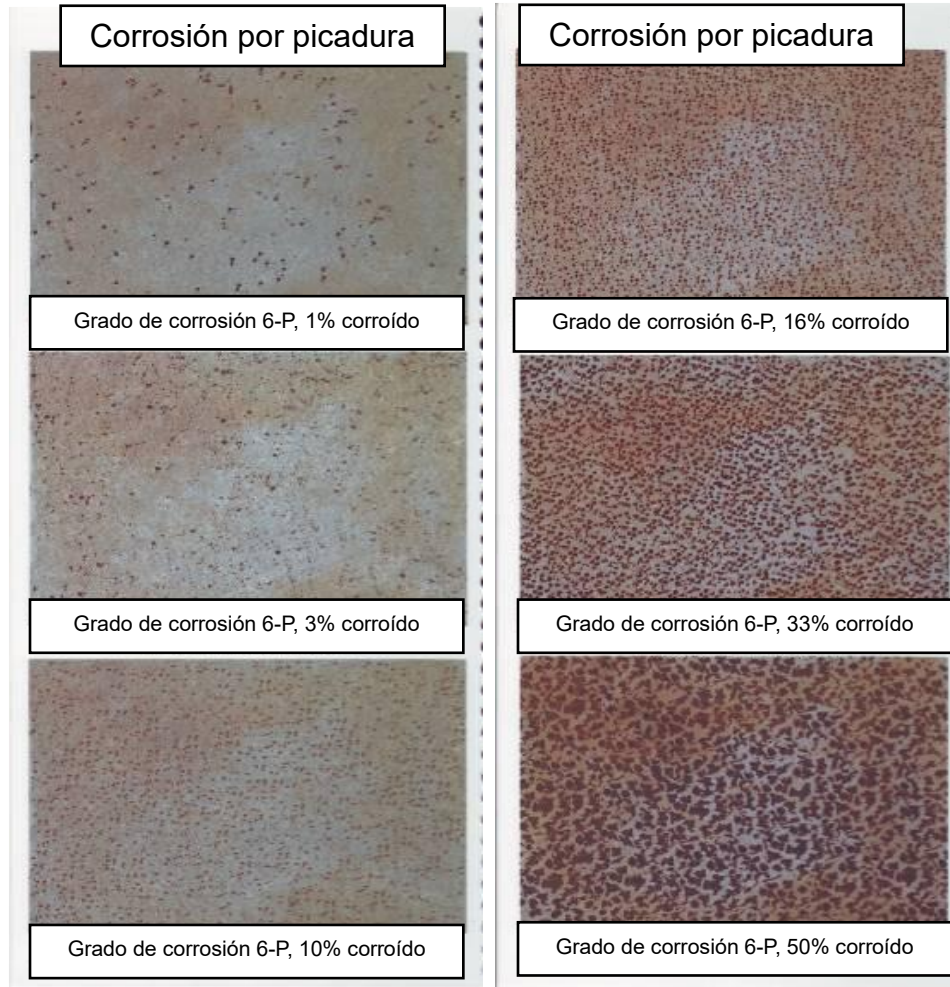


Figura 2.5 Corrosión por picadura según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016.

## 2.1.4 Ambiente corrosivo

Según la norma internacional ISO 12944:2017 Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectoras, son condiciones ambientales particulares con características de humedad, salinidad, y agentes químicos presentes en la atmosfera y en un lugar determinado, esta norma clasifica los ambientes corrosivos de la siguiente forma (ver figura 2.6).

<b>Ambiente muy poco corrosivo</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se puede encontrar en el interior de edificios calefaccionados con atmosferas neutra, oficinas, escuelas, comercios.</li></ul>
<b>Ambiente poco corrosivo</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ En el exterior se puede encontrar en atmosferas con bajos niveles de contaminación, principalmente rurales.</li><li>○ En el interior de edificios no calefaccionados donde puede haber condensación (depósitos, gimnasios)</li></ul>
<b>Ambiente medianamente corrosivo</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ En el exterior en atmósferas urbanas e industriales moderadamente contaminada de dióxido de azufre y áreas costeras con baja salinidad.</li><li>○ En el interior en áreas productivas con alta humedad y alguna contaminación del aire (lavaderos, comedores)</li></ul>
<b>Ambiente altamente corrosivo</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ En el exterior en áreas industriales y costeras con moderada salinidad.</li><li>○ En el interior en plantas químicas, natatorios, muelles costeros.</li></ul>
<b>Ambiente industrial muy alta corrosividad</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ En el exterior en áreas industriales con alta humedad y atmosferas agresivas.</li><li>○ En el interior en edificios o áreas con condensación casi permanente y con alta contaminación.</li></ul>
<b>Ambiente marino muy alta corrosividad</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ En el exterior en áreas costeras y marinas con alta salinidad.</li><li>○ En el interior en edificios o áreas con condensación casi permanente y con alta contaminación.</li></ul>

Figura 2.6 Clasificación de los ambientes corrosivos según norma internacional ISO 12944:2017.

## **2.2 Generalidades de las soldaduras.**

### **2.2.1 ¿Qué es la soldadura?**

La soldadura es un importante proceso de fabricación ampliamente utilizado para la producción de estructuras metálicas y muchos otros productos. Decenas de diferentes procesos de soldadura están disponibles para uso de la industria como la construcción, la fabricación de maquinaria, la industria automotriz, la aeronáutica y muchas otras. Es esencial para la fabricación y reparación de estructuras metálicas, tuberías, vehículos, barcos, equipos electrónicos y una amplia gama de productos (Modenesi y Moreno Uribe, 2022).

La soldadura se refiere a la unión o fusión de piezas mediante el uso de calor y compresión para que las piezas formen un continuo. La fuente de calor en la soldadura suele ser una llama de arco producida por la electricidad de la fuente de potencia de soldadura, generalmente se funde un metal de relleno en la costura de soldadura, ya sea usando un alimentador de alambre a través de la pistola de soldar o usando un electrodo de soldadura de alimentación manual. En esta situación, el metal de relleno debe tener aproximadamente el mismo punto de fusión que el material soldado, una vez que el material de aporte se enfría y solidifica, las piezas quedan unidas de forma permanente (KO, 2023).

El objetivo de soldar es unir dos o más piezas metálicas de igual o de distinta naturaleza de una manera perfecta, por medio de la aplicación, por lo general, calor de tal manera que los metales soldados conservan las propiedades mecánicas (resistencia, resiliencia y dureza) y las propiedades químicas del metal base (resistencia a la corrosión) (OXGASA, 2016).

## **2.2.2 Clasificación de las soldaduras.**

La soldadura se considera un proceso de unión de materiales en el cual se funden parcialmente las piezas a través de la aplicación de calor y/o presión. Muchos procesos usan solamente calor sin aplicar presión; otros combinando calor y presión (ver figura 2.7). La energía calorífica funde los bordes de los materiales metálicos logrando conformar una sola pieza con una nueva red cristalina, si en lugar de calor se aplica presión, la ruptura de la capa de óxido entre las crestas y valles se nivelan por la deformación plástica permitiendo el contacto de las superficies a unir (CECYT, 2018).

### **2.2.2.1 Soldadura por Fusión:**

Este proceso utiliza calor para fundir los materiales a unir, se usa un segundo material conocido como aporte que iguala o mejora las propiedades de la unión. Los procesos representativos de este proceso son: El arco eléctrico protegido y la soldadura oxiacetilénica (CECYT, 2018).

### **2.2.2.2 Soldadura por Presión:**

Proceso En este tipo de soldadura, la unión se obtiene mediante una presión aplicada a las superficies a unir previamente calentadas a determinada temperatura. Entre los procesos comunes de este tipo se encuentran la soldadura por fragua y la soldadura por resistencia eléctrica (CECYT, 2018).

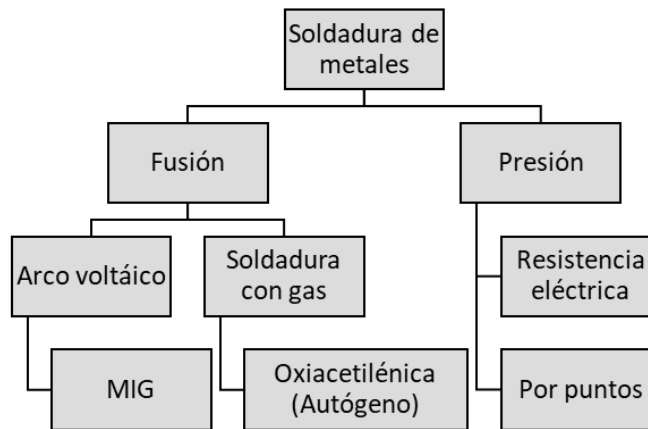


Figura 2.7 Clasificación de las soldaduras.

### 2.2.3 Métodos de soldadura

Los métodos de soldaduras de interés en esta investigación son los siguientes: Soldadura autógena, soldadura MIG y soldadura por resistencia eléctrica.

#### 2.2.3.1 Soldadura Autógena

El método de soldadura por gas consiste en una llama dirigida por un soplete, obtenida por medio de la combustión de los gases oxígeno-acetileno. El intenso calor de la llama (los cuales pueden alcanzar temperaturas aproximadas de 3,200°C) funde la superficie del metal base para formar una poza fundida. Con este proceso se puede soldar con o sin material de aporte. El metal de aporte es agregado para cubrir biseles y orificios. A medida que la llama se mueve a lo largo de la unión, el metal base, y el metal de aporte se solidifican para producir el cordón. Al soldar cualquier metal se debe escoger el metal de aporte adecuado, que normalmente posee elementos desoxidantes para producir soldaduras de buena calidad (ver figura 2.8) (OXGASA, 2016).

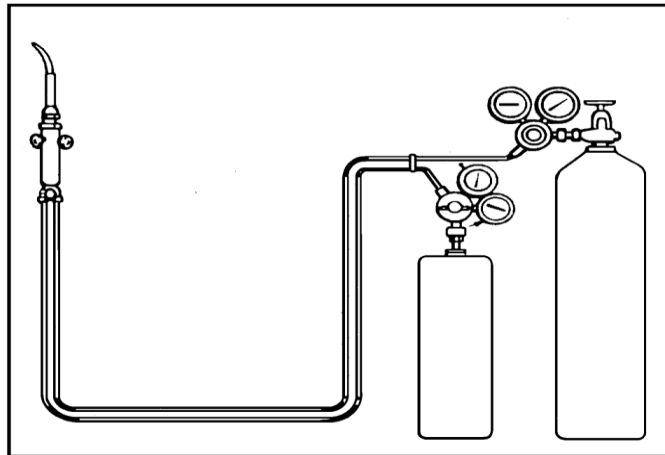


Figura 2.8 Sistema de soldadura por gas. (OXGASA, 2016).

Su mayor aplicación en la industria se encuentra en el campo de mantenimiento, reparación, soldadura de cañerías de diámetro pequeño y manufacturas livianas. También puede ser usado como fuente de energía calorífica para calentar, doblar, forjar o endurecer (OXGASA, 2016).

### **2.2.3.2 Soldadura MIG**

La soldadura MIG (Gas inerte metálico, por sus siglas en inglés) es uno de los métodos de soldadura por arco voltaico en el cual se utiliza un gas inerte como gas de protección, es un tipo de soldadura con electrodos consumibles que utiliza un electrodo de descarga que se funde durante la soldadura. Este proceso se utiliza generalmente para unir piezas de acero inoxidable o aleaciones de aluminio véase en la figura 2.9. Se debe utilizar un tipo de gas de protección apropiado en función del metal que se vaya a soldar (KC, 2022).

