



# **Plan de mejora para la actividad de soldadura en un astillero naval de la ciudad de Mar del Plata**

**Arce, Gerónimo  
Sureda, Agustín**

Trabajo Final de la Carrera Ingeniería Industrial  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional de Mar del Plata  
2025, Mar del Plata

## **Plan de mejoras para la actividad de soldadura en un astillero naval de la ciudad de Mar del Plata**

**Arce, Gerónimo  
Sureda, Agustín**

**Evaluadores:**

Musumeci, Edgardo

*Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Mar del Plata*

Vignolo, Juan Pablo

*Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Mar del Plata*

**Director:**

Valotto, Guillermo

*Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Mar del Plata*

**Codirector:**

Prestes, Paola

*Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Mar del Plata*

<b>Glosario</b>	<b>5</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>7</b>
1.1 Planteamiento del problema	7
1.2 Objetivos	7
1.2.1 Objetivo general	7
1.2.2 Objetivos específicos	7
1.3 Justificación e importancia del estudio	7
1.4 Alcance y limitaciones	8
<b>2. Marco Teórico</b>	<b>9</b>
2.1 Soldadura en la industria naval	9
2.1.1 Tipos de soldadura utilizados en cascos externos	9
2.1.1.1 Principio General: El Arco Eléctrico	9
2.1.1.2 Soldadura por Arco Sumergido (SAW)	13
2.1.1.3 Soldadura por Arco de Metal con Gas (GMAW o MIG/MAG)	13
2.1.1.4 Soldadura con Electrodo Revestido (SMAW)	14
2.1.1.5 Soldadura TIG (Gas Tungsten Arc Welding)	14
2.1.1.6 Soldadura por Arco con Alambre Tubular (FCAW)	14
2.1.2 Procesos actuales	14
2.1.3 Normativas aplicables	15
2.2 Seguridad en el proceso de soldadura	17
2.2.1 Riesgos Comunes en la Soldadura	17
2.2.1.1 Riesgo por el tipo de trabajo y su lugar de realización.	18
2.2.1.2 Riesgos por la manipulación de gases comprimidos	19
2.2.1.3 Riesgos asociados a los agentes contaminantes producidos durante la soldadura	20
2.2.2 Equipo de Protección Personal (EPP)	21
2.2.2.1 Riesgos asociados a la soldadura de cascos externos	25
2.2.2.2 Prácticas de seguridad en soldadura naval	26
2.3 Mejora continua y metodologías de análisis	27
2.3.1 Análisis de riesgos	27
2.3.2 Implementación de mejoras en procesos industriales.	28
2.4 Condiciones climáticas en la costa marplatense	28
<b>3. Metodología</b>	<b>30</b>
3.1 Diseño de la investigación	30
3.1.1 Tipo de investigación	30
3.1.2 Técnicas de recolección de datos	31
3.2 Análisis de la situación actual	31
3.2.1 Descripción del proceso actual de soldadura	31
3.2.2 Identificación de puntos críticos en seguridad	33
3.2.3 Evaluación cuantitativa de riesgos en la situación actual	34
3.3 Propuesta de mejora	36
3.3.1 Justificación y Presentación de la Solución	36
3.3.2 Objetivos del dispositivo	37

3.3.3	Diseño y Especificaciones Técnicas	37
3.3.3.1	Modulo de contencion para soldadores	37
3.3.4	Análisis y Selección de la Alternativa	42
3.3.4.1	Alternativas Evaluadas	42
3.3.4.2	Criterios de Evaluación y Ponderación	42
3.3.4.3	Matriz de Decisión Ponderada	42
3.3.4.4	Análisis y Conclusión de la Selección	44
3.4	Planificación de la capacitación	44
3.4.1	Objetivo de capacitacion para sistema de soldadura	44
3.4.2	Personal objetivo	44
3.4.3	Duración y contenidos de la capacitación	44
3.4.4	Estructura general	45
3.4.5	Contenidos de la capacitación	45
3.4.5.1	Módulo 1: Introducción al nuevo sistema de soldadura	45
3.4.5.2	Módulo 2: Seguridad en el uso del nuevo sistema	45
3.4.5.3	Módulo 3: Parámetros de operación	45
3.4.5.4	Módulo 4: Práctica controlada	45
3.4.5.5	Módulo 5: Control de calidad	46
3.4.6	Evaluación, seguimiento y refuerzo	46
<b>4</b>	<b>Análisis de Resultados</b>	<b>46</b>
4.1	Evaluación de la mejora implementada	46
4.1.1	Comparativa antes y después	48
4.1.1.1	Visualización del Cambio en la Peligrosidad	48
4.1.1.2	Impacto en la Clasificación del Riesgo y la Operatividad	49
4.1.1.3	Mejora en la Jerarquía de Controles de Seguridad	49
4.1.1.4	Mejora en la calidad de la soldadura	49
4.2	Discusión de resultados	50
4.2.1	Impacto en la seguridad laboral	50
4.2.2	Beneficios adicionales y operativos	50
4.3	Análisis de Viabilidad Económica	51
4.3.1	Costos del Método Actual (Protección Improvisada)	51
4.3.2	Costos de Implementación del MCS	51
4.3.2.1	Inversión Inicial (Costos Únicos)	52
4.3.2.2	Costo de Fabricación por Unidad (CFU)	52
4.3.2.3	Costo Total de Implementación (CTI)	52
4.3.3	Análisis del Punto de Equilibrio	52
<b>5</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>53</b>
5.1	Conclusiones generales	53
5.2	Recomendaciones para futuras mejoras	53
<b>6</b>	<b>Bibliografía</b>	

## Glosario

**American Welding Society (AWS):** Organización estadounidense sin fines de lucro dedicada al avance de la ciencia, tecnología y aplicación de la soldadura y procesos afines. Es responsable de desarrollar y publicar estándares técnicos reconocidos a nivel mundial, como la norma ANSI Z49.1 sobre seguridad y las especificaciones para materiales de aporte utilizadas en este trabajo.

**Decapado:** es un tratamiento superficial de metales que se utiliza para eliminar impurezas, tales como manchas, contaminantes inorgánicos, herrumbre o escoria, de aleaciones de metales ferrosos, cobre y aluminio.

**END (Ensayos No Destructivos):** Conjunto de técnicas de inspección que permiten evaluar la integridad de un material o componente sin alterar sus propiedades físicas, químicas o dimensionales. Ejemplos incluyen la radiografía industrial y los líquidos penetrantes.

**FCAW (Flux Cored Arc Welding):** Proceso de soldadura por arco que utiliza un alambre-electrodo tubular relleno de fundente en su interior. La variante autoprotegida es especialmente valiosa para trabajos en el exterior por ser más resistente al viento.

**GMAW (Gas Metal Arc Welding):** Proceso de soldadura por arco eléctrico en el que se utiliza un alambre-electrodo macizo consumible y un gas de protección que se alimenta de forma externa. Es conocido comúnmente como soldadura MIG/MAG.

**Grado de Peligrosidad (GP):** Índice numérico cuantitativo, resultado de la aplicación del método de William T. Fine, que se utiliza para jerarquizar la criticidad de un riesgo laboral. Se calcula multiplicando los factores de Consecuencias, Exposición y Probabilidad.

**International Association of Classification Societies (IACS):** Asociación que agrupa a las principales sociedades de clasificación naval del mundo. Su función es establecer, mantener y aplicar estándares técnicos mínimos de seguridad y protección ambiental para la construcción y el mantenimiento de buques, garantizando la calidad y la integridad estructural en la industria marítima.

**Neumoconiosis:** Grupo de enfermedades pulmonares causadas por la inhalación prolongada de ciertos polvos minerales o metálicos, que provocan inflamación y cicatrización en los pulmones

**Pantoque:** Parte curva del casco de una embarcación que une el fondo con los costados. Es una zona estructuralmente crítica y de soldadura compleja por su posición y acceso.

**Porosidad (en soldadura):** Defecto que consiste en la formación de cavidades o burbujas de gas atrapadas dentro del cordón de soldadura solidificado. Compromete la integridad y resistencia mecánica de la unión y es causado frecuentemente por la pérdida del gas de protección.

**Retrabajo:** Proceso de corrección de un trabajo que no ha cumplido con los estándares de calidad especificados. En soldadura, implica la remoción del cordón defectuoso y la ejecución de una nueva soldadura, generando altos costos y retrasos.

**RINA (Registro Italiano Navale):** Sociedad de clasificación naval de origen italiano. Es una organización que establece y mantiene estándares técnicos para la construcción y operación de buques, emitiendo las certificaciones correspondientes que garantizan la calidad y seguridad.

**SAW (Submerged Arc Welding):** Proceso de soldadura automatizado donde un arco eléctrico permanece oculto bajo una capa de fundente granular. Es ideal para la unión de grandes planchas de acero en posición plana.

**SMAW (Shielded Metal Arc Welding):** Proceso de soldadura manual que utiliza un electrodo consumible en forma de varilla recubierta por un fundente. Es indispensable en la industria naval por su portabilidad y robustez para reparaciones y trabajos en posiciones complejas.

**Soldeo:** Soldar

**TIG (Gas Tungsten Arc Welding):** Proceso de soldadura de alta precisión que utiliza un electrodo no consumible de tungsteno para crear el arco. Se reserva para trabajos que requieren la máxima calidad, como en sistemas de tuberías de alta responsabilidad.

# 1. Introducción

## 1.1 Planteamiento del problema

Durante el período de prácticas profesionales supervisadas, llevadas a cabo en un astillero naval ubicado en la ciudad de Mar del Plata, se participaron activamente en actividades vinculadas a los procesos de soldadura. Estas tareas incluyeron la preparación de materiales, la ejecución de soldaduras en distintos componentes de embarcaciones, así como la inspección de los trabajos realizados, con el fin de verificar la calidad del proceso y asegurar el cumplimiento de las normativas técnicas vigentes.

En este contexto, se observó que las condiciones climáticas adversas, especialmente los vientos fuertes, representan un desafío significativo para la seguridad de los operarios. Estas condiciones exponen a los trabajadores a temperaturas extremas, humos tóxicos y posibles accidentes.

Este estudio busca desarrollar un plan de mejoras para mitigar estos riesgos.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Desarrollar un plan de mejora para las condiciones de seguridad e higiene del personal del sector de soldadura en un astillero de Mar del Plata.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Releva las condiciones climáticas en el astillero y su impacto en el proceso de soldadura.
- Analizar los riesgos a los que están sometidos los operarios y su efecto en la seguridad e higiene laboral.
- Proponer un plan de mejora para minimizar los efectos climáticos y mejorar la seguridad de los operarios.
- Desarrollar instructivos que describan la implementación de las mejoras y la capacitación necesaria.
- Evaluar la viabilidad económica de la implementación de las mejoras propuestas en el proceso de soldadura.

## 1.3 Justificación e importancia del estudio

La industria naval desempeña un papel fundamental en la economía de Mar del Plata, consolidándose como una actividad clave para el desarrollo de la ciudad. Este sector no solo genera empleo directo e indirecto, sino que también impulsa actividades complementarias, como la pesca, la logística y el turismo. Los astilleros y talleres navales en la ciudad se han convertido en centros de innovación y progreso, garantizando la construcción, reparación y mantenimiento de embarcaciones esenciales para la actividad pesquera y el comercio marítimo. Según datos del sector, el complejo portuario de la ciudad

no sólo concentra a la mayor parte de la flota pesquera nacional, sino que también es responsable de generar un ecosistema productivo que, según estimaciones, crea aproximadamente 25,000 empleos directos y más de 60,000 indirectos (Consortio Portuario Regional de Mar del Plata, 2022). Este dinamismo impulsa actividades complementarias indispensables, como la logística, el procesamiento de productos del mar, la metalmecánica y el turismo.

En este contexto, la seguridad en los trabajos realizados es un pilar fundamental para la sostenibilidad de la industria. Uno de los procesos más críticos es la soldadura, que es clave en la construcción y reparación de barcos. La soldadura no solo asegura la integridad estructural de las embarcaciones, sino que también contribuye a cumplir con los estándares de calidad y las normativas internacionales. Sin embargo, este proceso implica riesgos importantes, como la exposición a temperaturas extremas, chispas, humos tóxicos y condiciones ambientales adversas.

Mar del Plata es conocida por su clima variable, con días ventosos que afectan directamente los trabajos al aire libre, especialmente los de soldadura. En estas condiciones, es esencial implementar sistemas de protección que garanticen la seguridad de los trabajadores y la calidad del trabajo. Un sistema de protección contra el viento para las soldaduras sería de gran utilidad, ya que evitaría que el viento interfiera en el arco eléctrico o disperse los gases de protección utilizados en soldaduras MIG/MAG y TIG. Esto no solo mejoraría la calidad del trabajo final, sino que también optimizaría los tiempos de producción y reduciría los costos derivados de retrabajos.

Por lo tanto, invertir en medidas de seguridad específicas y desarrollar tecnologías adaptadas a las condiciones locales no solo fortalece la competitividad de la industria naval en Mar del Plata, sino que también protege a los trabajadores y garantiza la sostenibilidad del sector.

## 1.4 Alcance y limitaciones

Este proyecto se centrará en el análisis de los procesos de soldadura MIG/MAG y TIG utilizados en la construcción y reparación de embarcaciones de acero en el astillero naval de Mar del Plata.

Se evaluará el impacto de las condiciones climáticas, como el viento y la humedad, en la calidad de las soldaduras y la seguridad de los soldadores.