Para el electrodo se utiliza un alambre de soldadura enrollado. El hilo enrollado se enlaza a la unidad de alimentación del hilo y se envía automáticamente a la punta de la antorcha mediante un rodillo de alimentación que es accionado por un motor eléctrico. El alambre se energiza cuando pasa a través de la punta de contacto. Se produce un arco entre el hilo y el material base, que funde el hilo y el material base



simultáneamente para soldarlos. Durante el proceso, el gas de protección se suministra a través de una boquilla en el área de soldadura y sus alrededores para proteger el arco y el baño de soldadura de la atmósfera (KC, 2022).

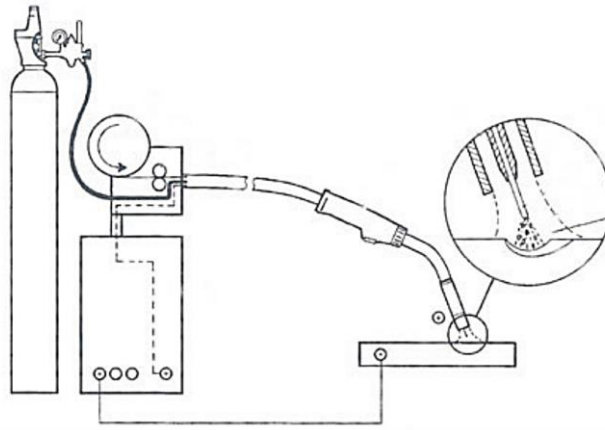


Figura 2.9 Esquema de soldadura MIG (DMYH, 2011).

### **2.2.3.3 Soldadura por Punto**

La soldadura por resistencia es un proceso termoeléctrico en el que se genera calor en la interfaz de las piezas que van a unirse (ver figura 2.10). Funciona con el paso de una corriente eléctrica a través de las piezas durante un tiempo controlado con precisión y bajo una presión controlada (AWT, 2023).

Dentro de los métodos de soldadura por resistencia se encuentra la soldadura por puntos, esta se basa en presión y temperatura. Dos piezas se sueldan entre sí cuando una parte de ellas se calienta a temperaturas próximas a la fusión y se hace presión entre ellas. En el caso de esta soldadura el calentamiento de la pieza se hace por corriente eléctrica entre dos electrodos y la presión la realiza dos electrodos en forma de pinza. Los electrodos tienen la función de hacer pasar la corriente a través de los metales a soldar y presionarlos, además deben estar aislados entre sí y acercarse de manera que estén alineadas sus puntas (MG, 2022).

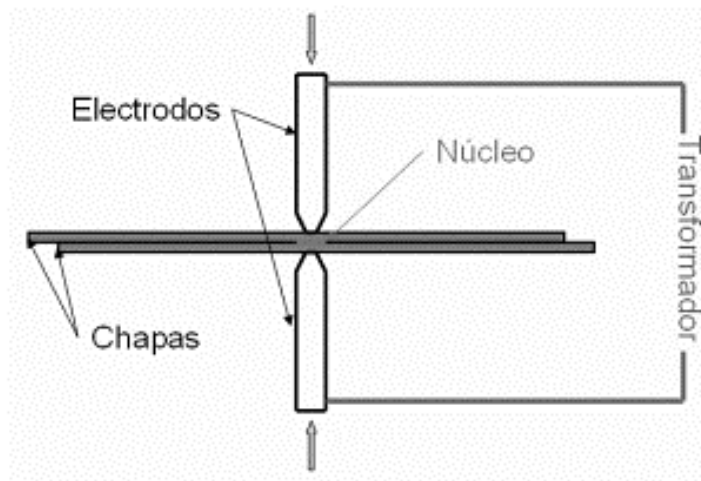


Figura 2.10 Sistema de soldadura por punto (MG, 2022).

## 2.2.4 Técnicas de soldadura

Las diferentes técnicas de soldaduras aplicadas en esta investigación son: por cordón y por punto.

### 2.2.4.1 Técnica de Soldadura por Cordón

Los electrodos que se utilizan en esta técnica de soldadura pueden ser consumibles o no consumibles, y las sustancias que componen los electrodos pueden ser de carácter ácido, básico, oxidante o neutro. Los electrodos consumibles pueden ser en forma de varillas o alambres. El arco eléctrico consume el electrodo durante el proceso de soldadura y este se añade a la unión fundida como metal de relleno. El equipo de soldadura funciona mediante corriente eléctrica, sin embargo, no puede ser usada directamente de la red eléctrica, sino que lleva unos transformadores que son capaces de suministrar las distintas intensidades según las necesidades del proceso (Díaz, 2023).

La técnica de cordón es el metal de soldadura que se deposita sobre la junta de las piezas para unir las. La soldadura propiamente dicha es la unión de varias piezas de metal base mediante un cordón de metal de aportación (ver figura 2.11) (Díaz, 2023).

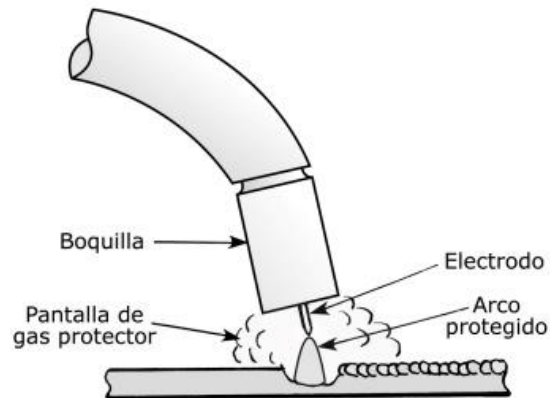


Figura 2.11 Esquema de soldadura por cordón (Rodríguez, 2001).

#### 2.2.4.2 Técnica de Soldadura por Puntos

Se basa en presión y temperatura al disponer los materiales bases entre electrodos, aplicando presión y corriente de forma secuencial, y produciendo lo que le da su nombre: uno o varios puntos de soldadura, utilizándose generalmente para soldadura de láminas y chapas metálicas en muchos procesos industriales (ver figura 2.12) (BFM, 2017).

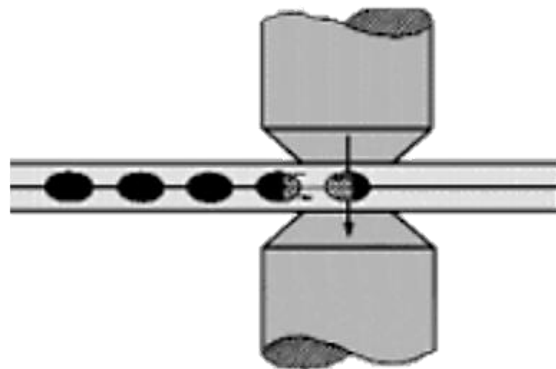


Figura 2.12 Técnica de soldadura por puntos (EAFNE, 2016).

### **2.3 Generalidades del acero al carbón A36**

Son aceros al carbono para la construcción que cumplen los requisitos de las normas ASTM A36. Son utilizados en la fabricación de artículos y piezas para usos generales del sector de la construcción y la ingeniería; y se caracteriza por tener una buena soldabilidad (MG, 2006).

El acero al carbón ASTM36 está compuesto por hierro y carbono. Además, se le pueden adicionar otros elementos como silicio, fósforo, azufre y oxígeno. Su composición química es de carbón (máximo) 2%, manganeso 0.08, fósforo (máximo) 0.04%, sulfuro (máximo) 0.05%, silicio 0.40 máximo, cobre (mínimo) 0.2%. Es importante mencionar que la composición química de este tipo de placa puede variar dependiendo del espesor (AMF, 2022).

Para el desarrollo de esta investigación el material que se utilizará será acero al carbón ASTM A36 con un espesor de 3/64 pulgadas.

### **2.4 Recubrimientos**

Un recubrimiento o pintura líquida es una mezcla heterogénea de productos que una vez aplicada y seca se transforma en una película continua sin pegajosidad y con características específicas de diseño, por ejemplo, características anticorrosivas (Calvo Carbonell, 2009).

Los recubrimientos anticorrosivos se diseñan específicamente para retardar el efecto corrosivo a través de diferentes tecnologías. Entre los recubrimientos anticorrosivos se encuentran: resinas epóxicas, resinas alquídicas, recubrimientos ricos en zinc y poliuretano alifático (Rosas Lugo, 2012).

### **2.4.1 Recubrimientos epóxicos**

Los recubrimientos epóxicos son polímeros de alto rendimiento que ofrecen una protección integral contra el desgaste, derrames químicos, impactos y además evita la corrosión. Es un producto que se puede utilizar con facilidad en elementos de concreto y madera, así como en metales como distintos tipos de acero, cobre, plomo y en estructuras expuestas al agua de mar (Goytia, 2023).

Según la hoja técnica del recubrimiento epóxico de nombre comercial Macropoxy 646 FC, este es un epóxico poliamida alto en sólidos, de alto espesor, de secado rápido, diseñado para proteger el acero y el concreto en exposiciones industriales. Para la aplicación de este tipo de recubrimiento, la superficie debe de estar limpia, seca y en buenas condiciones; es necesario remover todo el aceite, polvo, grasa, suciedad, óxido suelto, y demás material extraño para asegurar una adherencia adecuada, según lo detalla la sección de preparación de superficie en la hoja técnica del producto.

Para la preparación de la superficie se trabajará con la norma internacional SSPC-VIS 3:2016 Guía y fotografías de referencias para superficies de acero preparadas mediante limpieza con herramientas manuales y mecánicas.

Esta guía consta de fotografías en color que representan varias condiciones de superficies de acero sin pintar, pintadas, oxidadas y soldadas antes y después de la limpieza con herramientas manuales y mecánicas.

## **2.5 Normas y estándares internacionales para la evaluación del desempeño de la resistencia a la corrosión de los recubrimientos**

El desarrollo de este trabajo de aplicación se utilizarán las siguientes normativas, la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 para la evaluación del tipo y grado de corrosión, la norma internacional ASTM D714:2002 para la evaluación de la formación de ampollas en pinturas.

### **2.5.1 ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 Método estándar para la evaluación del grado de corrosión en superficies de acero pintadas**

Este estándar cuantifica el grado de corrosión sobre superficies de acero pintadas con una escala de 0 a 10 basado en el porcentaje de corrosión visible presente sobre la superficie. La clasificación de la corrosión son las siguientes: corrosión localizada, corrosión generalizada y corrosión por picaduras. Las fotografías de referencia estándar representan la aparición de superficies de acero pintadas con el porcentaje promedio de corrosión para varias distribuciones de corrosión. Tanto las fotografías a color como las fotografías en blanco y negro permiten al evaluador asignar una calificación del grado de corrosión.

### **2.5.2 ASTM D714:2002 Método estándar para la evaluación de la formación de ampollas en pinturas**

Esta norma presenta una serie de fotografías que se sirven para la evaluación por comparación la formación de ampollas en los recubrimientos que se han expuestos a un ambiente corrosivo, esta norma clasifica las ampollas por el tamaño y frecuencia de formación, el tamaño de las ampollas está definido en una escala numérica de 10 a 0, en la que el número 10 representa que no se forman ampollas. El estándar de ampolla No. 8 representa la ampolla de tamaño más pequeño que se ve fácilmente a simple vista. Los patrones de ampollas números 6, 4 y 2 representan tamaños progresivamente mayores; para la frecuencia de formación se define con la densidad de las ampollas y se clasifica de la siguiente manera: Poca densidad (F), Densidad media (M), Densidad intermedia (MD) y Denso (D).

### 3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Enfoque metodológico

El enfoque metodológico de este trabajo de aplicación se enmarca en el tipo cuantitativo experimental, ya que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos, los cuales se obtendrán utilizando las herramientas optimas, viables y factibles; y la puesta en marcha de un diseño experimental, interpretando los resultados con enfoque hacia los objetivos planteados (ver figura 3.1).

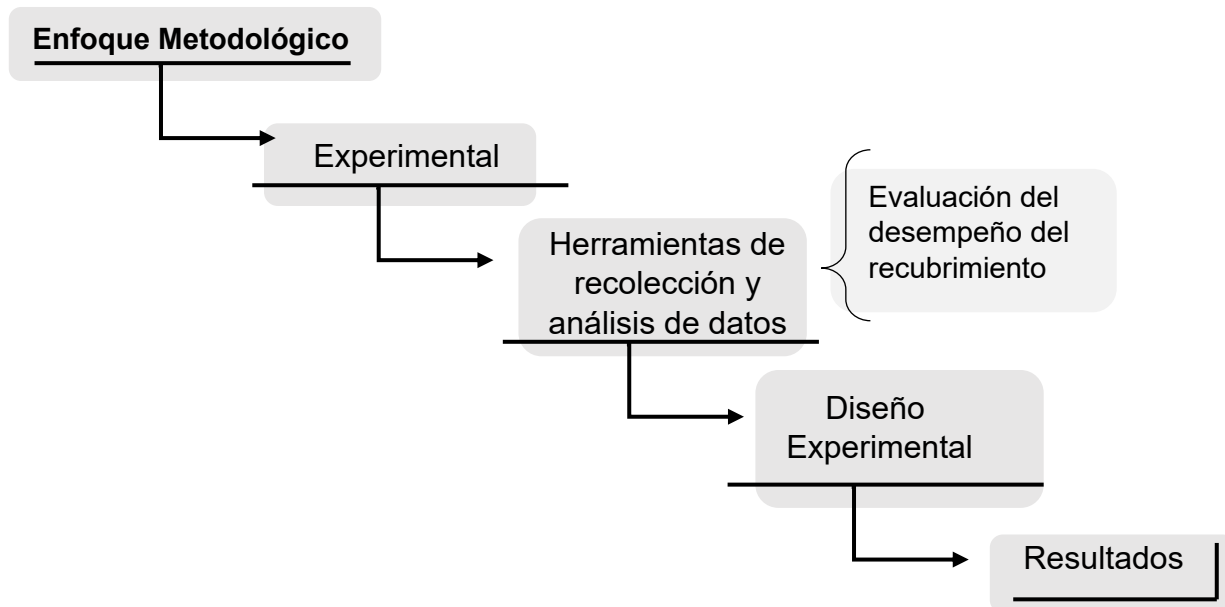


Figura 3.1 Etapas del enfoque metodológico para la obtención de resultados.

#### 3.2 Diseño experimental

El objetivo del diseño experimental es establecer una estrategia para realizar la caracterización y medición del efecto corrosivo que se genera sobre las placas de acero al realizar sobre ellas una unión por soldadura. En el esquema se muestra la

relación entre la variable causal, la soldadura; y la variable consecuente, el efecto corrosivo sobre el sustrato (ver la figura 3.2).

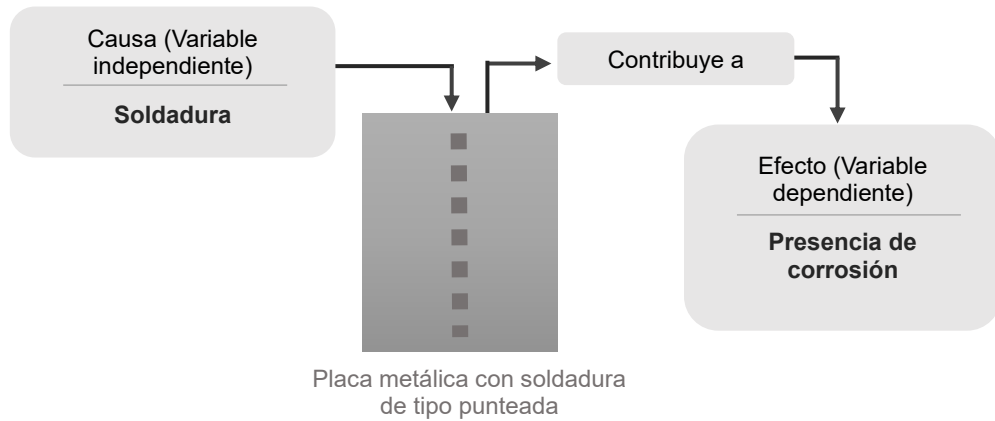


Figura 3.2 Esquema de la relación de variables independientes y dependientes.

El proceso de experimentación que se siguió para evaluar el efecto de la soldadura sobre el metal se divide en seis etapas: material, elaboración de especímenes, preparación de especímenes, recubrimiento de especímenes, ambiente de exposición, evaluación de normas y análisis de resultados. En cada etapa se indican los elementos que se tomaron en cuenta para el desarrollo del proceso y la definición del diseño experimental (ver figura 3.3).



Figura 3.3 Esquema general de elementos considerados para la definición del diseño experimental.



La parte experimental de este trabajo de aplicación se realizó a través de dos sistemas, el primero de ellos nombrado CSP que son las siglas del proceso de elaboración del espécimen según el orden: Cortado, Soldado, Pintado; también se dispondrá de un sistema secundario nombrado CPSP que son las siglas del proceso de elaboración del espécimen según el orden: Cortado, Pintado, Soldado y Pintado. (ver figura 3.4).

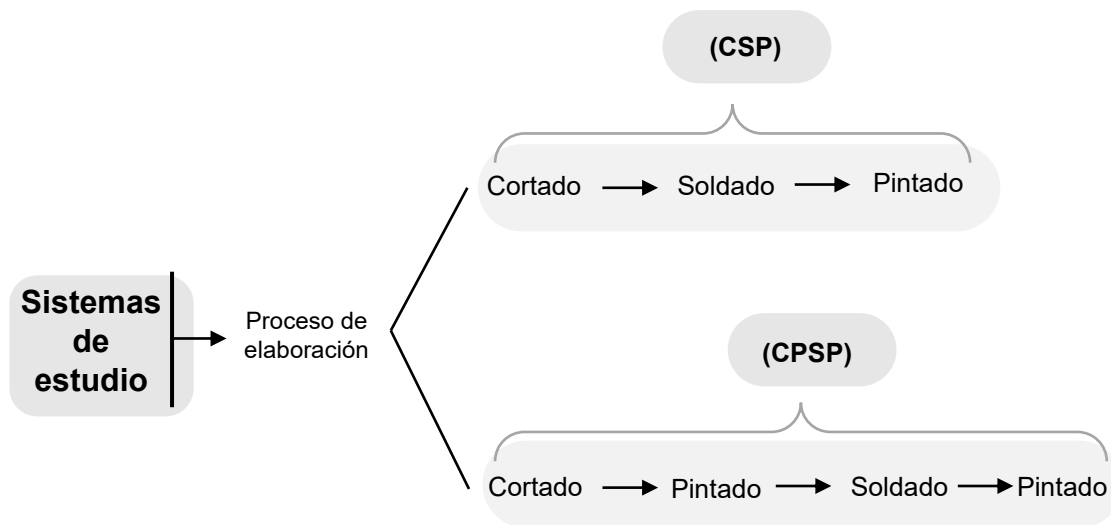
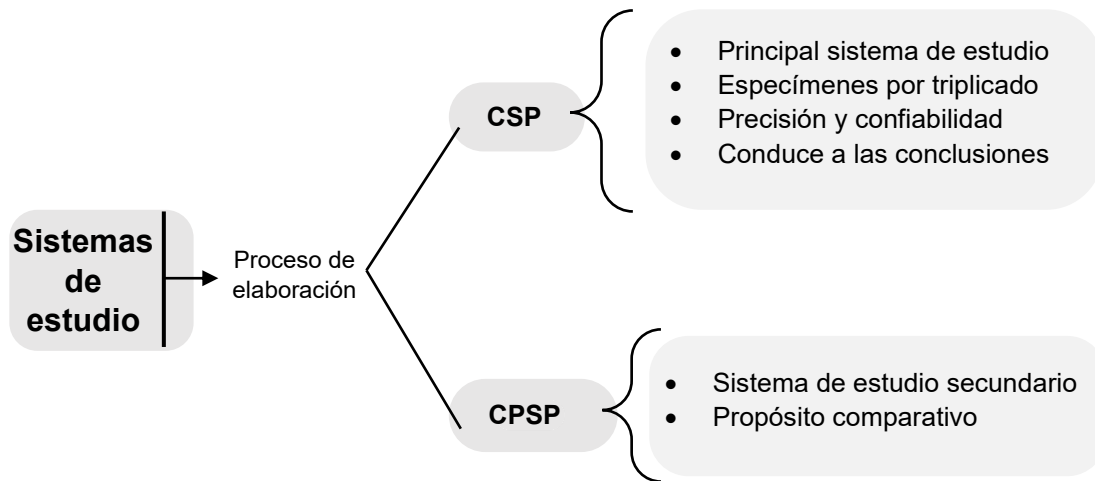


Figura 3.4 Proceso de elaboración de los sistemas de estudio.

El sistema de estudio CSP será el principal objeto de estudio, por lo tanto, para aumentar la precisión y confiabilidad de los resultados, se construirá un set de especímenes por triplicado. Para el sistema CPSP solamente se contará con un único set de especímenes para cada método de soldadura, con el propósito final de comparar y verificar si este set de muestras presentaría el mismo comportamiento que el sistema CSP (ver figura 3.5); ambos sistemas se someterán a 1250 horas dentro de las condiciones de la cámara de niebla salina.



*Figura 3.5 Jerarquía de estudio para los dos tipos de sistemas utilizados para la parte experimental.*

Para la fabricación de los especímenes del sistema CSP, como primer paso se realizó el corte de las placas de acero A36 con las siguientes dimensiones: 10 cm por 20 cm; luego se unieron las placas por soldadura, obteniendo 3 especímenes unidos por el método Autógeno, 3 especímenes unidos por el método MIG y tres especímenes unidos por el método por Punto.

Como segundo paso para el sistema CSP, se procedió a la preparación de superficies para la aplicación del recubrimiento anticorrosivo bajo la norma internacional SSPC-VIS 3:2016 con herramientas mecánicas. Como paso final los especímenes del sistema CSP se sometieron a 1250 horas dentro de la cámara de niebla salina, para evaluar el efecto corrosivo de soldaduras en superficies metálicas.

Adicionalmente, para la fabricación de los especímenes del sistema CPSP, la única variación, en comparación al sistema CSP, es que se agrega una capa extra del recubrimiento anticorrosivo, es decir dos capas, la primera aplicada después del corte, antes de realizar la unión; y la segunda capa, que se aplicó después haber

sido unidas por soldadura y haber vuelto a realizar la preparación de superficie con herramientas mecánicas según la norma internacional SSPC-VIS 3:2016.

La distribución de especímenes para pruebas de corrosión se muestra en la matriz de la tabla 3.1 clasificadas por sistema de preparación, método de soldadura y nomenclatura utilizada para identificación.