Se propondrá un plan de mejoras que incluirá la implementación de medidas de protección contra el viento, la actualización de los equipos de protección personal y la capacitación del personal en nuevas técnicas de soldadura y seguridad.

El estudio se limitará a un análisis de los procesos de soldadura en un solo astillero naval, por lo que los resultados podrían no ser generalizables a otros astilleros o tipos de embarcaciones.

La evaluación de la viabilidad económica de las mejoras propuestas se basará en estimaciones y datos disponibles públicamente, ya que no se dispondrá de información financiera detallada del astillero.

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Soldadura en la industria naval

La soldadura naval es un proceso esencial en la industria marítima, que abarca desde la construcción de nuevos buques hasta la reparación y el mantenimiento de embarcaciones existentes (American Welding Society, 2012). A diferencia de la soldadura convencional, la soldadura naval se lleva a cabo en un entorno exigente y diverso, donde las condiciones climáticas adversas, la corrosión por agua salada y las tensiones mecánicas extremas son la norma. Por lo tanto, la soldadura naval requiere un alto nivel de especialización, conocimiento y cumplimiento de normativas rigurosas para garantizar la seguridad e integridad de las embarcaciones.

La seguridad es un aspecto primordial, ya que los soldadores a menudo trabajan en espacios confinados, a grandes alturas y en condiciones climáticas desfavorables. Para minimizar los riesgos, se deben seguir estrictas medidas de seguridad, como el uso de equipos de protección personal adecuados, la ventilación adecuada de los espacios de trabajo y la prevención de incendios y explosiones. Además, la soldadura naval está sujeta a normativas y estándares internacionales, como los establecidos por la American Welding Society (AWS) y la International Association of Classification Societies (IACS), que garantizan la calidad y la seguridad de las soldaduras.

La soldadura naval implica trabajar con una amplia gama de materiales, desde aceros de alta resistencia y aleaciones especiales hasta materiales compuestos y polímeros. La selección del material y el proceso de soldadura adecuados depende de las condiciones específicas de la aplicación, como la resistencia a la corrosión, la resistencia mecánica y la facilidad de reparación. Los procesos de soldadura más comunes en la industria naval incluyen la soldadura con electrodo revestido (SMAW), la soldadura MIG/MAG y la soldadura TIG, cada uno con sus propias ventajas y limitaciones en términos de calidad, productividad y aplicabilidad a diferentes materiales y condiciones.

Se aplica en una amplia gama de tareas, desde la construcción de cascos y estructuras de soporte hasta la reparación de tuberías, equipos y maquinaria a bordo. Cada aplicación presenta sus propios desafíos y requisitos específicos, lo que exige soldadores altamente capacitados y experimentados.

#### 2.1.1 Tipos de soldadura utilizados en cascos externos

##### 2.1.1.1 Principio General: El Arco Eléctrico

El Arco eléctrico es una descarga continuada entre dos conductores separados ligeramente, por donde pasa la corriente, al hacerse conductor el aire o el gas comprendido entre los mismos. Se manifiesta con gran desprendimiento de luz y calor. El arco, por otra parte, es la fuente de calor que utilizan muchos de los procesos de soldado por dos razones fundamentales, proporciona altas intensidades de calor y es fácilmente controlable a través de medios electrónicos.

Para producir el arco necesitamos dos conductores, a los que llamaremos electrodos, y un gas conductor al que denominaremos plasma.

El arco eléctrico consiste en una descarga de corriente relativamente alta sostenida a través de una columna gaseosa. Ahora bien, los gases, en condiciones normales, son prácticamente aislantes, por lo que para conseguir el arco es necesario que el gas se haga conductor.

Para ello, hay que conseguir la separación de sus átomos en iones y electrones; este proceso se denomina ionización. La ionización se consigue por el choque de los electrones que sale de uno de los electrodos con el gas. Un gas ionizado o parcialmente ionizado se denomina Plasma.

En la figura 1, se puede observar los átomos de un gas, cada átomo tiene igual número de protones que de electrones, sin embargo a una temperatura elevada se puede conseguir que el gas se ionice, es decir que todos o algunos de los electrones de cada átomo se separa dejando un ion positivo. El plasma de la figura 2, está formado por un átomo (a) que no está en absoluto ionizado, es decir, que no tiene ningún electrón separado de su núcleo; átomos parcialmente ionizados en los que uno de los electrones (c) se ha separado del núcleo y han dejado un ion positivo (b) (tiene más protones que electrones) y otro átomo totalmente ionizado ya que los dos electrones se han separado del núcleo (d).

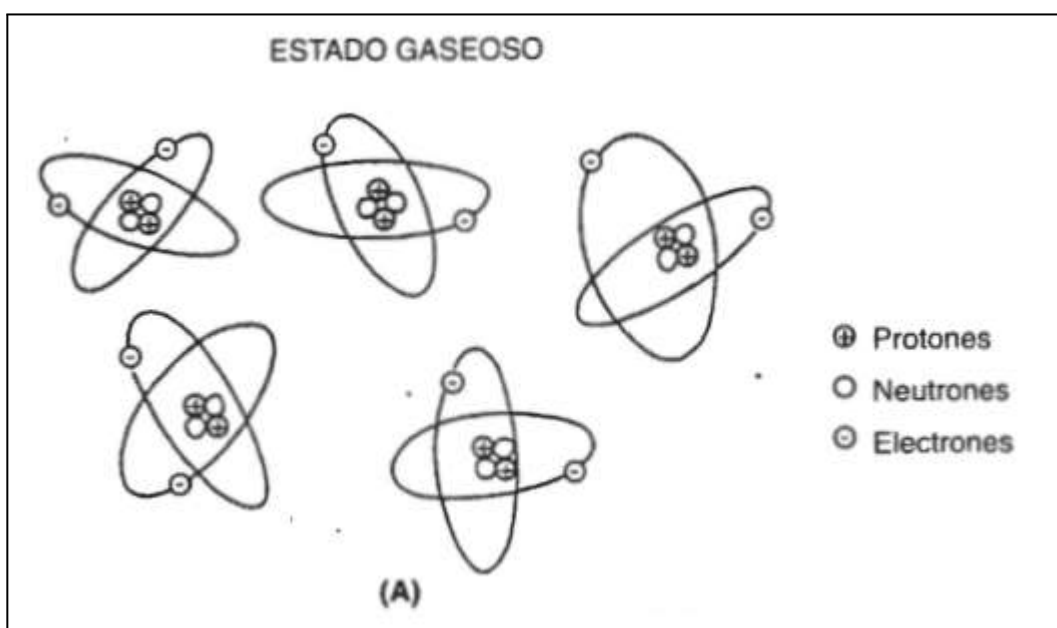


Figura 1: átomos de un gas

Fuente: Hernández-Riesco, G. (2011). Manual del Soldador.

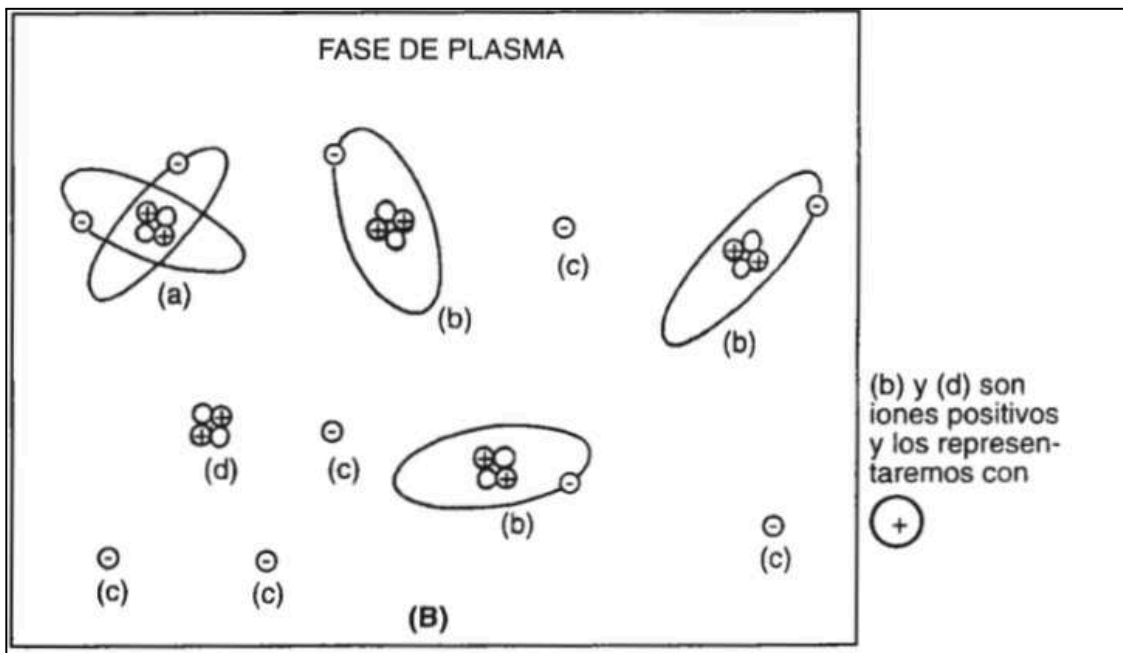


Figura 2: Fase de plasma.

Fuente: Hernández-Riesco, G. (2011). Manual del Soldador.

Los electrodos pueden ser de igual o de distinta naturaleza, por ejemplo, una varilla metálica (electrodo propiamente dicho) y una pieza metálica (parte a soldar o metal base) del mismo o de otro metal. Pero en cualquier caso, para arrancar los electrones del electrodo para que bombardeen el gas y conseguir su ionización, es necesario comunicarles la energía suficiente.

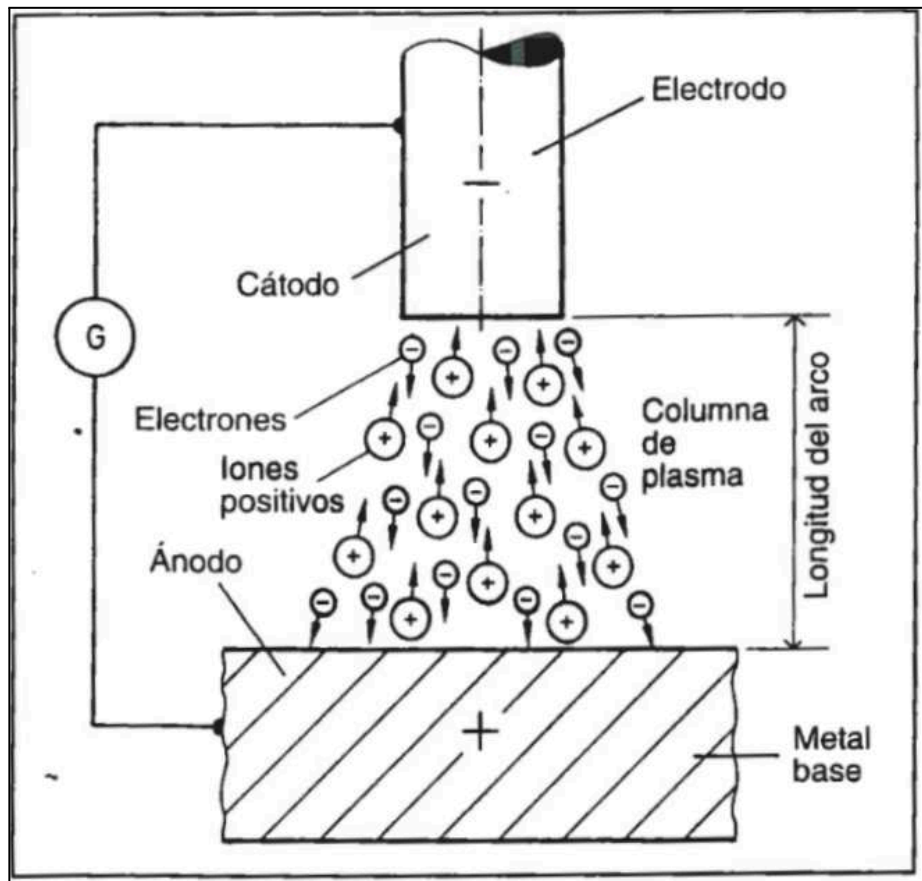


Figura 3: Ionización del gas.

Fuente: Hernández-Riesco, G. (2011). Manual del Soldador.

El procedimiento más simple para aportar la energía necesaria es calentar el electrodo a una temperatura muy elevada (Hernández-Riesco, 2011). Por ello el método corriente para cebar un arco (iniciar un arco) es establecer un cortocircuito entre pieza y electrodo, ya que se produce un calentamiento muy fuerte en la punta del electrodo negativo (llamado cátodo) al pasar una corriente elevada, separando ahora el electrodo bastan unos pocos voltios para que se establezca el arco. Una vez iniciado éste, los electrones que salen del cátodo ionizan el gas al chocar con sus átomos, como se observa en la figura 3.

Los electrones siguen su camino hacia el ánodo (terminal positivo) y los iones del plasma se dirigen hacia el cátodo, al que ceden su energía cinética (de movimiento) que se transforma en calor, manteniendo así la temperatura del cátodo que sigue emitiendo electrones.

El arco de soldadura está dividido en tres regiones características: Cátodo, columna de plasma y ánodo.

En el cátodo (terminal negativo) se produce la emisión de electrones, que ionizan el gas convirtiéndose en plasma. Los iones que proceden de la columna de plasma bombardean el cátodo, calentándolo y permitiendo que se mantenga la emisión de electrones.