Tabla 3.1 Matriz de especímenes para pruebas de corrosión.

	Sistema CSP	Sistema CPSP
<b>Soldadura Autogena</b>	CSP01-ATG	CPSP-ATG
	CSP02-ATG	
	CSP03-ATG	
<b>Soldadura MIG</b>	CSP01-MIG	CPSP-MIG
	CSP02-MIG	
	CSP03-MIG	
<b>Soldadura por Punto</b>	CSP01-PNT	CPSP-PNT
	CSP02-PNT	
	CSP03-PNT	

### 3.2.1 El Sistema CSP

Se detalla la fabricación paso a paso del principal sistema de estudio, el CSP (ver figura 3.6) y en los numerales del 1 al 5 se describe los pasos para su procedimiento de fabricación.



Figura 3.6 Sistema CSP – Experimento.

1. Corte de placas de dimensión 10 cm por 20 cm.
2. Unión por soldadura de cada pareja de láminas mediante las técnicas de cordón y punto, para los tres respectivos métodos de soldadura.
3. Preparación de la superficie de los especímenes con herramientas de tipo mecánicas (disco de lijado) por medio de la norma internacional SSPC-VIS 3:2016, para luego proceder con la aplicación de la capa de recubrimiento epóxico.
4. Introducción de los especímenes en la cámara de niebla salina para acelerar el proceso de corrosión.
5. Monitoreo semanal del proceso de corrosión de cada espécimen.

### 3.2.2 El Sistema CPSP

Simultáneamente se trabajará con el sistema secundario CPSP con el fin de poder realizar una comparativa del efecto corrosivo cuando se agrega una capa extra en la preparación del espécimen (ver figura 3.7) y en los numerales del 1 al 6 se describe los pasos para su procedimiento de fabricación.



*Figura 3.7 Sistema CPSP - Experimento.*

1. Corte de placas de dimensión 10 cm por 20 cm.
2. Primera reparación de la superficie de los especímenes con herramientas de tipo mecánicas (disco de lijado) por medio de la norma internacional SSPC-VIS 3:2016, para luego proceder con la aplicación de la capa de recubrimiento epóxico.

3. Unión por soldadura de cada pareja de láminas mediante las técnicas de cordón y punto, para los tres respectivos métodos de soldadura.
4. Segunda preparación de la superficie de los especímenes con herramientas de tipo mecánicas (disco de lijado) por medio de la norma internacional SSPC-VIS 3:2016, para luego proceder con la aplicación de la capa de recubrimiento epóxico.
5. Introducción de los especímenes en la cámara de niebla salina para acelerar el proceso de corrosión.
6. Monitoreo semanal del proceso de corrosión de cada espécimen.

### 3.2.3 Resumen gráfico de la elaboración de especímenes

El metal utilizado para el desarrollo de este trabajo de aplicación fue acero al carbón A36 de espesor 3/64 pulgadas, se describe gráficamente las características generales de los especímenes y de su elaboración (ver figura 3.8).

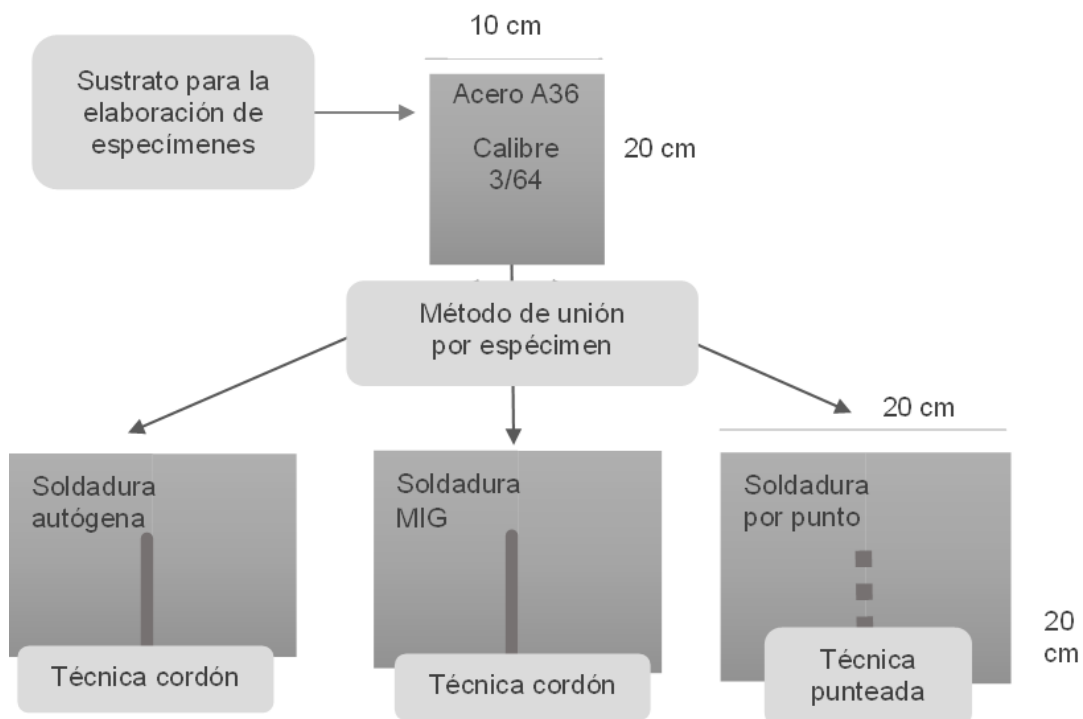


Figura 3.8 Diagrama de la elaboración de los especímenes y sus dimensiones.

La comparación entre métodos de soldadura y caracterización de las evidencias del efecto corrosivo como consecuencia de las soldaduras será el fundamento para establecer las conclusiones y las respuestas a los objetivos planteados. Para ello los valores de los parámetros de evaluación del tipo y grado de corrosión se determinarán a través de la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 y para la evaluación del parámetro de formación de ampollas, a través de la norma internacional ASTM D714:2002.

Consecuentemente, se puede inferir que el uso de los estándares solo es aplicable si existe una capa de recubrimiento sobre los especímenes, ya que la evaluación se basa en su desempeño frente a un ambiente altamente corrosivo acelerado para dar un valor numérico al grado de corrosión presente durante el periodo de exposición.

Proporcionar un ambiente altamente corrosivo acelerado permitirá alcanzar resultados significativos, es decir, el mayor grado de corrosión posible a corto plazo. Para ello se hará uso de la cámara de corrosión modelo Q-FOG de la marca Q-Lab, en adelante cámara de niebla salina, trabajando en condiciones establecidas en la norma ASTM D117:2011 Práctica estándar para el funcionamiento de aparato de niebla salina.

Después de obtener las respectivas puntuaciones para los parámetros de evaluación se procederá a la construcción de una escala de elaboración propia con base en los resultados obtenidos, esta etapa se discutirá con detalle en el capítulo 4, análisis de resultados.

### **3.3 Elaboración y observaciones de especímenes**

De las secciones 3.3.1 a 3.3.4 se describe el proceso de fabricación de especímenes.

### 3.3.1 Corte

Se trabajará con una lámina de Acero al carbón A36 de 3/64 pulgadas de espesor y con una dimensión de 2 metros por 1 metro. Proceso del corte de lámina (ver tabla 3.2).

*Tabla 3.2 Proceso de corte de lámina para fabricación de placas.*

Lamina A36	Maquina cortadora	Placa cortada
		

### 3.3.2 Soldadura


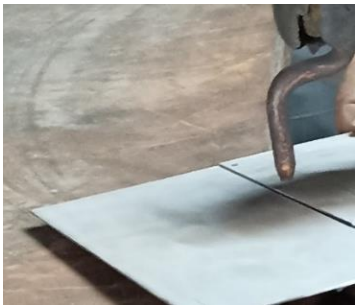

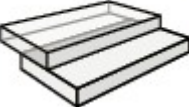
Se ilustran a continuación los métodos de soldadura, los equipos de soldadura y el tipo de unión de las placas (ver tablas 3.3 y 3.4).

*Tabla 3.3 Métodos de Soldaduras.*

Métodos de soldadura	Equipo para Soldar	Soldaduras	Tipo de unión
<p>Soldadura Autógena</p>			<p>A tope</p> 

Continúa...

Tabla 3.4 Métodos de Soldaduras (continuación).

Métodos de soldadura	Equipo para Soldar	Soldaduras	Tipo de unión
Soldadura MIG			<p>Unión a tope</p> 
Soldadura por punto			<p>Unión traslapada</p> 

### 3.3.3 Preparación de superficie

En este paso se realizó la limpieza mecánica de las placas con disco de lijado, siguiendo las instrucciones de la norma SSPC-VIS 3:2016 “Guía de fotografías de referencia para superficies de acero preparadas por herramientas manuales y mecánicas”. La descripción del tipo de limpieza mecánica que se realizó según el método de soldadura (ver tabla 3.5).









Tabla 3.5 Descripción de la preparación de Superficies.

Métodos de soldadura	Limpieza
Soldadura Autógeno Soldadura MIG	Limpieza con esmerilado, posteriormente se procede a hacer la limpieza mecánica con lija 320 por último se limpia con solvente Thinner.
Soldadura por punto	Limpieza mecánica con lija 320 y luego se limpia con solvente Thinner.

Descripción del tipo de limpieza mecánica que se realizó según el método de soldadura (ver tablas 3.6 y 3.7).

Tabla 3.6 Preparación de superficies.

Norma SSPC-VIS 3:2016	Condición inicial	Condición final
		
<b>Pulido con lija</b>		<b>Limpieza con solvente</b>
		

Continúa...

Tabla 3.7 Preparación de superficies (continuación).



### 3.3.4 Preparación de recubrimiento

Luego de realizar la preparación de superficies, se procedió a la aplicación del recubrimiento anticorrosivo epóxico Macropoxy 646; para la preparación de la mezcla se agregó una parte de pintura (parte A) y una parte de catalizador (parte B) en volumen, se mezcló y luego se dejó reposar por 30 minutos, se diluyó al 10% en volumen con el reductor y luego se aplicó con una pistola de aspersión de boquilla 1.5. Se preparó el lugar donde se dejó secar los especímenes durante 7 días como tiempo de curado (ver tablas 3.8 y 3.9).

Tabla 3.8 Aplicación de recubrimiento anticorrosivo.



Continúa...

Tabla 3.9 Aplicación de recubrimiento anticorrosivo (continuación).

Aplicación del recubrimiento	Secado del recubrimiento	Realización de corte
		

### 3.3.5 Cámara salina

Los especímenes se expondrán a un ambiente altamente corrosivo acelerado, el cual es simulado por la cámara salina modelo Q-FOG de la fabricante Q-Lab (ver figura 3.9), el equipo trabaja según la norma ASTM B117:2011, las condiciones de trabajo del equipo son: temperatura 35 °C, presión de 110 kPa, solución salina a una concentración del 5.3% p/v de NaCl.



Figura 3.9 Cámara de niebla salina Q-FOG

### 3.3.6 Formato para la toma de observaciones

Se utilizará el siguiente formato para la realización de las observaciones de los especímenes (ver figura 3.10).

Formato para Observaciones					
Fecha:					
Hora:					
Horas acumuladas:					
Temperatura:		Concentración:		Presión:	

		Sistema CSP			
		Código del espécimen	Grado de corrosión	Formación de ampollas	Observaciones
Soldadura Autógena	CSP01-ATG				
	CSP02-ATG				
	CSP03-ATG				
Soldadura MIG	CSP01-MIG				
	CSP02-MIG				
	CSP03-MIG				
Soldadura por Punto	CSP01-PNT				
	CSP02-PNT				
	CSP03-PNT				

		Sistema CPSP			
		Código del espécimen	Grado de corrosión	Formación de ampollas	Observaciones
Soldadura Autógena	CPSP-ATG				
Soldadura MIG	CPSP-MIG				
Soldadura por Punto	CPSP-PNT				

Figura 3.10 Formato de toma de resultados.

## **4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Durante el desarrollo del experimento se realizaron 9 observaciones de los especímenes por un periodo de tiempo de 1250 horas, las observaciones se realizaron cada semana aproximadamente, las condiciones de trabajo de la cámara de niebla salina fueron a una temperatura de 35 °C, una presión de 110 kPa y una concentración de 5.3 % p/v de NaCl.

Los resultados se presentarán en el primer punto por el grado de corrosión haciendo uso de la norma ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 y en segundo punto por el grado de formación de ampollas en la pintura haciendo uso de la norma ATSM D714:2002.

### **4.1 Resultados del grado de corrosión según la norma ASTM D 610/SSPC-VIS 2:2016**

Las observaciones se realizaron haciendo uso de la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016, con los estándares visuales fotográficos que presenta la norma, se hizo la comparación con los especímenes de estudio para determinar el tipo de corrosión y el grado de corrosión que presentaban con el avance del tiempo en la exposición de un ambiente altamente corrosivo acelerado, una consideración importante para este estudio es que las observaciones con el uso de la norma antes mencionada se realizarán sobre el corte del espécimen, se presenta el área de estudio de los especímenes (ver figura 4.1).

Durante la realización de las observaciones de los especímenes, por las características del daño ocasionado por la corrosión, se identificó que el tipo de corrosión presente fue corrosión localizada según la norma ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016, se presenta el ejemplo del uso de la norma (ver figura 4.2), asimismo se calificó el grado de corrosión de los especímenes, con esta información recopilada se presentaran los siguientes resultados.

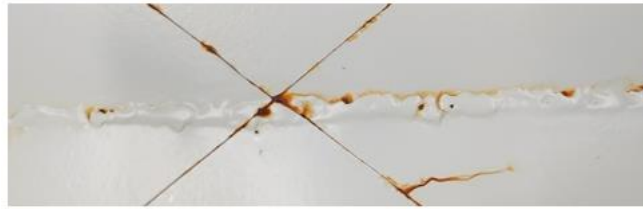


Figura 4.1 Ejemplo del área de estudio del espécimen CSP-ATG a 140 horas de exposición.

Corrosión localizada	Corrosión generalizada	Corrosión por picadura
Grado de corrosión 9-S, 0.03% corroído	Grado de corrosión 9-G, 0.03% corroído	Grado de corrosión 9-P, 0.03% corroído
Grado de corrosión 8-S, 0.1% corroído	Grado de corrosión 8-G, 0.1% corroído	Grado de corrosión 8-P, 0.1% corroído

Figura 4.2 Ejemplo de uso de la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 para determinar el tipo y grado de corrosión de los especímenes.

Los resultados se presentarán de la siguiente manera:

- El desempeño de los tres métodos de soldadura en sistema CSP.
- El desempeño de los tres métodos de soldadura en sistema CPSP.

#### 4.1.1 Desempeño de los tres métodos de soldadura en el sistema CSP

Uno de los objetivos de este trabajo de aplicación es determinar el desempeño de los métodos de soldaduras, con la ayuda de estándares visuales de la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 se determinó el grado de corrosión de los especímenes representado en porcentaje.

Para la evaluación de desempeño se tomará una puntuación de 25 el cual representa un 0% de corrosión y la puntuación de 0 para el mayor porcentaje de corrosión obtenido que correspondió al 12% para el sistema CSP (ver tabla 4.1).

Tabla 4.1 Escala para la asignación de la nota para evaluar el desempeño contra el efecto corrosivo.

	Calificación	Porcentaje de corrosión presentada
Mejor desempeño contra la corrosión	25 <sup>1</sup>	0%
Peor desempeño contra la corrosión	0	12%

Fórmula para calcular la calificación de desempeño (CD) de la soldadura:

$$CD = 25 - \frac{25 * \% \text{ corrosión del espécimen}}{12\%}$$

Ejemplo de cálculo de la Calificación de Desempeño para Observación #1 del sistema CSP-ATG.

$$DC_{\#1-CSP-ATG} = 25 - \frac{25 * \% \text{ corrosión del espécimen}}{12\%}$$

$$DC_{\#1-CSP-ATG} = 25 - \frac{25 * 0.1\%}{12\%}$$

$$DC_{\#1-CSP-ATG} = 25 - 0.2083$$

$$DC_{\#1-CSP-ATG} = 24.7917$$

De esa forma se generó la calificación de desempeño para los tres métodos de soldaduras (ATG, MIG y PNT) para el sistema CSP (ver tabla 4.2).

---

<sup>1</sup> Valor establecido de manera arbitraria para asignar el valor máximo al rango para la mejor evaluación al desempeño contra la corrosión.

Tabla 4.2 Tabla de resultados de desempeño de los métodos de soldadura del sistema CSP hasta un tiempo acumulado de 1250 hora.

Observaciones	Tiempo (horas acumuladas)	ATG-CSP	PNT-CSP	MIG-CSP
Observación inicial	0	25.00	25.00	25.00
Observación 1	140	24.79	24.79	24.94
Observación 2	240	22.92	22.92	24.79
Observación 3	340	20.83	20.83	24.38
Observación 4	410	18.75	19.79	22.92
Observación 5	505	14.58	17.71	21.88
Observación 6	660	12.50	16.67	20.83
Observación 7	810	8.33	14.58	18.75
Observación 8	960	4.17	12.50	17.71
Observación 9	1250	0.00	9.38	16.67

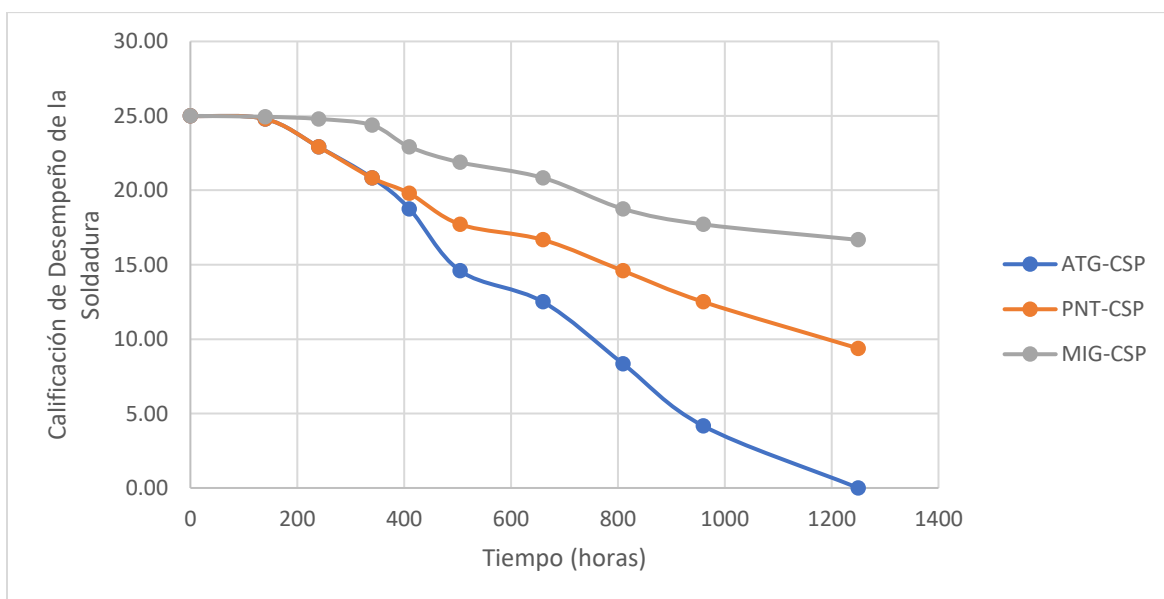


Figura 4.3 Gráfico comparativo del desempeño de los tres métodos de soldadura en el sistema CSP vs. el tiempo acumulado.

En la figura 4.3 en el gráfico se puede observar el que método de soldadura que presento un mejor desempeño respecto a la resistencia a la corrosión con el sistema CSP durante un periodo de evaluación de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina es la soldadura MIG.



#### 4.1.2 Desempeño de los tres métodos de soldadura en el sistema CPSP

Uno de los objetivos de este trabajo de aplicación es determinar el desempeño de los métodos de soldaduras, con la ayuda de estándares visuales de la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 se determinó el grado de corrosión de los especímenes representado en porcentaje.

Para la evaluación del desempeño se tomará una puntuación de 25 el cual representa un 0% de corrosión y la puntuación de 0 para el mayor porcentaje de corrosión obtenido que correspondió al 5.5% para el sistema CPSP (ver tabla 4.3).

*Tabla 4.3 Escala para la asignación de la nota para evaluar el desempeño contra el efecto corrosivo.*

	Calificación	Porcentaje de corrosión presentada
Mejor desempeño contra la corrosión	25 <sup>2</sup>	0%
Peor desempeño contra la corrosión	0	5.5%

Fórmula para calcular la calificación de desempeño (CD) de la soldadura:

$$CD = 25 - \frac{25 * \% \text{ corrosión del espécimen}}{5.5\%}$$

---

<sup>2</sup> Valor establecido de manera arbitraria para asignar el valor máximo al rango para la mejor evaluación al desempeño contra la corrosión.

Ejemplo de cálculo de la Calificación de Desempeño para Observación #1 del sistema CPSP-ATG.

$$DC_{\#1-CPSP-ATG} = 25 - \frac{25 * \% \text{ corrosión del espécimen}}{5.5\%}$$

$$DC_{\#1-CPSP-ATG} = 25 - \frac{25 * 0.03\%}{5.5\%}$$

$$DC_{\#1-CPSP-ATG} = 25 - 0.1364$$

$$DC_{\#1-CPSP-ATG} = 24.8636$$

De esa forma se generó la calificación de desempeño para los tres métodos de soldaduras (ATG, MIG y PNT) para el sistema CPSP (ver tabla 4.4).

Tabla 4.4 Tabla de resultados de desempeño de los métodos de soldadura del sistema CPSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas.