En el cátodo la energía se emplea en mantenerlo caliente y en arrancar los electrones, por lo que la temperatura del cátodo es más baja que la del ánodo, en donde toda la energía se emplea en su calentamiento.

El cátodo, además, presenta propiedades auto decapantes (de autolimpieza) debido a la acción mecánica del bombardeo de iones.

Al ánodo (terminal positivo) se dirigen los electrones atraídos por la carga positiva del ánodo.

Como ya se ha dicho antes, el ánodo se encontrará a una temperatura más elevada que el cátodo.

La columna de plasma se encuentra entre el ánodo y el cátodo y su temperatura es muy elevada, del orden de 3000° C. El plasma es un gas que ha sido calentado por un arco, como mínimo hasta un estado de ionización parcial, haciéndole conductor de la corriente eléctrica

En la columna del plasma, la energía es absorbida para mantener el gas a una temperatura a la cual sea conductor.

El gas que se ioniza para convertirse en plasma puede ser el aire, los vapores desprendidos por el revestimiento del electrodo y/o el gas de protección

La longitud del arco es la distancia desde el extremo del electrodo a la superficie de la pieza

#### 2.1.1.2 Soldadura por Arco Sumergido (SAW)

Este proceso automatizado o semiautomatizado es un pilar en la construcción de grandes estructuras navales. En la soldadura SAW, un arco eléctrico se establece entre un electrodo de alambre continuo y la pieza de trabajo, pero permanece oculto bajo una capa de fundente granular. Este fundente protege el baño de fusión de la contaminación atmosférica, a la vez que genera una escoria que moldea y protege el cordón de soldadura durante su solidificación.

Su principal aplicación en los astilleros es la unión de grandes planchas de acero para conformar los paneles planos del casco, la cubierta y los mamparos. Debido a su altísima tasa de deposición y profunda penetración, es ideal para soldaduras largas, rectas y en posición plana, garantizando uniones de excelente calidad metalúrgica y alta resistencia en espesores considerables. Su principal limitación es, precisamente, su dependencia de la posición plana u horizontal, lo que restringe su uso a fases de prefabricación en taller.

#### 2.1.1.3 Soldadura por Arco de Metal con Gas (GMAW o MIG/MAG)

La soldadura GMAW es fundamental tanto en la construcción como en la reparación naval. El proceso utiliza un alambre-electrodo macizo que se alimenta de forma continua, mientras un gas de protección (inerte para MIG, activo para MAG) aísla el arco y el metal fundido.

En la industria naval, se emplea para unir secciones de menor espesor, realizar soldaduras de filete en refuerzos estructurales y en trabajos de "alistamiento" (montaje de tuberías, soportes y otros equipos). Su alta velocidad de soldeo y la ausencia de escoria que limpiar lo convierten en un proceso muy productivo. Sin embargo, su principal desventaja, y un factor clave para este estudio, es su alta sensibilidad al viento y a las corrientes de aire, que pueden desplazar el gas de protección y generar porosidad y otros defectos en la soldadura, comprometiendo su calidad si no se trabaja en un ambiente controlado.

#### 2.1.1.4 Soldadura con Electrodo Revestido (SMAW)

La soldadura SMAW, también conocida como soldadura manual por arco eléctrico, es el proceso más tradicional y portátil. Utiliza un electrodo consumible en forma de varilla recubierta por un fundente. Este revestimiento, al quemarse, genera gases de protección,

desoxidantes y elementos de aleación, además de formar una capa de escoria protectora sobre el cordón.

A pesar de ser más lenta que otros métodos, su simplicidad, portabilidad y robustez la hacen indispensable en la industria naval. Es el proceso de elección para reparaciones a bordo, soldaduras en posiciones complejas (vertical, sobrecabeza) y en zonas de difícil acceso donde no es práctico instalar equipos más voluminosos. Su capacidad para trabajar en condiciones de campo, con menor sensibilidad al viento que el GMAW, la mantiene como una herramienta fundamental en el arsenal del astillero.

#### 2.1.1.5 Soldadura TIG (Gas Tungsten Arc Welding)

La soldadura TIG es un proceso de alta precisión que utiliza un electrodo no consumible de tungsteno para crear el arco. El metal de aporte, si es necesario, se añade manualmente en forma de varilla. Un gas inerte, generalmente argón, protege el electrodo y el baño de fusión.

Debido a su baja velocidad de deposición, no se utiliza para las grandes uniones estructurales del casco. Sin embargo, es esencial para trabajos que requieren la máxima calidad y un acabado estético superior. En la construcción naval, se reserva para la soldadura de sistemas de tuberías de alta responsabilidad (acero inoxidable, aleaciones de cobre-níquel), componentes de aluminio en superestructuras de yates o buques rápidos, y para realizar las pasadas de raíz en uniones críticas que luego serán rellenadas con otros procesos más productivos.

#### 2.1.1.6 Soldadura por Arco con Alambre Tubular (FCAW)

Este proceso es similar al GMAW, pero utiliza un alambre-electrodo tubular relleno de fundente en su interior. Existen dos variantes principales: autoprotegida (donde los gases generados por el fundente son suficientes para proteger el arco) y con protección de gas adicional (similar al MAG).

El proceso FCAW combina la alta productividad del GMAW con la robustez del SMAW. La variante autoprotegida es especialmente valiosa en la construcción naval para trabajos en el exterior, como el montaje de bloques en el dique seco, ya que es mucho más resistente a las condiciones de viento. Ofrece altas tasas de deposición y es apto para soldar en todas las posiciones, lo que lo convierte en una opción muy eficiente para las uniones estructurales del casco que no pueden realizarse con SAW.

### 2.1.2 Procesos actuales

A partir de la observación directa de las operaciones en el astillero, se ha identificado que el proceso de soldadura predominantemente empleado en la unión de las chapas para la construcción de cascos externos corresponde a la soldadura por arco metálico con gas (GMAW), específicamente en su variante con gas activo (MAG). Para la ejecución de dicho proceso, se utiliza un alambre macizo clasificado como AWS ER70S-6, el cual es reconocido por sus propiedades desoxidantes y su capacidad para generar uniones de alta calidad en los aceros al carbono típicos de la industria naval (American Welding Society, 2021). Este alambre se consume bajo una atmósfera de protección gaseosa, compuesta por una mezcla de 80% Argón (Ar) y 20% Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), combinación que asegura la estabilidad del arco voltaico, una penetración adecuada y un óptimo acabado del cordón

de soldadura. La adopción de esta metodología responde a la necesidad de combinar una alta productividad y versatilidad, factores críticos para abordar eficientemente las grandes superficies del casco, garantizando a su vez la resistencia mecánica indispensable para la integridad estructural de la embarcación.

### 2.1.3 Normativas aplicables

La norma ANSI Z49.1:2012<sup>1</sup>, emitida por la American Welding Society (AWS), establece los requisitos de seguridad para la protección de personas y bienes durante los procesos de soldadura, corte y actividades relacionadas. Esta normativa es crucial para prevenir lesiones, enfermedades, incendios y explosiones en entornos industriales y de construcción donde se realizan estas operaciones.

La norma tiene como objetivo principal proteger a los trabajadores y prevenir daños materiales mediante la implementación de prácticas seguras en soldadura y corte. Se aplica a una amplia gama de procesos, incluyendo soldadura y corte por arco, soldadura y corte con oxígeno y gas combustible, soldadura por resistencia, soldadura por haz de electrones, soldadura y corte por rayo láser, y soldadura fuerte y blanda.

La norma define términos importantes como "espacio confinado", "persona calificada" y "soldador", estableciendo un lenguaje común para la interpretación y aplicación de sus disposiciones.

- Espacio confinado: Se refiere a un espacio relativamente pequeño o restringido, tal como un tanque, caldera, recipiente de presión o compartimento pequeño. El confinamiento implica mala ventilación como consecuencia de la construcción, el tamaño o la forma, pero no la restricción del egreso del personal.
- Persona calificada: Persona que en virtud de su capacitación, educación y experiencia es experta en la operación que debe realizar y competente para juzgar los peligros implicados.
- Soldador: Operario de equipos eléctricos o con oxígeno y gas combustible para procesos de soldadura, corte o afines. Este término también incluye a educadores y estudiantes que se dedican a actividades similares.

Se enfatiza la importancia de un control riguroso sobre los riesgos inherentes a la actividad, especialmente considerando la presencia de espacios confinados, materiales inflamables y la posibilidad de acumulación de gases peligrosos. Uno de los principales aspectos que regula esta norma es el uso de equipos de protección personal (EPP), el cual debe incluir cascos de soldadura con filtros adecuados para radiación ultravioleta e infrarroja, guantes resistentes al calor, ropa ignífuga y protección respiratoria cuando sea necesario. En el caso de la soldadura en áreas de difícil acceso dentro de las embarcaciones, se debe garantizar que el soldador cuente con equipos de seguridad adicionales, como arneses y sistemas de ventilación mecánica, para evitar la acumulación de gases tóxicos y la deficiencia de oxígeno.

Además, la norma establece estrictos requisitos para la prevención de incendios y explosiones, lo cual es especialmente crítico en la construcción y reparación naval debido a la posible presencia de vapores inflamables y materiales combustibles. Para minimizar estos riesgos, se requiere que el área de trabajo esté completamente despejada de sustancias

---

<sup>1</sup> ANSI Z49.1:2012 es un estándar de la American Welding Society (AWS) que establece los requisitos de seguridad para los procesos de soldadura, corte y afines.

peligrosas y que se utilicen barreras de protección contra chispas y escorias incandescentes. También se establece la necesidad de contar con equipos de extinción de incendios adecuados, como extintores de clase B y C, en ubicaciones estratégicas y de fácil acceso. En el caso de la soldadura en espacios confinados dentro de las embarcaciones, como tanques de combustible o compartimentos de maquinaria, se exige una estricta supervisión y monitoreo continuo de la atmósfera para prevenir la acumulación de gases inflamables o tóxicos.

La ventilación es otro aspecto fundamental regulado por la ANSI Z49.1:2012 en entornos navales. Debido a la configuración estructural de las embarcaciones, que puede limitar la circulación natural del aire, es obligatorio el uso de ventilación mecánica en espacios confinados o con poca circulación de aire. Esto es esencial para evitar la exposición a humos de soldadura, los cuales pueden contener metales pesados y compuestos tóxicos como el óxido de zinc, el cromo hexavalente y el monóxido de carbono. En este sentido, la norma establece que los sistemas de ventilación deben ser capaces de eliminar eficazmente los contaminantes del aire sin afectar la estabilidad estructural de la embarcación ni comprometer la seguridad del trabajador.

Otro aspecto relevante que se destaca, es el entrenamiento y capacitación del personal involucrado en las operaciones de soldadura naval. Se exige que todos los trabajadores estén debidamente capacitados en las técnicas de soldadura seguras, en la identificación de riesgos y en el uso de los equipos de protección personal. Además, se requiere que los supervisores tengan conocimientos avanzados sobre las medidas de seguridad específicas para la industria naval, asegurando así que las prácticas implementadas sean efectivas y cumplan con los estándares establecidos.

En términos de señalización y control del área de trabajo, la norma especifica que deben delimitarse claramente las zonas de soldadura para evitar el acceso de personal no autorizado. En el caso de trabajos en altura dentro de la embarcación, se deben instalar barandas de seguridad, redes o líneas de vida para evitar caídas. Asimismo, se recomienda la implementación de procedimientos de bloqueo y etiquetado (lockout/tagout) en sistemas eléctricos y mecánicos para prevenir la activación accidental de equipos mientras se realizan tareas de soldadura.

La IRAM 10005<sup>2</sup> establece los requisitos para la señalización de seguridad en los lugares de trabajo, incluyendo los sitios donde se realicen tareas de soldadura. Esta normativa es fundamental para garantizar la correcta comunicación de riesgos y advertencias visuales, especialmente en entornos industriales y navales, donde los trabajos de soldadura pueden representar un peligro significativo si no se gestionan adecuadamente. Su aplicación contribuye a reducir accidentes laborales mediante el uso de colores, símbolos y letreros normalizados que alertan sobre zonas peligrosas, elementos inflamables, y el uso obligatorio de equipos de protección personal, entre otros aspectos críticos.

## 2.2 Seguridad en el proceso de soldadura

En el ámbito de la construcción naval, la soldadura constituye uno de los procesos en los que intervienen mayor cantidad de variables a tener en cuenta a la hora de planificar la

---

<sup>2</sup> IRAM 10005: Norma del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), organismo que establece estándares técnicos y de seguridad en Argentina.

seguridad de las operaciones. Esto se debe a que, en el proceso más simple de soldadura actúan riesgos combinados de electricidad, toxicidad de agentes químicos, radiaciones, calor, etc. y que no solo afectan al soldador, sino también a su entorno y a terceros.

### 2.2.1 Riesgos Comunes en la Soldadura

Los riesgos asociados a la actividad son numerosos y pueden representar amenazas graves tanto para la seguridad del trabajador como para la integridad estructural de la embarcación. Entre los peligros más comunes se encuentran la exposición a humos tóxicos, la posibilidad de incendios y explosiones, los riesgos eléctricos, las caídas desde alturas y la acumulación de gases peligrosos en espacios confinados. La norma ANSI Z49.1:2012 (AWS) aborda estos riesgos y establece directrices para su identificación y mitigación a través de procedimientos estandarizados de análisis de riesgo y la implementación de medidas preventivas específicas.