Observaciones	Tiempo (horas acumuladas)	ATG-CPSP	PNT-CPSP	MIG-CPSP
Observación inicial	0	25.00	25.00	25.00
Observación 1	140	24.86	24.86	24.86
Observación 2	240	24.55	24.55	24.55
Observación 3	340	23.64	23.64	23.64
Observación 4	410	20.45	22.73	22.73
Observación 5	505	11.36	20.45	21.82
Observación 6	660	6.82	18.18	20.45
Observación 7	810	4.55	13.64	18.18
Observación 8	960	2.27	9.09	15.91
Observación 9	1250	0.00	2.27	13.64

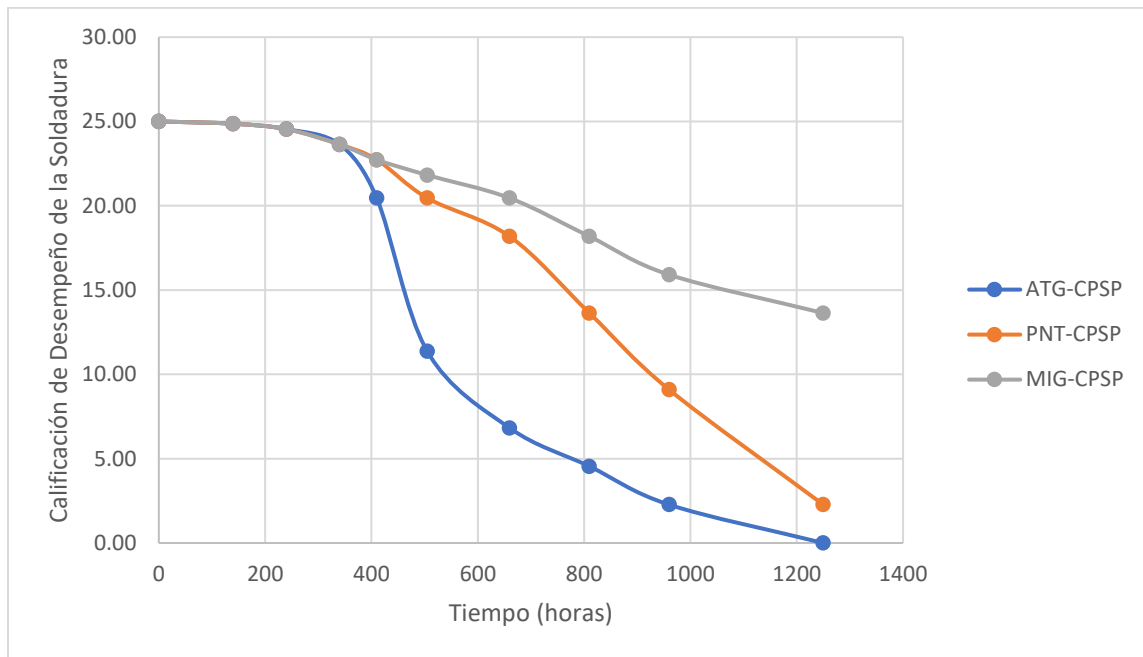


Figura 4.4 Gráfico comparativo del desempeño de los tres métodos de soldadura en el sistema CPSP vs. el tiempo acumulado.

En la figura 4.4 en el gráfico se puede observar que el método de soldadura que presentó un mejor desempeño respecto a la resistencia a la corrosión con el sistema CPSP durante un periodo de evaluación de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina es la soldadura MIG.

## 4.2 Resultados del grado de formación de ampollas según la norma ASTM D714:2002

Durante el desarrollo del monitoreo se observó la formación de ampollas en los especímenes y con ayuda de la norma ASTM D714:2002 se idéntico el tamaño y la frecuencia de las ampollas para los tres métodos de soldaduras para los sistemas CSP (ver tabla 4.5) y CSPS (ver tabla 4.6).

#### 4.2.1 Resultados del grado de formación de ampollas del sistema CSP

Tabla 4.5 Tabla resumen de la formación de ampollas de los métodos de soldadura para el sistema CSP para un tiempo acumulado de 1250 horas.

Sistema CSP																	
Tiempo de exposición (horas)	Métodos de Soldadura	Ampolla N° 8				Ampolla N° 6				Ampolla N° 4				Ampolla N° 2			
		F	M	MD	D	F	M	MD	D	F	M	MD	D	F	M	MD	D
140	ATG																
	MIG																
	PNT					★											
240	ATG																
	MIG																
	PNT													★			
340	ATG					★											
	MIG																
	PNT														★		
410	ATG									★							
	MIG																
	PNT														★		
505	ATG										★						
	MIG					★				★							
	PNT														★		
660	ATG										★						
	MIG					★											
	PNT														★		
810	ATG										★						
	MIG					★				★							
	PNT														★		
960	ATG															★	
	MIG										★						
	PNT														★		
1250	ATG															★	
	MIG										★						
	PNT														★		

De la tabla resumen 4.3 se idéntico que el método de soldadura que presentó un menor fallo del recubrimiento por la formación de ampollas con el sistema CSP para un tiempo de evaluación de 1250 horas de exposición en la cámara salina fue la soldadura MIG.

## 4.2.2 Resultados del grado de formación de ampollas del sistema CPSP

Tabla 4.6 Tabla resumen de la formación de ampollas de los métodos de soldadura para el sistema CPSP para un tiempo acumulado de 1250 horas.

Sistema CPSP																	
Tiempo de exposición (horas)	Métodos de Soldadura	Ampolla N° 8				Ampolla N° 6				Ampolla N° 4				Ampolla N° 2			
		F	M	MD	D	F	M	MD	D	F	M	MD	D	F	M	MD	D
140	ATG																
	MIG																
	PNT																
240	ATG																
	MIG																
	PNT																
340	ATG																
	MIG																
	PNT																
410	ATG																
	MIG																
	PNT																
505	ATG																
	MIG																
	PNT																
660	ATG																
	MIG																
	PNT																
810	ATG																
	MIG										★						
	PNT																
960	ATG																
	MIG										★						
	PNT																
1250	ATG																
	MIG										★						
	PNT																

De la tabla resumen 4.4 se idéntico que los métodos de soldaduras que presentó un menor fallo del recubrimiento por la formación de ampollas con el sistema CPSP para un tiempo de evaluación de 1250 horas de exposición en la cámara salina fueron la soldadura autógena y soldadura por punto.

## CONCLUSIONES

1. Se aplicaron tres métodos de soldadura (Autógena, MIG y Punto) sobre la superficie metálica de acero al carbón A36 con recubrimiento anticorrosivo epóxico. Se utilizó la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 para identificar el tipo de corrosión de cada método. Se encontró que el tipo de corrosión presentado en todos los casos fue de tipo localizada para un tiempo de evaluación de 1250 horas en exposición a un ambiente altamente corrosivo controlado (cámara salina).
2. Para la comparación del grado de corrosión para los métodos de soldadura aplicados en superficie metálica de acero al carbón A36 con recubrimiento anticorrosivo, se usó la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 que permiten evaluar el tipo y el grado de corrosión en acero recubierto. Los resultados obtenidos para un tiempo de evaluación de 1250 horas en exposición a un ambiente altamente corrosivo controlado (cámara salina) se muestran en la siguiente tabla:

<b>Método de soldadura</b>	<b>Grado de corrosión (%)</b>	<b>Comparación</b>
MIG	4	Mejor desempeño
Por punto	7.5	Desempeño intermedio
Autógena	12	Peor desempeño

3. En base al resultado cuantitativo el espécimen con el método de soldadura óptimo para preservar la integridad y la durabilidad de la superficie metálica, basado en los criterios y las evidencias del grado de corrosión y formación de ampollas, fue la soldadura de método MIG presentando la mejor puntuación en referencia a los parámetros evaluados.

## RECOMENDACIONES

1. Este trabajo puede ser una base para futuras investigaciones que profundicen en el tema, con diferentes condiciones y variables, entre las cuales se pueden sugerir las técnicas de soldaduras, espesores de lámina, ambientes corrosivos, tipo de metal, o comparación entre metales, etc. que amplíen los hallazgos del presente trabajo.
2. En base a los resultados de la comparación entre los especímenes con sistemas de preparación CSP y CPSP, se observó un tema potencial para un trabajo de aplicación que estudie más a profundidad y con mayor representatividad el efecto que una capa extra de protección y tratamiento de limpieza pueda generar en la evaluación del desempeño del recubrimiento frente a la corrosión.

## BIBLIOGRAFÍA

Ahmad, Z. (2006). *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control* (1ª ed.). Oxford, Reino Unido: Elsevier.

AWT. (2023). *Soldadura por resistencia*. Amada Weld Tech. Monrovia, California. Obtenido de <https://n9.cl/0w21g>

BFM. (2017). *Soldadura por Puntos*. British Federal México. Querétaro, México. Obtenido de <https://n9.cl/parze>

Calvo Carbonell, J. (2009). *Pinturas y Recubrimientos: Introducción a su Tecnología* (1ª ed.). Madrid, España: Diaz de Santos.

Díaz, L. (2023). *Tipos de Soldaduras*. ARCOSA. Guadalajara, México. Obtenido de <https://rb.gy/qi69sn>

DMYH. (2011). *Introducción a la soldadura MIG*. De Maquinas Y Herramientas. Argentina. Obtenido de <https://rb.gy/i4li1k>

Goytia, O. (2023). *¿Sabes qué son los recubrimientos epóxicos y sobre qué se aplican?*. Cementos Torices. Tultitlán, México. Obtenido de <https://rb.gy/j0vj1c>

KO. (2023). *¿Qué es la soldadura?*. Kemppi Oy. Lahti, Finlandia. Obtenido de <https://rb.gy/l5v5jn>

KC. (2022). *Soldadura MIG*. Keyence Corporation. Osaka, Japón. Obtenido de <https://n9.cl/8n5gr>

MG. (2022). *La Soldadura por Puntos*. Maquituls Group. Ciudad Real, España. Obtenido de <https://n9.cl/upjd>

MG. (2006). *Aceros ASTM A36*. Metinvest Group. Mariupol, Ucrania. Obtenido de <https://n9.cl/wj3an>

Modenesi, P. J. y Moreno Uribe, A. M. (2022). *Fundamentos de la física del arco eléctrico en soldadura*. (Vol. Tomo I). Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.

NACE International. (2002). *Corrosion Cost and Preventive Strategies on the United States*. National Association of Corrosion Engineers International. Houston, Texas. Obtenido de <https://n9.cl/cb4db>



Organización Internacional de Normalización. (2017). *Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectoras*. (ISO 12944).

OXGASA. (2016). *Manual del Soldador*. Oxígeno y Gases de El Salvador. San Salvador, El Salvador. Obtenido de <https://n9.cl/3jdfp>

AMF. (2022). *Placa A36: Propiedades y Especificaciones*. Aceros y Materiales Ferrosos. Monterrey, México. Obtenido de <https://n9.cl/2v9e8>

Revie, R. y Uhlig, H. (1907). *Corrosion and Corrosion Control*. (4ª ed.). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Rodríguez, P. C. (2001). *Manual de Soldadura Eléctrica MIG y TIG*. (1ª ed.). Buenos Aires, Argentina: Librería y Editorial Alsina.

Rosas Lugo, J. R. (2012). *Estudio de la velocidad de corrosión en acero estructural ATMS A-36 con recubrimiento orgánico, empleando espectroscopia de impedancia electroquímica*. Trabajo de grado para optar al título de Licenciado en Física. Universidad de Oriente Núcleo de Sucre, Cumaná, Venezuela.

Schmitt, R. (2009). *Global Needs for Knowledge Dissemination*. World Corrosion Organization. New York.

Smith, F. W. y Javad, H. (2006). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*. México: McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S. A. DE C. V.

Sociedad de Americana de Pruebas y Materiales. (2002). *Método estándar para la evaluación de la formación de ampollas en pinturas*. (ASTM D714)

Sociedad de Recubrimientos Protectores. (2016). *Método estándar para la evaluación del grado de corrosión en superficies de acero pintadas*. (SSPC-VIS 2).

Sociedad de Recubrimientos Protectores. (2016). *Guía y fotografías de referencias para superficies de acero preparadas mediante limpieza con herramientas manuales y mecánicas*. (SSPC-VIS 3).

EAFNE. (2016). *Soldadura por punto de resistencia*. Elementos Amovibles y Fijos No Estructurales. Cantabria, España. Obtenido de <https://n9.cl/46ut2>

CECYT. (2018). *Procesos en Soldadura*. Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos N° 4 Lazaro Cardenas. Ciudad de México. Obtenido de <https://n9.cl/9jk03>




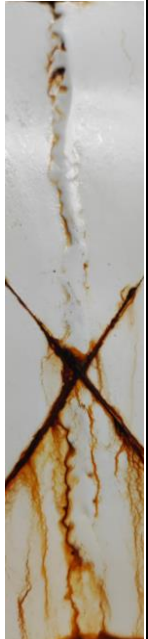
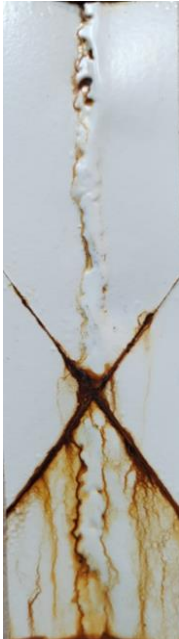
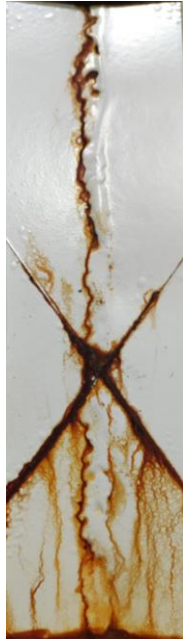



## ANEXOS

### Anexo A1: Tabla de resultados de observaciones según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 y ASTM D714:2002 de la soldadura autógena del sistema CSP

Tabla A.1.1 Resultados de observaciones del método de soldadura autógena del sistema CSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.

Observaciones	Tiempo (horas acumuladas)	CSP-ATG	
		Porcentaje de Corrosión	Formación de ampollas
0	0	0	No
1	140	0.1%	No
2	240	1%	No
3	340	2%	# 6 - poco
4	410	3%	# 4 - poco
5	505	5%	# 4 - medio
6	660	6%	# 4 - medio denso
7	810	8%	# 4 - medio denso
8	960	10%	# 2 - medio denso
9	1250	12%	# 2 - medio denso

Tabla A.1.2 Avance de la corrosión en el tiempo para la soldadura autógena para el sistema CSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.


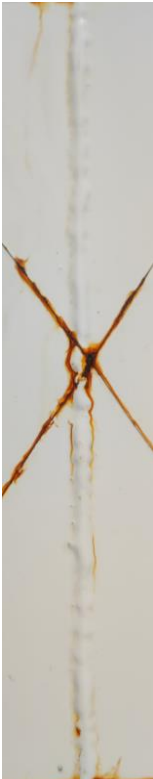
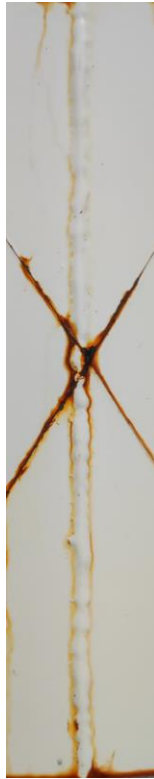
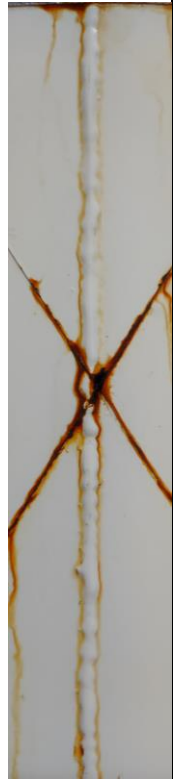

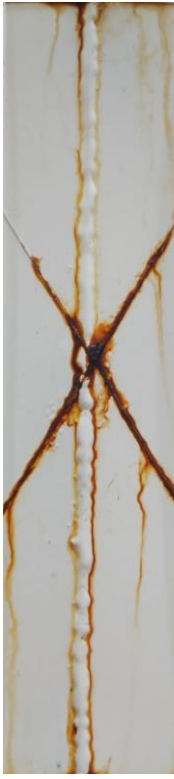
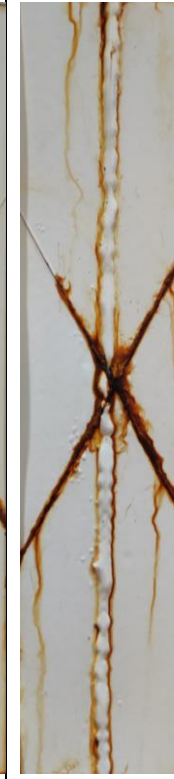
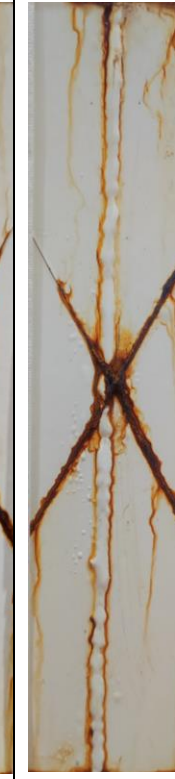
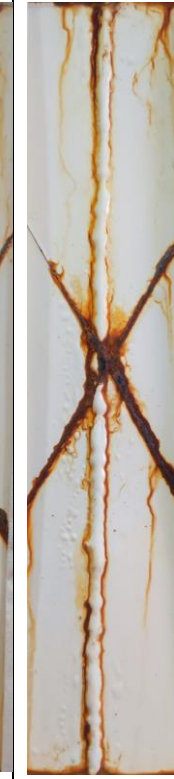
<b>Método de soldadura autógena sistema CSP</b>								
Observación 1	Observación 2	Observación 3	Observación 4	Observación 5	Observación 6	Observación 7	Observación 8	Observación 9
140 horas	240 horas	340 horas	410 horas	505 horas	660 horas	810 horas	960 horas	1250 horas
								
0.1% de corrosión	1% de corrosión	2% de corrosión	3% de corrosión	5% de corrosión	6% de corrosión	8% de corrosión	10% de corrosión	12% de corrosión
No presentó formación de ampollas	No presentó formación de ampollas	#6 - poco	#4 – poco	#4 – medio	#4 – medio denso	#4 – medio denso	#2 – medio denso	#2 – medio denso

**Anexo A2: Tabla de resultados de observaciones según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 y ASTM D714:2002 de la soldadura MIG del sistema CSP**

*Tabla A.2.1 Resultados de observaciones del método de soldadura MIG del sistema CSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.*

Observaciones	Tiempo (horas acumuladas)	CSP-MIG	
		Porcentaje de Corrosión	Formación de ampollas
0	0	0	No
1	140	0.03%	no
2	240	0.1%	no
3	340	0.3%	no
4	410	1%	no
5	505	1.5%	# 6 poco, # 4 poco
6	660	2%	# 6 poco, # 4 poco
7	810	3%	# 6 poco, # 4 poco
8	960	3.5%	# 4 medio
9	1250	4%	# 4 medio

Tabla A.2.2 Avance de la corrosión en el tiempo para la soldadura MIG para el sistema CSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.



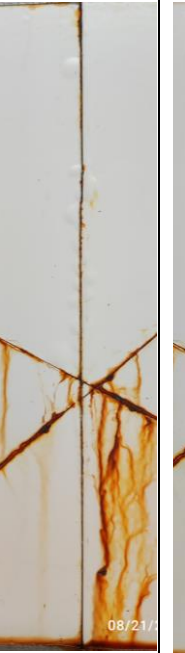
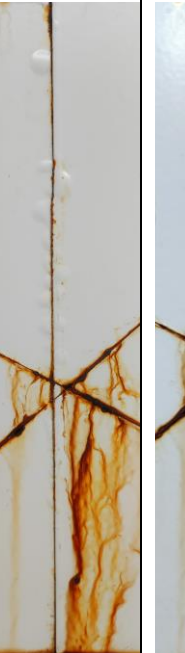
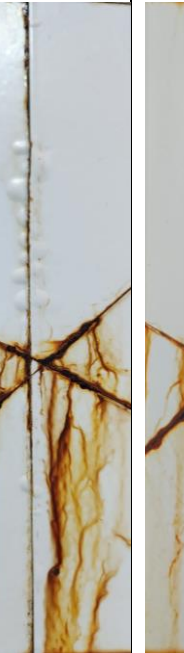
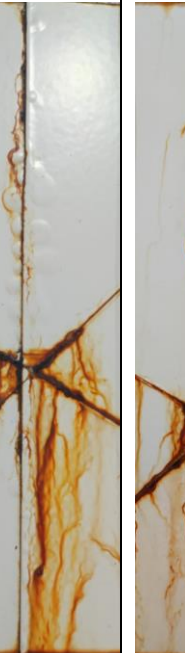
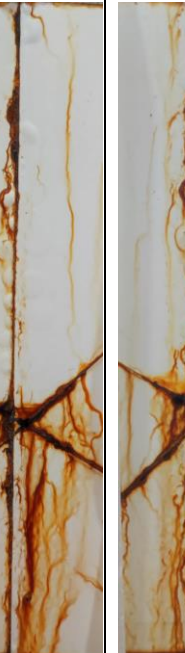
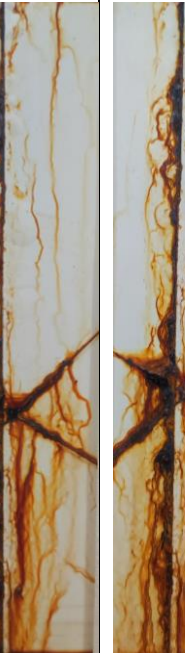

Método de soldadura MIG sistema CSP								
Observación 1	Observación 2	Observación 3	Observación 4	Observación 5	Observación 6	Observación 7	Observación 8	Observación 9
140 horas	240 horas	340 horas	410 horas	505 horas	660 horas	810 horas	960 horas	1250 horas
								
0.03% de corrosión	0.1% de corrosión	0.3% de corrosión	1% de corrosión	1.5% de corrosión	2% de corrosión	3% de corrosión	3.5% de corrosión	4% de corrosión
No presentó formación de ampollas	No presentó formación de ampollas	No presentó formación de ampollas	No presentó formación de ampollas	#6 – poco, #4 – poco	#6 – poco	#6 – poco, #4 – poco	#4 – medio	#4 – medio

**Anexo A3: Tabla de resultados de observaciones según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 y ASTM D714:2002 de la soldadura PNT del sistema CSP**

*Tabla A.3.1 Resultados de observaciones del método de soldadura PNT del sistema CSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.*

Observaciones	Tiempo (horas acumuladas)	CSP-PNT	
		Porcentaje de Corrosión	Formación de ampollas
0	0	0	No
1	140	0.1%	# 6 - poco
2	240	1%	# 2 - poco
3	340	2%	# 2 - medio
4	410	2.5%	# 2 - medio
5	505	3.5%	# 2 - medio
6	660	4%	# 2 - medio
7	810	5%	# 2 - medio
8	960	6%	# 2 - medio
9	1250	7.5%	# 2 - medio

Tabla A.3.2 Avance de la corrosión en el tiempo para la soldadura PNT para el sistema CSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.