Uno de los riesgos más significativos en la soldadura naval es la inhalación de humos de soldadura, los cuales pueden contener compuestos tóxicos como óxidos de metales pesados, cromo hexavalente, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno. La exposición prolongada a estas sustancias puede provocar enfermedades respiratorias graves, como la neumoconiosis, bronquitis crónica o incluso cáncer pulmonar. Para mitigar este riesgo, la norma establece la necesidad de contar con ventilación adecuada en el área de trabajo, ya sea a través de ventilación natural o forzada, y recomienda el uso de equipos de protección respiratoria cuando las concentraciones de contaminantes superan los límites permitidos.

Otro peligro crítico es el riesgo de incendios y explosiones, especialmente en la construcción y reparación naval, donde pueden existir materiales inflamables, vapores de combustibles y sistemas eléctricos activos. Para prevenir este tipo de incidentes, la norma exige la eliminación de fuentes de ignición cercanas, la instalación de barreras de protección contra chispas y la disponibilidad inmediata de extintores adecuados. Además, antes de iniciar cualquier tarea de soldadura en tanques de combustible o compartimentos cerrados, se deben realizar pruebas de atmósfera para detectar la presencia de gases inflamables y, si es necesario, proceder a la inertización del espacio con gases inertes como el nitrógeno o el dióxido de carbono.

Los riesgos eléctricos también son una preocupación relevante, dado que la soldadura involucra el uso de corrientes eléctricas de alta intensidad. La ANSI Z49.1:2012 establece que los trabajadores deben asegurarse de utilizar equipos con aislamiento adecuado y revisar periódicamente el estado de los cables y conexiones. Asimismo, se recomienda implementar procedimientos de bloqueo y etiquetado (lockout/tagout) para evitar la activación accidental de sistemas eléctricos durante las operaciones de soldadura en embarcaciones.

En lo que respecta a la soldadura en altura, existe un alto riesgo de caídas, especialmente cuando se trabaja en estructuras elevadas dentro de astilleros o en la propia embarcación en construcción. Para mitigar este riesgo, la norma exige el uso de arneses de seguridad, líneas de vida y la instalación de barandas o redes de protección. Además, se deben delimitar claramente las áreas de trabajo y restringir el acceso a personal no autorizado para reducir la posibilidad de accidentes.

La presencia de espacios confinados dentro de una embarcación es otro factor de riesgo que requiere atención especial. La soldadura en estos entornos puede generar una acumulación peligrosa de gases tóxicos, deficiencia de oxígeno y un aumento en la

temperatura del ambiente, lo que pone en riesgo la vida del trabajador. La norma establece que, antes de ingresar a un espacio confinado para realizar soldadura, se deben llevar a cabo pruebas de calidad del aire mediante monitores de gases y se debe contar con un plan de rescate en caso de emergencia. Asimismo, se recomienda la presencia de un supervisor o vigía que mantenga contacto constante con el soldador y pueda actuar en caso de una contingencia.

#### 2.2.1.1 Riesgo por el tipo de trabajo y su lugar de realización.

Uno de los principales factores de riesgo en la soldadura naval es la variabilidad en las posiciones y condiciones de trabajo. Dependiendo de la estructura de la embarcación, los soldadores pueden verse obligados a realizar su labor en espacios confinados, en altura, bajo la línea de flotación o en zonas donde existan materiales inflamables. Por ejemplo, la soldadura en el pantoque<sup>3</sup>, que es la parte inferior del casco y una de las más expuestas a esfuerzos mecánicos y corrosión, requiere que el soldador trabaje en posiciones incómodas, generalmente en espacios reducidos y con ventilación limitada. Este tipo de labor incrementa la fatiga del trabajador y eleva el riesgo de exposición a humos tóxicos, ya que los contaminantes tienden a acumularse en áreas de difícil acceso donde la ventilación natural es escasa.

Además, la soldadura en el pantoque puede implicar riesgos adicionales si la embarcación se encuentra en dique seco, donde las chispas y escorias pueden caer sobre superficies inflamables. En estos casos, se deben implementar medidas de prevención, como el uso de mantas ignífugas y la presencia de equipos de extinción de incendios en las cercanías. También es esencial contar con un sistema de ventilación forzada para evitar la acumulación de gases peligrosos, especialmente en compartimentos cerrados donde la falta de oxígeno o la presencia de vapores inflamables pueden generar condiciones peligrosas para el soldador.

Otro entorno de riesgo elevado es la soldadura en los tanques de combustible o en áreas cercanas a tuberías que hayan contenido sustancias inflamables. La norma exige que antes de realizar cualquier intervención en estos espacios se realicen pruebas de atmósfera para detectar la presencia de gases peligrosos y que, de ser necesario, se proceda a su inertización mediante el uso de gases inertes como el nitrógeno o el dióxido de carbono. Adicionalmente, se requiere que los trabajadores cuenten con equipos de respiración autónoma o sistemas de suministro de aire cuando las condiciones ambientales no garanticen una respiración segura.

Cuando la soldadura se realiza en cubiertas superiores o estructuras elevadas dentro de la embarcación, se suman riesgos relacionados con caídas desde altura. En estos casos, la ANSI Z49.1:2012 establece que se deben utilizar arneses de seguridad y líneas de vida, además de instalar redes de protección o barandas temporales para evitar accidentes. Asimismo, se debe prestar especial atención a la manipulación de equipos y materiales en altura, asegurando que estén correctamente asegurados para evitar caídas de herramientas o piezas metálicas que puedan causar lesiones a otros trabajadores en niveles inferiores.

Por otro lado, la soldadura bajo la línea de flotación, especialmente cuando la embarcación se encuentra en el agua, representa riesgos adicionales debido a la proximidad del agua y la posible presencia de humedad en las conexiones eléctricas. La norma establece que en

---

<sup>3</sup> Pantoque: La parte curva del casco de un barco que conecta el fondo con los costados, una zona crítica para la estructura y la soldadura.

estas condiciones se deben utilizar fuentes de alimentación con aislamiento adecuado y herramientas diseñadas para entornos húmedos, con el fin de reducir el riesgo de electrocución. También se recomienda que los soldadores trabajen en equipos, con un observador en la superficie que pueda intervenir rápidamente en caso de emergencia.

#### 2.2.1.2 Riesgos por la manipulación de gases comprimidos

Uno de los principales peligros en la manipulación de gases comprimidos es el riesgo de explosión debido a la liberación repentina de gas bajo presión. En el caso de los cilindros de oxígeno y acetileno, comúnmente utilizados en procesos de soldadura y corte, cualquier golpe, caída o manipulación inadecuada puede provocar una fuga descontrolada que, en presencia de una chispa o fuente de calor, puede generar un incendio o una explosión. Para prevenir estos incidentes, la norma exige que los cilindros sean transportados con sus tapas de protección instaladas y asegurados correctamente en posición vertical mediante cadenas o soportes adecuados. Además, prohíbe su almacenamiento en áreas donde puedan estar expuestos a calor excesivo, fuentes de ignición o sustancias inflamables.

Otro riesgo crítico es la posibilidad de fugas de gases peligrosos en espacios confinados, como tanques de combustible, bodegas y compartimentos cerrados de la embarcación. La acumulación de gases inflamables, como el acetileno o el propano, en estas áreas puede crear una atmósfera explosiva si no se garantiza una ventilación adecuada. Asimismo, gases inertes como el argón o el dióxido de carbono, utilizados en procesos de soldadura por arco, pueden desplazar el oxígeno en espacios reducidos, generando un riesgo de asfixia. Por ello, la norma establece que antes de trabajar en estos ambientes se realicen pruebas de atmósfera para monitorear la concentración de oxígeno y la presencia de gases peligrosos, y que se utilicen sistemas de ventilación mecánica para evitar acumulaciones peligrosas.

La compatibilidad entre gases y materiales también es un aspecto crítico en la manipulación de cilindros en entornos navales. La norma prohíbe el contacto del oxígeno con aceites o grasas, ya que esta combinación puede provocar una reacción altamente inflamable. De igual manera, se recomienda el uso de reguladores y mangueras específicas para cada tipo de gas, evitando la interconexión de equipos diseñados para diferentes gases, lo que podría generar reacciones químicas peligrosas o una sobrepresurización inesperada.

Otro peligro importante es el manejo inadecuado de los cilindros durante su transporte en embarcaciones. Dado que las plataformas y cubiertas pueden estar húmedas o inestables debido al movimiento de la nave, los cilindros deben asegurarse firmemente para evitar desplazamientos que puedan dañarlos o causar caídas. En entornos donde los cilindros están expuestos a la intemperie, la norma exige que se protejan de la radiación solar directa y de temperaturas extremas, ya que el calor excesivo puede aumentar la presión interna y provocar una ruptura del recipiente.

Por último, la norma establece que todo el personal involucrado en la manipulación de gases comprimidos debe recibir capacitación específica sobre los riesgos asociados, las prácticas seguras de manejo y las acciones a seguir en caso de una emergencia, como la detección de fugas o el control de incendios. También se recomienda la implementación de procedimientos de inspección periódica para detectar daños en cilindros, reguladores y mangueras, y garantizar que estos equipos se encuentren en condiciones óptimas antes de su uso.

### 2.2.1.3 Riesgos asociados a los agentes contaminantes producidos durante la soldadura

Aquí es donde se agrupan los riesgos más específicos de los procesos de soldeo, debido a que las reacciones que son la base de dichos procesos son especialmente violentas, produciendo gran número de agentes contaminantes que podemos clasificar en tres grandes grupos (como se observa en la figura 4): Humos y gases desprendidos durante el soldeo, radiaciones, y ruido y proyección de partículas.

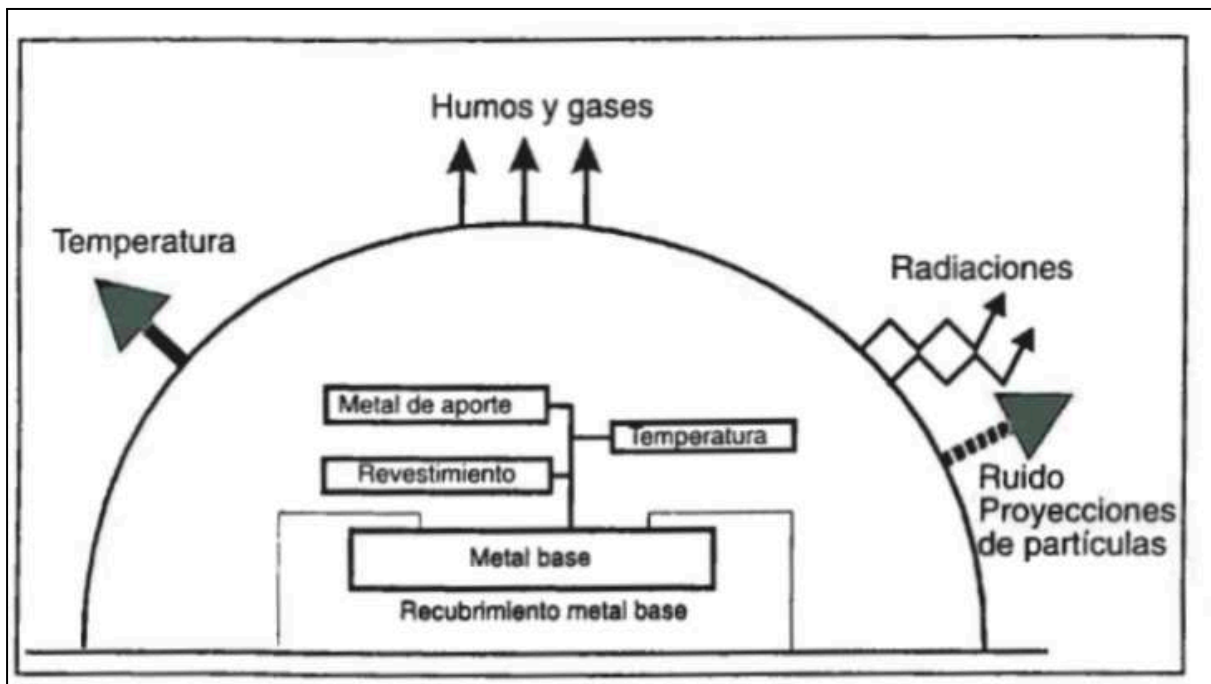


Figura 4: Principales riesgos en el proceso de soldadura.  
Fuente: Hernández-Riesco, G. (2011). Manual del Soldador.

Los humos y gases aparecen por reacción química de los diferentes componentes del proceso. Las diferentes sustancias químicas potencialmente peligrosas tienen diferentes características dependiendo de su origen, pudiéndose destacar las siguientes fuentes:

- Producidos a partir del material base.
- Producidos a partir del recubrimiento del material base (galvanizado, niquelado, cromado, cadmiado, pintado, recubrimientos plásticos, engrasado).
- Producidos por los productos desengrasantes o de limpieza del material base y del de aportación.
- Producidos a partir del material de aportación, del revestimiento o de los fundentes.
- Producidos por reacción con el aire circundante.
- Producidos a partir de los líquidos o gases que estuvieron contenidos en los depósitos a soldar.

Los procesos de soldadura por arco producen radiaciones visibles, infrarrojas y ultravioletas, que producen lesiones en los ojos y la piel, siendo las radiaciones ultravioletas las más peligrosas. Los procesos por llama también producen estas radiaciones, aunque con menor

intensidad. Otros procesos como el de resistencia producen radiaciones visibles e infrarrojas, no siendo, sin embargo, tan nocivas.

El ruido se produce por la acción de operaciones complementarias al soldeo. tales como el esmerilado, el picado, martillado, etc. Ciertos procesos de soldeo y corte, como el proceso por plasma y algunos de resistencia eléctrica, generan ruidos superiores a los 90 dB.

Las proyecciones de partículas incandescentes pueden alcanzar hasta 10 metros de distancia en horizontal. Estas partículas, con la acción combinada del calor producido y la presencia de gases y materiales combustibles, pueden originar incendios, por lo que se hace imprescindible que todos los materiales del suelo como paredes, pantallas, etc, sean ignífugos.

### 2.2.2 Equipo de Protección Personal (EPP)

El uso del Equipo de Protección Personal (EPP) es un pilar fundamental para garantizar la seguridad de los trabajadores, especialmente durante las fases de montaje y alistamiento de embarcaciones. Estos procesos implican condiciones de trabajo extremas, con exposición a altas temperaturas, radiación intensa, humos tóxicos, riesgo de proyecciones de material fundido, manipulación de estructuras pesadas y, en muchos casos, trabajo en espacios confinados o en altura. La norma ANSI Z49.1:2012 establece directrices específicas sobre el EPP necesario para minimizar los riesgos inherentes a la soldadura, asegurando que los operarios cuenten con la protección adecuada en cada etapa del proceso.

Uno de los componentes más relevantes del Equipo de Protección Personal (EPP) en las tareas de soldadura naval corresponde a la protección ocular y facial. Estos elementos deben estar diseñados conforme a la norma ANSI/ISEA Z87.1, la cual establece criterios técnicos respecto a la selección del tono de las lentes y a la capacidad de protección frente a partículas y proyecciones.

Durante las etapas de montaje y alistamiento de embarcaciones, el personal de soldadura se encuentra expuesto de manera directa a la radiación ultravioleta (UV) e infrarroja (IR) emitida por el arco eléctrico. La exposición a estas radiaciones sin la protección adecuada puede ocasionar lesiones oculares severas, entre ellas la queratitis actínica, comúnmente conocida como “ojos de soldador” (véase Figura 6)

Con el propósito de mitigar estos riesgos, resulta imprescindible la utilización de cascos de soldadura equipados con filtros de oscurecimiento automático o, en su defecto, de lentes de protección con sombras específicas, seleccionadas en función del tipo de procedimiento de soldadura empleado.

Del mismo modo, en operaciones complementarias como el corte térmico y el esmerilado, la normativa de seguridad establece la obligatoriedad del uso de gafas de seguridad o pantallas faciales, destinadas a minimizar la probabilidad de lesiones derivadas de la proyección de partículas sólidas y chispas (véase Figura 5).

El equipo de protección respiratoria es otro componente esencial, dada la generación de humos y gases tóxicos que pueden acumularse en espacios reducidos, como compartimentos internos de la embarcación. La exposición a estos contaminantes puede causar afecciones respiratorias graves, desde irritaciones leves hasta enfermedades pulmonares crónicas. En función de la ventilación del entorno y la toxicidad de los materiales empleados, los soldadores deben utilizar respiradores de media cara con filtros para partículas metálicas (figura 7) o máscaras de suministro de aire en atmósferas deficientes

en oxígeno. En espacios confinados, donde la acumulación de vapores y gases puede ser letal, la norma exige la utilización de equipos de respiración autónoma (SCBA, por sus siglas en inglés) o líneas de suministro de aire externo (véase figura 8).

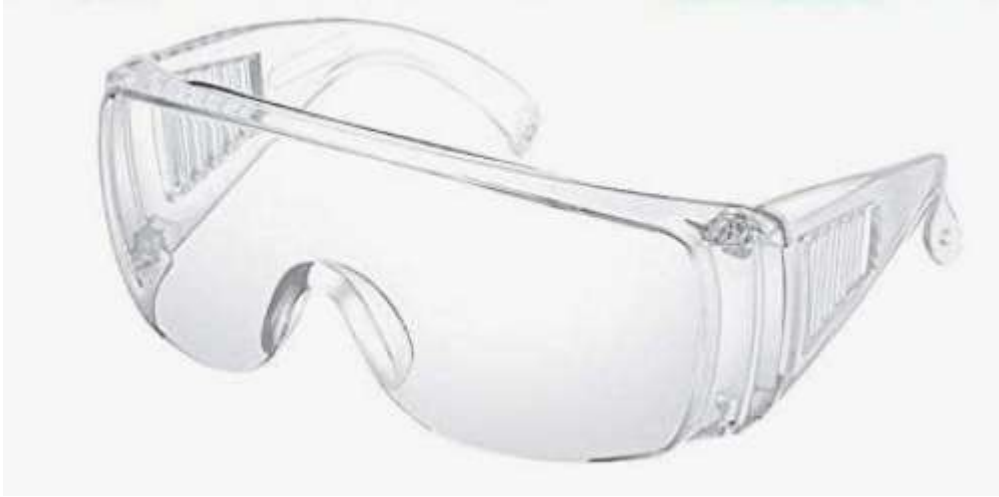


Figura 5: Lentes de seguridad.

Fuente: Equipos de protección en soldadura naval, Genyed. (<https://www.genyed.com>).



Figura 6: Mascara para soldar.

Fuente: Equipos de protección para soldadura, Ever Safe. ([www.eversafesrl.com/](http://www.eversafesrl.com/))



Figura 7: Respirador de media cara

Fuente: Respirador reutilizable de media máscara serie 6000, 3M. (<https://www.3m.com.ar>)



Figura 8: Equipos de respiración autónoma.

Fuente: Respiradores autónomos, Honeywell. (<https://automation.honeywell.com>)

La protección de las manos y brazos es crucial en la soldadura naval, ya que los operarios manejan materiales a altas temperaturas y herramientas que generan calor intenso. Para

ello, se utilizan guantes de soldador confeccionados en cuero grueso, los cuales deben ser resistentes al calor, a la abrasión y a las proyecciones de metal fundido. Dependiendo del tipo de soldadura y de la manipulación de materiales, se pueden requerir guantes con refuerzos en áreas específicas o de mayor longitud para proteger ante quemaduras en los antebrazos.

En cuanto a la protección del cuerpo, los trabajadores deben utilizar indumentaria resistente al calor y las chispas, evitando prendas sintéticas que puedan derretirse y causar quemaduras graves. La norma ANSI Z49.1:2012 establece que la ropa debe estar confeccionada en algodón ignífugo o cuero, con un diseño que cubra completamente el torso, brazos y piernas. Durante el montaje y alistamiento de embarcaciones, es frecuente el uso de delantales de cuero, chaquetas de soldador y polainas que protejan las piernas del contacto con superficies calientes y de proyecciones de material fundido.

El calzado de seguridad es otro elemento esencial. Dado que el montaje y alistamiento de embarcaciones implica la manipulación de piezas metálicas pesadas y el trabajo en entornos donde pueden caer objetos, los soldadores deben utilizar botas con puntera de acero y suela resistente a perforaciones. Además, en áreas donde existe riesgo de descargas eléctricas, se requiere calzado dieléctrico para prevenir accidentes por contacto con corriente.

Cuando las tareas de soldadura se realizan en altura, es obligatorio el uso de sistemas de protección contra caídas. Esto incluye arneses de seguridad con líneas de vida ancladas a puntos estructurales firmes, así como la instalación de barandas y redes de protección para minimizar el riesgo de caídas. La norma también enfatiza la necesidad de capacitación en el uso correcto de estos equipos, asegurando que los trabajadores sepan cómo anclarse adecuadamente y cómo actuar en caso de una emergencia.

Finalmente, la protección auditiva es fundamental en el entorno naval, ya que el proceso de montaje y alistamiento de embarcaciones involucra el uso de herramientas de alta potencia, como esmeriles, martillos neumáticos y sierras de corte, que generan niveles de ruido que pueden causar pérdida auditiva permanente. Para mitigar este riesgo, los soldadores deben utilizar tapones auditivos o protectores tipo copa, seleccionados en función del nivel de ruido presente en el área de trabajo.

### 2.2.2.1 Riesgos asociados a la soldadura de cascos externos

Si bien los riesgos inherentes a la soldadura son conocidos, su ejecución sobre los cascos externos de las embarcaciones presenta un conjunto único de desafíos. En este entorno, los factores ambientales y operacionales se combinan, potenciando significativamente el peligro para los operarios. La interacción directa con las condiciones climáticas es, sin duda, el agravante principal, especialmente en una ubicación de gran variabilidad meteorológica como Mar del Plata.

El viento, una constante en la región con una velocidad promedio de 21 km/h, se convierte en un agente de riesgo crítico. No solo compromete la estabilidad física del soldador que trabaja en andamios o plataformas elevadoras, sino que actúa como un vector para las partículas incandescentes proyectadas durante el soldeo. Este fenómeno vuelve su trayectoria impredecible y amplía su alcance, elevando drásticamente la peligrosidad del riesgo de quemaduras. Adicionalmente, el viento interfiere directamente con el proceso técnico de la soldadura al desplazar el gas de protección en sistemas como MIG/MAG, lo

que no solo afecta la integridad de la unión, sino que obliga al operario a reducir la distancia de trabajo, incrementando su exposición directa a humos y radiación.

A la acción del viento se suman los efectos de la humedad y la precipitación. Con una humedad relativa promedio anual del 80%, el riesgo eléctrico se magnifica al combinarse los equipos de alta corriente con las extensas superficies metálicas mojadas. Esta condición también aumenta la probabilidad de resbalones y caídas desde altura. Tampoco puede subestimarse la exposición a la radiación solar y al estrés térmico. El trabajo prolongado al aire libre, sumado al reflejo de la luz solar sobre la chapa del casco, expone al personal a niveles elevados de radiación ultravioleta y a un riesgo constante de deshidratación y estrés por calor. Finalmente, el propio casco como lugar de trabajo impone riesgos operacionales específicos. Las grandes superficies verticales obligan a los soldadores a adoptar posturas forzadas y mantenidas, mientras que la manipulación de herramientas y materiales en los andamios perimetrales genera una amenaza constante de caída de objetos para el personal que se encuentre en niveles inferiores.

### 2.2.2.2 Prácticas de seguridad en soldadura naval

La industria se rige por una serie de prácticas y procedimientos estandarizados, como el permiso de trabajo en caliente. Estas medidas conforman un marco de trabajo robusto que abarca desde la planificación administrativa hasta el control activo en el área de operaciones, buscando garantizar la integridad de los trabajadores y la calidad del proceso.

La base de una operación segura reside en los controles administrativos, los cuales están sólidamente anclados en la legislación argentina. La emisión de un Permiso de Trabajo en Caliente es un ejemplo central; no se trata de una mera recomendación, sino de un requisito legal y una herramienta de control fundamental en la industria naval, explícitamente regulado por la Prefectura Naval Argentina a través de su Ordenanza N° 5-02 (DPSN). Esta práctica se enmarca en las obligaciones más amplias que establece la Ley Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo N° 19.587 y su Decreto Reglamentario 351/79. De esta misma legislación surge la necesidad de desarrollar Procedimientos de Trabajo Seguro (PTS). Estos documentos materializan la obligación del empleador de identificar los riesgos de cada tarea y establecer un método de trabajo seguro, detallando el paso a paso de la operación y las medidas de control a aplicar. La efectividad de estos controles se asegura mediante una capacitación rigurosa del personal, garantizando que los procedimientos no solo existan, sino que sean comprendidos y aplicados correctamente.

El control efectivo del área de trabajo es igualmente fundamental. La preparación de la zona comienza con la correcta delimitación y señalización para restringir el acceso de personal no autorizado, conforme a normativas como la IRAM 10005. A esto le sigue la implementación de protecciones colectivas, que constituyen la primera barrera de defensa. El uso de mantas ignífugas para cubrir materiales combustibles cercanos y la correcta instalación de barandas, redes de seguridad y líneas de vida son prácticas obligatorias para prevenir incendios y caídas. A menudo se emplean barreras cortavientos temporales, aunque estas soluciones improvisadas, como las lonas plásticas, pueden introducir nuevos peligros si no son de material ignífugo.

Una práctica de seguridad esencial, directamente ligada a la problemática de este estudio, es el monitoreo de las condiciones climáticas. Toda operación debe contar con un protocolo claro que establezca los límites operativos, definiendo la velocidad de viento o la intensidad

de la lluvia bajo las cuales la actividad de soldadura al exterior debe ser detenida de forma inmediata para garantizar la seguridad.

## 2.3 Mejora continua y metodologías de análisis

### 2.3.1 Análisis de riesgos

Para llevar a cabo un análisis de riesgos riguroso y objetivo, es esencial emplear metodologías estructuradas que no sólo identifiquen los peligros, sino que también permitan jerarquizar su criticidad para orientar las acciones de mejora. Para este trabajo, se ha seleccionado el Método de William T. Fine como la herramienta de análisis principal (Fine, 1971).

Este es un sistema cuantitativo diseñado específicamente para la evaluación de riesgos laborales. Su objetivo es calcular un índice numérico, denominado Grado de Peligrosidad (GP), que permite clasificar y priorizar los riesgos de manera sistemática y objetiva. El método se basa en la siguiente fórmula matemática:

$$GP = \text{Consecuencias} \times \text{Exposición} \times \text{Probabilidad}$$

Donde cada variable representa un factor clave del riesgo:

Consecuencias (C): Valora la severidad del daño más probable que podría ocurrir como resultado de un accidente, abarcando desde lesiones menores hasta consecuencias fatales.