<b>Método de soldadura PNT sistema CSP</b>								
Observación 1	Observación 2	Observación 3	Observación 4	Observación 5	Observación 6	Observación 7	Observación 8	Observación 9
140 horas	240 horas	340 horas	410 horas	505 horas	660 horas	810 horas	960 horas	1250 horas
								
0.1% de corrosión	1% de corrosión	2% de corrosión	2.5% de corrosión	3.5% de corrosión	4% de corrosión	5% de corrosión	6% de corrosión	7.5% de corrosión
#6 – poco	#2 – poco	#2 – medio	#2 – medio	#2 – medio	#2 – medio	#2 – medio	#2 – medio	#2 – medio




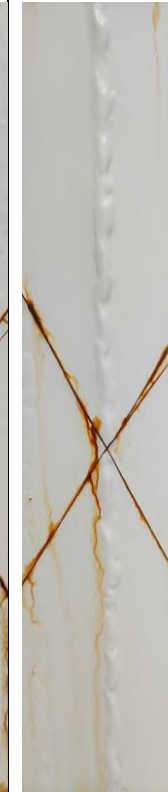
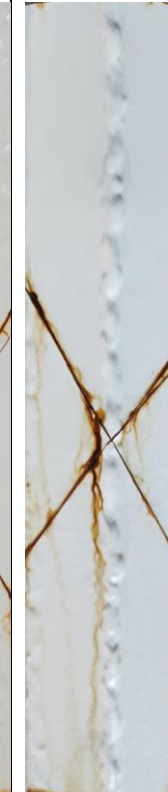
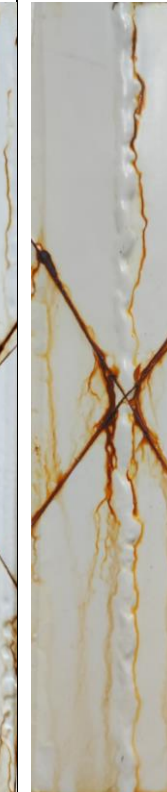
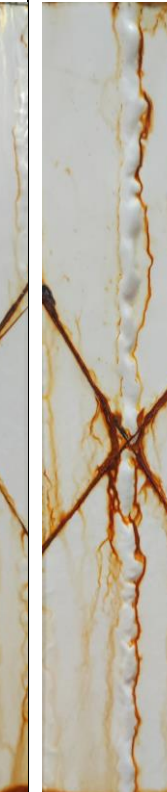
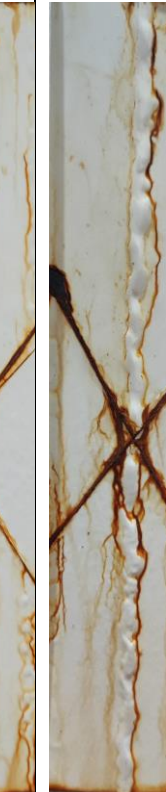
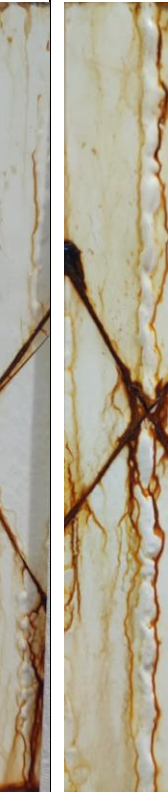
**Anexo A4: Tabla de resultados de observaciones según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 y ASTM D714:2002 de la soldadura autógena del sistema CPSP**

*Tabla A.4.1 Resultados de observaciones del método de soldadura autógena del sistema CPSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.*

Observaciones	Tiempo (horas acumuladas)	CPSP-ATG	
		Porcentaje de Corrosión	Formación de ampollas
0	0	0	No
1	140	0.03%	No
2	240	0.1%	No
3	340	0.3%	No
4	410	1%	No
5	505	3%	No
6	660	4%	No
7	810	4.5%	No
8	960	5%	No
9	1250	5.5%	No



Tabla A.4.2 Avance de la corrosión en el tiempo para la soldadura autógena para el sistema CPSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.


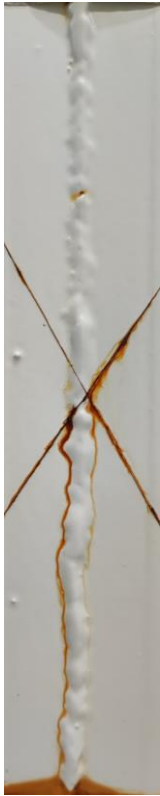

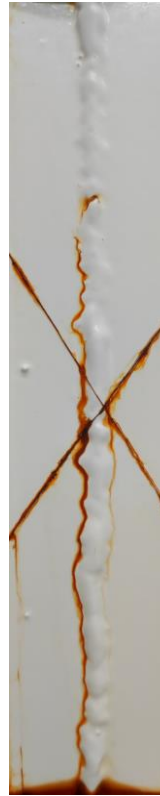
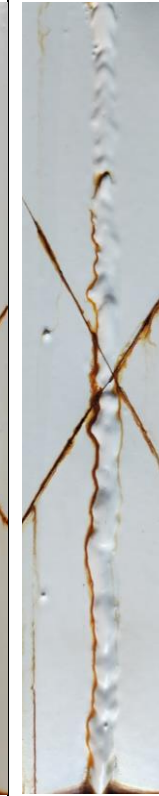
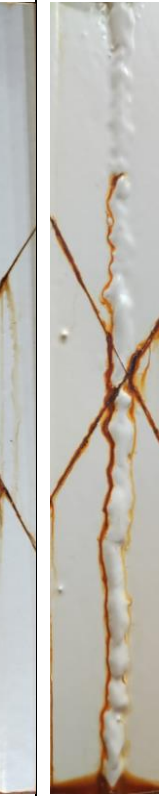
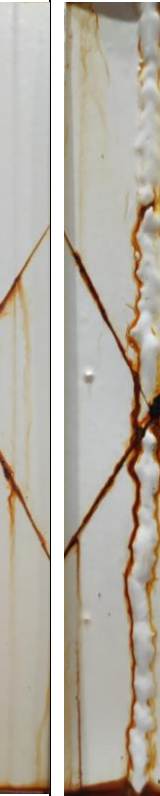
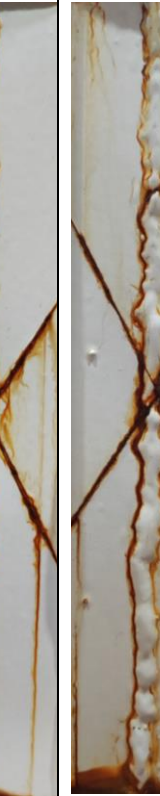
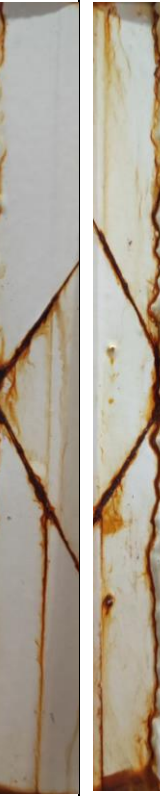
<b>Método de soldadura autógena sistema CPSP</b>								
Observación 1	Observación 2	Observación 3	Observación 4	Observación 5	Observación 6	Observación 7	Observación 8	Observación 9
140 horas	240 horas	340 horas	410 horas	505 horas	660 horas	810 horas	960 horas	1250 horas
								
0.03% de corrosión	0.1% de corrosión	0.3% de corrosión	1% de corrosión	3% de corrosión	4% de corrosión	4.5% de corrosión	5% de corrosión	5.5% de corrosión
No presento formación de ampollas	No presento formación de ampollas	No presento formación de ampollas	No presento formación de ampollas	No presento formación de ampollas	No presento formación de ampollas	No presento formación de ampollas	No presento formación de ampollas	No presento formación de ampollas

**Anexo A5: Tabla de resultados de observaciones según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 y ASTM D714:2002 de la soldadura MIG del sistema CPSP.**

*Tabla A.5.1 Resultados de observaciones del método de soldadura MIG del sistema CPSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.*

Observaciones	Tiempo (horas acumuladas)	CPSP-MIG	
		Porcentaje de Corrosión	Formación de ampollas
0	0	0	No
1	140	0.03%	no
2	240	0.1%	no
3	340	0.3%	no
4	410	0.5%	no
5	505	0.7%	no
6	660	1%	no
7	810	1.5%	# 4 poco
8	960	2%	# 4 poco
9	1250	2.5%	# 4 poco

Tabla A.5.2 Avance de la corrosión en el tiempo para la soldadura MIG para el sistema CPSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.

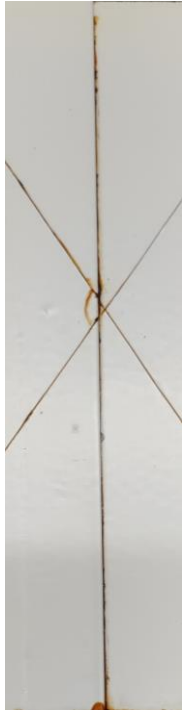







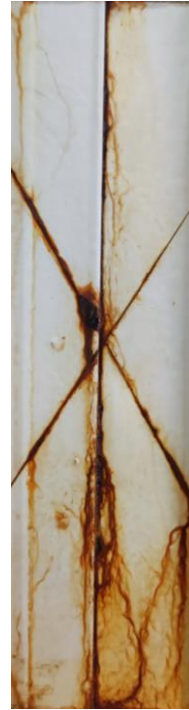
<b>Método de soldadura MIG sistema CPSP</b>								
Observación 1	Observación 2	Observación 3	Observación 4	Observación 5	Observación 6	Observación 7	Observación 8	Observación 9
140 horas	240 horas	340 horas	410 horas	505 horas	660 horas	810 horas	960 horas	1250 horas
								
0.03% de corrosión	0.1% de corrosión	0.3% de corrosión	0.5% de corrosión	0.7% de corrosión	1% de corrosión	1.5% de corrosión	2% de corrosión	2.5% de corrosión
No presento formación de ampollas	No presento formación de ampollas	No presento formación de ampollas	No presento formación de ampollas	No presento formación de ampollas	No presento formación de ampollas	No presento formación de ampollas	#4 – poco	#4 – poco

**Anexo A6: Tabla de resultados de observaciones según la norma internacional ASTM D610/SSPC-VIS 2:2016 y ASTM D714:2002 de la soldadura PNT del sistema CPSP**

*Tabla A.6.1 Resultados de observaciones del método de soldadura PNT del sistema CPSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.*

Observaciones	Tiempo (horas acumuladas)	CPSP-PNT	
		Porcentaje de Corrosión	Formación de ampollas
0	0	0	No
1	140	0.03%	No
2	240	0.1%	No
3	340	0.3%	No
4	410	0.5%	No
5	505	1%	No
6	660	1.5%	No
7	810	2.5%	No
8	960	3.5%	No
9	1250	5%	No

Tabla A.6.2 Avance de la corrosión en el tiempo para la soldadura PNT para el sistema CPSP hasta un tiempo acumulado de 1250 horas de exposición en la cámara de niebla salina.

<b>Método de soldadura PNT sistema CPSP</b>								
Observación 1	Observación 2	Observación 3	Observación 4	Observación 5	Observación 6	Observación 7	Observación 8	Observación 9
140 horas	240 horas	340 horas	410 horas	505 horas	660 horas	810 horas	960 horas	1250 horas
								
0.03% de corrosión	0.1% de corrosión	0.3% de corrosión	0.5% de corrosión	1% de corrosión	1.5% de corrosión	2.5% de corrosión	3.5% de corrosión	5% de corrosión
No presente formación de ampollas	No presente formación de ampollas	No presente formación de ampollas	No presente formación de ampollas	No presente formación de ampollas	No presente formación de ampollas	No presente formación de ampollas	No presente formación de ampollas	No presente formación de ampollas