Exposición (E): Mide la frecuencia con la que el personal se encuentra sometido a la situación de riesgo durante sus tareas habituales.

Probabilidad (P): Estima la posibilidad de que, una vez que el trabajador está expuesto al peligro, la secuencia completa del accidente se desencadene.

A cada uno de estos factores se le asigna un valor numérico extraído de tablas estandarizadas, lo que permite una evaluación consistente y comparable entre distintos riesgos.

El resultado de la fórmula, el Grado de Peligrosidad, se contrasta con una escala de calificación que define el nivel del riesgo (desde "Aceptable" hasta "Muy Alto"). Esta clasificación está directamente asociada a un criterio de acción, indicando la urgencia y la necesidad de implementar medidas de control. De esta manera, el método no solo identifica los problemas, sino que también prescribe la prioridad de las soluciones.

La elección de este método para el presente estudio se fundamenta en su enfoque práctico y su aplicabilidad directa a los riesgos operacionales de seguridad e higiene, como los que enfrentan los soldadores en el astillero. A diferencia de metodologías más orientadas a la fiabilidad de procesos, el Método Fine ofrece una herramienta clara para justificar y priorizar las mejoras en las condiciones de trabajo, alineándose perfectamente con los objetivos de esta tesis.

### 2.3.2 Implementación de mejoras en procesos industriales.

Un proyecto de ingeniería no concluye con el diseño de una solución, sino que debe contemplar el proceso para su correcta validación y eventual estandarización. Por ello, es

pertinente presentar en este marco teórico la metodología que guiaría la materialización de la propuesta. El Ciclo de Mejora Continua PDCA es el modelo de gestión industrial por excelencia para estructurar este camino, asegurando que una propuesta de mejora se transforme en una práctica segura y sostenible.

Este ciclo inicia con la etapa de Planificar, que es análoga a la fase de diseño de una propuesta de ingeniería, donde se establecen los objetivos y se desarrolla la solución técnica para un riesgo detectado. A esta le sigue la fase de "Hacer", que correspondería a una prueba piloto de la solución diseñada para evaluar su comportamiento en un entorno real. La etapa clave de Verificar se centra en la medición objetiva de los resultados de esa prueba, utilizando indicadores para comparar el estado "antes" y "después" y así validar la efectividad de la mejora. Finalmente, el ciclo concluye con la etapa de Actuar, donde, tras una verificación exitosa, se procede a la estandarización del nuevo procedimiento, incluyendo la documentación y la capacitación necesarias para asegurar su correcta adopción en el largo plazo. La inclusión de este modelo en el proyecto demuestra una visión integral del proceso de mejora.

Las herramientas comunes que pueden usarse para apoyar la mejora continua incluyen los 5 porqués (qué, por qué, dónde, cuándo, quién, cómo, cuánto) y el diagrama de Ishikawa, que se utiliza para identificar las causas de los problemas.

Finalmente, la implementación de mejoras debe complementarse con la definición de indicadores de desempeño (KPI) que midan su impacto en aspectos clave como calidad, tiempos de ciclo, seguridad laboral y costos. Estos indicadores posibilitan evaluar la efectividad de las acciones aplicadas y promueven la toma de decisiones basadas en evidencia.

## 2.4 Condiciones climáticas en la costa marplatense

La ciudad de Mar del Plata está posicionada bajo la influencia de frentes fríos, provenientes de la Patagonia y frentes cálidos, que suelen ingresar por las provincias de Misiones y Corrientes. Debido a este hecho, el área se ve afectada por la alternancia de las masas de aire involucradas en cada uno de los frentes citados.

La temperatura media anual es de 14 ° C y las precipitaciones alcanzan los 920 mm anuales. Los meses invernales son de menor precipitación, que junto a una menor evaporación, provoca un balance hídrico negativo que se invierte desde octubre hasta marzo.

Mar del Plata y las zonas aledañas, debido a su ubicación geográfica frente al océano, abierta hacia la llanura pampeana y con un importante frente marítimo, conforman un área de gran variabilidad meteorológica.

Si se trata de considerar la dirección predominante del viento, no hay una dirección específica. La tendencia indica que los vientos del cuadrante N, NO, O y S, son los más relevantes, con una velocidad promedio de 21 km/h. La influencia de la brisa marina en la zona portuaria, se evidencia en los vientos del sector NE, en los meses de septiembre, octubre, noviembre, e intensificándose en diciembre, enero, febrero y marzo. Los vientos locales en la región son los que soplan desde el mar a tierra durante la tarde (brisa de mar) y a la inversa durante la noche (brisa de tierra). La brisa marina, refleja su importancia en los meses estivales con un marcado predominio del viento del NE.

El clima de Mar del Plata es templado oceánico (Cfb) según la Clasificación climática de Köppen (Köppen, 1936) con precipitaciones abundantes durante todo el año. Este sistema consiste en una clasificación climática natural mundial que identifica cinco tipos de clima principales, subdivididos en un total de treinta clases con una serie de letras que indican el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones, y el tipo de vegetación existente en ellas.

La oscilación térmica anual no es elevada, los veranos son suaves, con temperaturas medias por debajo de los 35 °C y los inviernos frescos con temperatura media de -3/-2 °C. La humedad relativa promedio anual es del 80 %. La velocidad promedio del viento en verano es de 18,1 km/h.

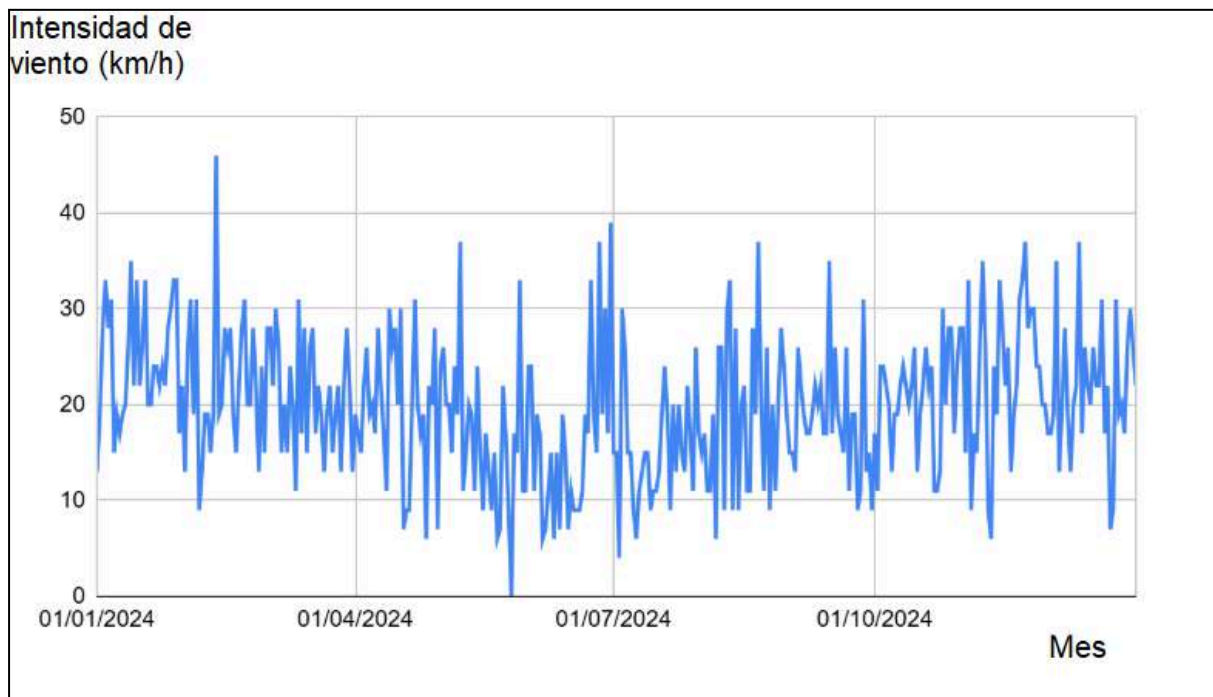


Figura 9: Intensidad de viento por mes en Mar del Plata.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del SMN.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
<b>Temp. máx. abs. (°C)</b>	42.4	38.1	36.3	32.5	27.4	22.2	27.7	24.7	28.8	34.4	35.7	39.4	42.4
<b>Temp. máx. media (°C)</b>	26.4	25.5	23.8	20.4	16.9	13.8	12.6	14.7	15.9	18.6	21.7	25.2	19.6
<b>Temp. media (°C)</b>	20.3	19.7	18.1	14.6	11.4	8.5	7.5	9.0	10.4	13.2	15.9	18.8	14.0
<b>Temp. mín. media (°C)</b>	14.5	14.3	12.9	9.5	6.7	4.0	3.2	4.2	5.5	8.1	10.3	12.8	8.8
<b>Temp. mín. abs. (°C)</b>	4.7	1.2	1.9	-1.0	-3.0	-5.5	-9.3	-6.4	-5.5	-3.0	-2.0	-0.2	-9.3
<b>Precipitación total (mm)</b>	91.1	103.6	95.2	97.3	60.0	66.1	57.8	63.6	63.1	83.1	80.3	84.8	946.1
<b>Días de precipitaciones (≥ 0.1 mm)</b>	8.1	8.0	9.0	9.3	8.2	8.7	9.4	8.0	8.3	10.0	9.8	8.2	105.0
<b>Horas de sol</b>	288.3	234.5	232.5	195.0	167.4	120.0	127.1	164.3	174.0	210.8	222.0	269.7	2405.6
<b>Humedad relativa (%)</b>	73.9	77.2	79.5	79.9	82.0	81.6	81.8	79.5	78.6	77.7	75.4	72.7	78.3

Figura 10: Parámetros climáticos promedio de Mar del Plata (1991-2020).  
Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (promedios 1991-2020).

### 3. Metodología

#### 3.1 Diseño de la investigación

##### 3.1.1 Tipo de investigación

La naturaleza de la presente investigación es fundamentalmente aplicada, ya que persigue la resolución de un problema práctico y concreto: la mejora de las condiciones de seguridad e higiene en la actividad de soldadura naval. Para alcanzar dicho objetivo, el estudio se estructura bajo un enfoque mixto que parte de un alcance descriptivo, mediante el cual se identifican y analizan sistemáticamente los riesgos y las condiciones de trabajo actuales en el astillero. Posteriormente, la investigación avanza hacia un alcance explicativo, al profundizar en las relaciones de causalidad entre los factores de riesgo —como las condiciones climáticas adversas— y sus consecuencias en la seguridad del operario. La comprensión generada a través de estas fases secuenciales constituye el fundamento para el diseño de un plan de mejoras.

### 3.1.2 Técnicas de recolección de datos

Para obtener información precisa y confiable, se emplearon diversas técnicas de recolección de datos que permitan abordar el problema de investigación desde diferentes perspectivas.

Revisión documental: Se analizaron normas de seguridad en soldadura, como la ANSI Z49.1:2012, así como estudios previos, artículos científicos y manuales de seguridad utilizados en la industria naval.

Observación directa: Se llevaron a cabo visitas a un astillero donde se evaluó el trabajo de los operarios y el cumplimiento de las normativas. Se prestó especial atención a la forma en que los operarios trabajan en condiciones adversas y a la potencial utilidad del dispositivo de seguridad en la reducción de riesgos.

Entrevistas semiestructuradas: Se realizaron entrevistas con expertos en seguridad industrial y soldadura naval para obtener información detallada sobre prácticas de seguridad, innovaciones tecnológicas y desafíos en la aplicación de normativas, así como su opinión sobre la efectividad del dispositivo de seguridad en la mejora de la seguridad.

## 3.2 Análisis de la situación actual

### 3.2.1 Descripción del proceso actual de soldadura

En la actualidad, durante los procesos de soldadura de cascos para nuevas embarcaciones, una vez que la estructura ingresa al dique seco, se procede a la instalación de andamios perimetrales que permiten el acceso seguro y eficiente a las distintas zonas de trabajo. En esta etapa inicial de construcción, la estructura del casco se compone únicamente de chapas cortadas según diseño, sin ensamblajes previos, lo que exige una planificación rigurosa tanto en la logística de montaje como en la aplicación de normas de seguridad, dada la exposición del personal a riesgos inherentes al proceso de soldadura en superficies metálicas amplias y abiertas.



Figura 11: Operarios utilizando carpas de seguridad rudimentarias.

Fuente: Elaboración propia.

Con el objetivo de obtener un diagnóstico preciso de la situación actual y comprender la perspectiva de los usuarios finales, se llevó a cabo un estudio cualitativo de carácter exploratorio con una muestra representativa del personal de soldadores del astillero. Se diseñó y aplicó un instrumento de recolección de datos, consistente en un cuestionario con preguntas abiertas, para relevar los desafíos operativos, las percepciones sobre seguridad y las necesidades no cubiertas durante la soldadura de cascos en condiciones desfavorables. El análisis de las respuestas arrojó una serie de percepciones y requerimientos clave que sirvieron como base para el desarrollo de la propuesta de mejora.



Figura 12: Gráfico de Percepciones y Requerimientos del Personal Operativo.  
Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, se identificó una clara demanda por una solución práctica y de rápida implementación. Los operarios destacaron que los métodos actuales, como el uso de cobertores plásticos, demandan un tiempo considerable para su instalación y ajuste, lo que impacta negativamente en la productividad. Por tanto, surgió como requerimiento fundamental el diseño de un elemento que pueda ser posicionado y asegurado de forma ágil sobre las diversas geometrías del casco.

Adicionalmente, el análisis reveló una notable preocupación por la salud ocupacional. Los encuestados manifestaron una inquietud recurrente respecto a la exposición corporal a la radiación ultravioleta (UV), infrarroja y a la luz visible intensa. A esto se sumó un claro interés en poder mitigar la inhalación de humos y gases generados durante el soldeo, con el fin de mejorar las condiciones de higiene en el punto de trabajo.

Otro hallazgo significativo se relaciona con el compromiso de la visibilidad a causa de las soluciones improvisadas. Se señaló que el uso de cobertores opacos, si bien reduce el efecto del viento, bloquea por completo la luz natural. Dado que no es una práctica habitual

instalar iluminación artificial para estas tareas temporales, la visibilidad del área de soldadura se ve frecuentemente disminuida, lo que introduce un riesgo operacional adicional. Finalmente, se constató una actitud proactiva por parte de todo el personal, mostrando una total disposición para recibir capacitaciones y adoptar procesos estandarizados que mejoren tanto la seguridad como la eficiencia de la tarea.

### 3.2.2 Identificación de puntos críticos en seguridad

Los riesgos asociados incluyen una serie de peligros directos para la salud de los trabajadores, especialmente en lo que respecta a la exposición de la vista, la piel y el sistema respiratorio. Uno de los principales riesgos es el daño ocular por la radiación ultravioleta e infrarroja generada durante el proceso de soldadura. La exposición sin protección a este tipo de radiación puede provocar una afección conocida como "flash ocular" o queratitis actínica, que causa dolor intenso, inflamación y sensibilidad a la luz (American Welding Society, 2012). Además, la intensa luminosidad del arco de soldadura puede afectar la visión de los trabajadores cercanos, incluso si no están directamente involucrados en la operación.

Otro riesgo crítico es el de las quemaduras por contacto con metal caliente, chispas o salpicaduras de material fundido. Durante la soldadura, partículas incandescentes pueden desprenderse y entrar en contacto con la piel o con la ropa del trabajador, provocando quemaduras de diversa gravedad. Este peligro se agrava en el entorno portuario, donde el viento puede desviar las salpicaduras hacia operarios cercanos. Además, la exposición a los humos de soldadura puede generar problemas respiratorios debido a la presencia de gases tóxicos como el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y vapores metálicos provenientes de los electrodos y el metal base. La inhalación prolongada de estos compuestos puede causar desde irritación de las vías respiratorias hasta enfermedades pulmonares crónicas (Superintendencia de Riesgos del Trabajo, 2015).

Durante las etapas de montaje y alistamiento de embarcaciones, los trabajos de soldadura suelen realizarse en estructuras elevadas y de difícil acceso, lo que incrementa significativamente el riesgo de caídas desde altura. Por este motivo, el uso de arneses de seguridad debidamente ajustados y anclados a puntos estructurales certificados es obligatorio. Estos equipos deben ser inspeccionados periódicamente para garantizar su funcionalidad y evitar fallos mecánicos que puedan derivar en accidentes con consecuencias graves o fatales. De igual manera, los andamios utilizados en estas tareas deben cumplir con criterios de estabilidad y resistencia estructural, contar con barandas de seguridad, superficies antideslizantes y estar adecuadamente fijados. Condiciones climáticas adversas, como la lluvia o fuertes vientos, pueden comprometer la estabilidad de estos elementos temporales, generando situaciones de riesgo que deben ser mitigadas mediante controles preventivos y señalización adecuada, conforme a lo estipulado por la norma IRAM 10005 (Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2018).

### 3.2.3 Evaluación cuantitativa de riesgos en la situación actual

Una vez identificados los puntos críticos y los peligros asociados a la actividad de soldadura en la sección anterior, se procede al análisis cuantitativo. Para poder priorizar acciones y justificar la implementación de mejoras de manera objetiva, se requiere una cuantificación que dimensione la verdadera magnitud de cada riesgo.

Para este fin, se aplicará el Método de William T. Fine, una metodología estandarizada que calcula un índice numérico conocido como Grado de Peligrosidad (GP). Este índice se obtiene a partir de la ponderación de tres factores clave para cada riesgo detectado, consecuencias (C), exposición (E) y probabilidad (P) (Fine, 1971).

Los valores asignados a cada uno de estos factores se basan en la observación directa de las tareas en el astillero, el análisis de los procedimientos de trabajo actuales y la información recopilada del personal operativo.

A continuación, se presenta la matriz con la evaluación detallada para cada uno de los riesgos identificados, cuyo resultado permitirá jerarquizar los peligros y enfocar los esfuerzos de mejora en aquellos que representen una amenaza intolerable o significativa para la seguridad de los soldadores.

Riesgo Identificado	C	E	P	GP (CxExP)	Nivel de riesgo y acción
Quemaduras por proyección de partículas, agravadas por el viento	15	6	6	540	Muy Alto. Detener la actividad en condiciones de viento fuerte
Inhalación de humos y gases tóxicos en ambiente exterior	7	10	3	210	Alto. Corrección urgente. Se necesita sistemas de protección
Daño ocular por radiación UV (flash ocular <sup>4</sup> ) y deslumbramiento	15	10	1	150	Notable. Corrección necesaria (reforzar uso y calidad de EPP)
Caídas desde altura en andamios y plataformas elevadoras	50	3	1	150	Notable. Corrección necesaria (revisión de procedimientos y anclajes)
Incendio por proyección de chispas sobre materiales cercanos	25	3	1	75	Notable. Corrección necesaria (mejorar orden y limpieza)

Figura 13: Matriz Fine de análisis de riesgos en la soldadura de cascos.

Fuente: Elaboración propia

- Riesgo: Quemaduras por proyección de partículas, agravadas por el viento.

C (Consecuencias): 15. Este valor se asigna porque una quemadura grave o una lesión ocular severa, agravadas por el viento, podrían resultar en una lesión que requiera atención médica, días de baja laboral o una incapacidad parcial permanente.

<sup>4</sup> Flash ocular: Afección dolorosa de la córnea y la conjuntiva causada por la exposición no protegida a la radiación ultravioleta del arco de soldadura. Es también conocida como queratitis actínica o "ojo de soldador".

E (Exposición): 6. La exposición es frecuente, ya que la soldadura con viento es una situación habitual en Mar del Plata, con una velocidad promedio de 21 km/h. La exposición del personal al riesgo ocurre de forma regular durante las jornadas laborales.

P (Probabilidad): 6. La probabilidad de que las partículas incandescentes alcancen al soldador o a terceros es alta. El viento actúa como un vector, aumentando la dispersión de las partículas y, por lo tanto, la probabilidad de que la secuencia del accidente (proyección + ráfaga de viento + contacto) ocurra.

- Riesgo: Inhalación de humos y gases tóxicos en ambiente exterior.

C (Consecuencias): 7. Se considera una consecuencia moderada. Aunque una exposición aguda podría no ser grave, la inhalación prolongada de humos y gases tóxicos (óxidos de metales pesados, cromo hexavalente) a largo plazo puede derivar en enfermedades respiratorias crónicas graves.

E (Exposición): 10. La exposición es continua. El soldador está expuesto a la generación de humos y gases durante toda la operación de soldadura, y el viento, en lugar de dispersarlos, puede dirigirlos hacia la zona de respiración del trabajador.

P (Probabilidad): 3. La probabilidad de que el viento empuje los humos directamente hacia el operario es factible y ocurre con cierta frecuencia, ya que no existen barreras físicas que lo impidan.

- Riesgo: Daño ocular por radiación UV y deslumbramiento.

C (Consecuencias): 15. El daño ocular puede ser grave, desde una queratitis actínica (flash ocular) con dolor intenso hasta lesiones permanentes si el EPP es inadecuado o se usa incorrectamente.

E (Exposición): 10. La exposición es continua durante la soldadura, ya que el arco eléctrico genera radiación de forma constante mientras se realiza la tarea.

P (Probabilidad): 1. La probabilidad de que ocurra un accidente es baja, ya que el riesgo está controlado por el uso de equipos de protección personal (EPP) como el casco de soldadura con filtro automático, que es de uso obligatorio.

- Riesgo: Caídas desde altura en andamios y plataformas elevadoras.

C (Consecuencias): 50. Esta es la consecuencia más grave. Una caída desde altura en el entorno del astillero podría resultar en una lesión fatal o una incapacidad permanente.

E (Exposición): 3. La exposición es poco frecuente. No todas las tareas de soldadura en la construcción de un casco se realizan en altura, por lo que la exposición del trabajador a esta situación es limitada.

P (Probabilidad): 1. La probabilidad de una caída es muy baja debido a la existencia de medidas de control obligatorias, como el uso de arneses de seguridad, líneas de vida y barandas en los andamios. El riesgo está mitigado por los procedimientos de seguridad ya implementados.

- Riesgo: Incendio por proyección de chispas sobre materiales cercanos.

C (Consecuencias): 25. Un incendio en un astillero podría causar daños muy graves a los operarios y a las instalaciones.

E (Exposición): 3. La exposición es poco frecuente. Los trabajos de soldadura no se realizan de forma continua sobre o cerca de materiales altamente inflamables.

P (Probabilidad): 1. La probabilidad de que una chispa cause un incendio es muy baja. El riesgo está controlado por procedimientos de seguridad que incluyen la limpieza del área de trabajo y el uso de mantas ignífugas, que reducen la posibilidad de ignición.

Los resultados presentados en la matriz confirman de manera cuantitativa las observaciones iniciales sobre los peligros en el astillero. El análisis revela que el riesgo de quemaduras por proyección de partículas, agravadas por el viento, alcanza un Grado de Peligrosidad<sup>5</sup> de 540, clasificándose como "Muy Alto". De acuerdo con la metodología Fine, un riesgo de esta magnitud exige la detención inmediata de la actividad bajo dichas condiciones, lo que evidencia una falla crítica en las medidas de control actuales y su impacto directo en la continuidad operativa y la seguridad del personal.

Asimismo, riesgos como la inhalación de humos tóxicos (GP 210, "Alto") y las caídas desde altura (GP 150, "Notable") también requieren atención y medidas correctivas urgentes, aunque su criticidad es menor en comparación.

Esta evaluación numérica no sólo valida la problemática planteada en este trabajo, sino que también establece una línea de base objetiva contra la cual se podrá medir la efectividad de cualquier mejora. En consecuencia, la criticidad del riesgo principal, directamente influenciado por las condiciones climáticas locales, subraya la necesidad imperativa de una solución de ingeniería. Dicha solución será el foco de la propuesta de mejora que se detalla a continuación.

### 3.3 Propuesta de mejora

#### 3.3.1 Justificación y Presentación de la Solución

Como se demostró en la evaluación de riesgos realizada en la sección 3.2.3, la tarea de soldadura en cascos exteriores presenta un Grado de Peligrosidad calificado como "Muy Alto". Este valor, atribuido principalmente al riesgo de quemaduras por proyección de partículas incandescentes agravadas por el viento, exige una intervención correctiva inmediata para garantizar la seguridad de los operarios.

Actualmente, los soldadores recurren a soluciones improvisadas y precarias, como el uso de lonas plásticas sujetas a los andamios. Estas medidas no sólo son ineficaces para controlar ráfagas de viento, sino que además introducen nuevos peligros, ya que dichos materiales no son ignífugas y pueden inflamarse al contacto con las chispas del proceso.

Para mitigar este riesgo de manera eficaz y segura, se propone el diseño y la utilización de un Módulo de Contención para Soldadores (MCS). Se trata de una estructura rígida y móvil, diseñada para aislar el punto de trabajo de las condiciones climáticas adversas, confinando el proceso de soldadura en un entorno controlado.

---

<sup>5</sup> Grado de Peligrosidad (GP): Un índice numérico que se utiliza para clasificar la criticidad de un riesgo laboral. Se calcula multiplicando los factores de Consecuencias, Exposición y Probabilidad, según el método de William T. Fine.

### 3.3.2 Objetivos del dispositivo

El diseño del Módulo de Contención para Soldadores responde a un objetivo principal, la mejora en la seguridad e higiene del proceso de soldadura. La estructura está concebida para funcionar como una barrera física que confina el proceso y sus proyecciones, garantizando la integridad física del operario.

De forma complementaria, se han integrado tres campanas de extracción, con una chimenea con un ángulo de 90 grados para la salida de humos, permitiendo la futura conexión de un sistema de extracción forzada o salida en forma convectiva pasiva. Esto genera beneficios secundarios que impactan positivamente en otros aspectos. Al proteger el área de trabajo de las ráfagas de viento, no solo se resguarda al soldador, sino que también se estabiliza el arco eléctrico y el gas de protección, lo que resulta en una mejora directa en la calidad y la integridad de la unión soldada. Asimismo, la contención de chispas minimiza el peligro de incendios en áreas circundantes y, al aislar al trabajador de las inclemencias climáticas, se mejoran sus condiciones generales de higiene y confort durante la jornada. Todo esto se enmarca en un diseño que asegura la viabilidad operativa, garantizando que el módulo pueda ser transportado y posicionado con facilidad en forma práctica y segura.

### 3.3.3 Diseño y Especificaciones Técnicas

#### 3.3.3.1 Modulo de contención para soldadores

El Módulo de Contención para Soldadores (MCS) es una solución de ingeniería diseñada para transformar el entorno de trabajo al aire libre en un espacio controlado y seguro. Su estructura, pensada para ser móvil y adaptable, busca aislar eficazmente el punto de soldadura de las condiciones climáticas adversas, confinando el proceso en un entorno protegido. Este diseño robusto pero versátil responde a la necesidad de mitigar los riesgos inherentes a la soldadura en cascos navales, garantizando la seguridad del operario y la calidad de la soldadura. A continuación, se detallan los componentes, especificaciones técnicas y los planos que dan forma a este dispositivo.

La estructura portante del MCS está fabricada a partir de chapa galvanizada de 0.7 mm de espesor. Este material fue seleccionado por su alta resistencia a la corrosión y su ligereza, lo que facilita la manipulación del dispositivo. La base del módulo está equipada con 10 imanes de neodimio que permiten una fuerte adherencia a la superficie metálica del casco. Adicionalmente, cuenta con una fina capa de goma espuma sobre la base para sellar la unión con la superficie y mitigar el posible ingreso de viento. También incorpora dos codos superiores que actúan como toberas de salida. Aunque el módulo no cuenta con extracción activa, estas salidas dirigen los humos de soldadura hacia arriba y lejos de la zona de respiración del operario.

El dispositivo ha sido diseñado con dimensiones y peso optimizados para permitir un manejo ágil por parte del operario, evitando la fatiga innecesaria. Las dimensiones del módulo son de 30 cm de ancho x 80 cm de largo y 20 cm de alto, lo que proporciona un habitáculo adecuado para el proceso de soldadura. El peso estimado del MCS es de 2 kg, lo que facilita su transporte y posicionamiento en los andamios perimetrales del astillero, sin necesidad de equipos de izaje voluminosos.

El MCS consta de dos secciones principales unidas por un mecanismo tipo bisagra en la parte media. Esta característica permite que el módulo se adapte a las diversas geometrías

de la chapa a soldar. El diseño incluye dos tornillos que unen ambos lados de la estructura para asegurar su posición una vez que copia la forma de la superficie. El habitáculo creado por la estructura permite el ingreso de luz natural, manteniendo la visibilidad sin requerir iluminación artificial.

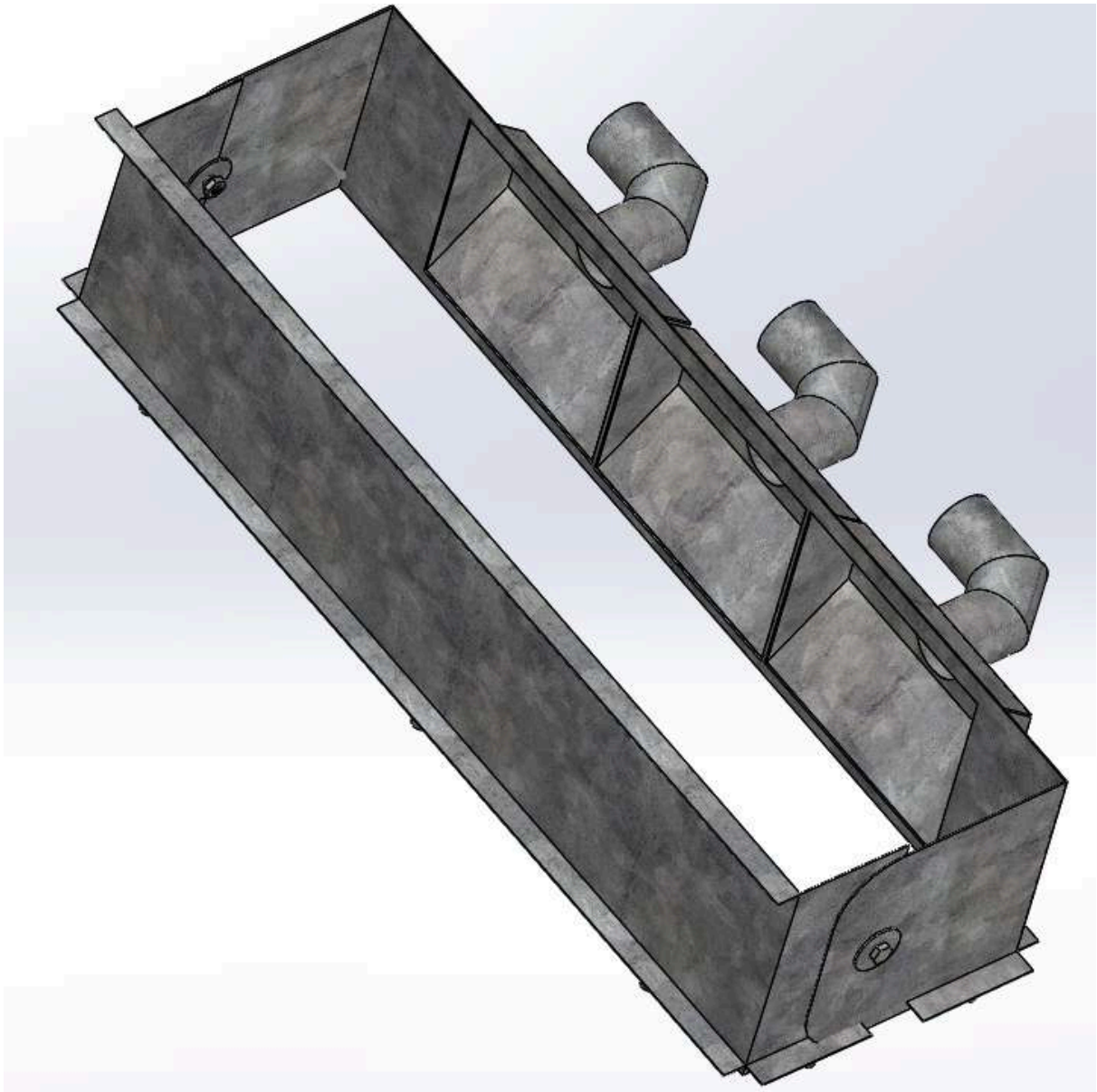


Figura 14: Módulo de contención para soldadores

Fuente: Elaboración propia.



Figura 15: Módulo de contención para soldadores sin respiradores

Fuente: Elaboración propia.

El diseño cumple con la normativa IRAM 10005, que exige el uso de color amarillo con bandas negras para partes salientes o elementos que puedan generar riesgo de golpe o tropiezo. Esta señalización es obligatoria para garantizar la seguridad en el lugar de trabajo.

- Iluminación y Visibilidad

Dentro de su habitáculo, el MCS está diseñado para trabajar con luz natural, eliminando la necesidad de incorporar un sistema de luz artificial. Aunque su geometría tipo caja limita parcialmente el ingreso de luz, esta atenuación no es relevante ya que la altura del elemento es superior a 20 cm, lo que garantiza una visibilidad adecuada para el soldador. Esto representa una mejora significativa respecto a las soluciones improvisadas, como las lonas opacas, que bloquean completamente la luz natural y pueden introducir un riesgo operacional adicional.

- Ergonomía

El sistema permite al operario una completa libertad de trabajo sin restricciones, ya que el habitáculo proporciona las condiciones necesarias para soldar como si las condiciones ambientales desfavorables no existieran. Al proteger el área de ráfagas de viento y proyecciones imprevistas, el MCS reduce el estrés y la carga mental del soldador, permitiéndole concentrarse en la calidad del trabajo. Esto no solo mejora el bienestar del operario, sino que también previene errores por distracción, reforzando la seguridad de manera integral.

- Color y Señalización de Seguridad

Para cumplir con los estándares de seguridad, la norma IRAM 10005 establece que el color amarillo se debe utilizar para indicar precaución y advertir sobre riesgos. Específicamente, la norma menciona que este color es necesario en "partes salientes de instalaciones o artefactos que se prolonguen dentro de las áreas de pasajes normales y que puedan ser chocados o golpeados". Dado que el MCS es un dispositivo saliente de la estructura principal, el uso de este color no es solo una recomendación, sino una exigencia normativa para alertar a los trabajadores sobre un posible riesgo de golpe o tropiezo. Se utilizará con bandas negras de igual ancho y una inclinación de 45 grados para maximizar la visibilidad y cumplir con el estándar.

- Partes del dispositivo

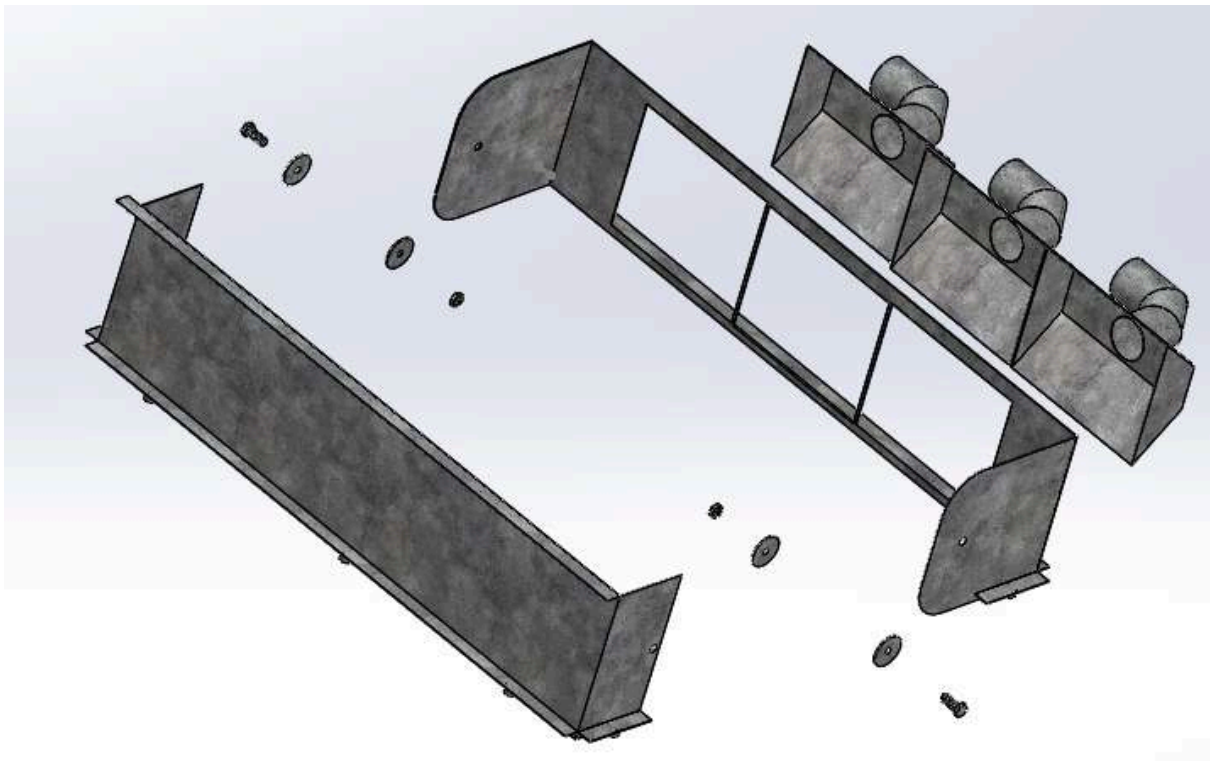


Figura 16: Vista Explotada.  
Fuente: Elaboración propia.

- Desarme

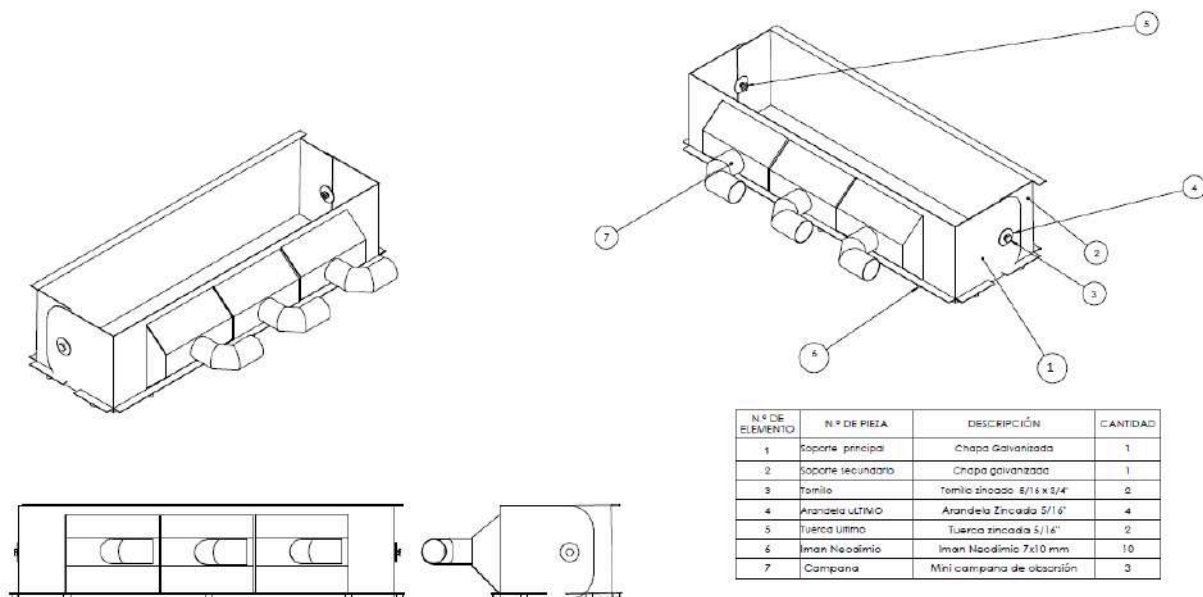


Figura 17: Vista de Ensamblaje y tabla de materiales.  
Fuente: Elaboración propia.

- Vista Isométrica

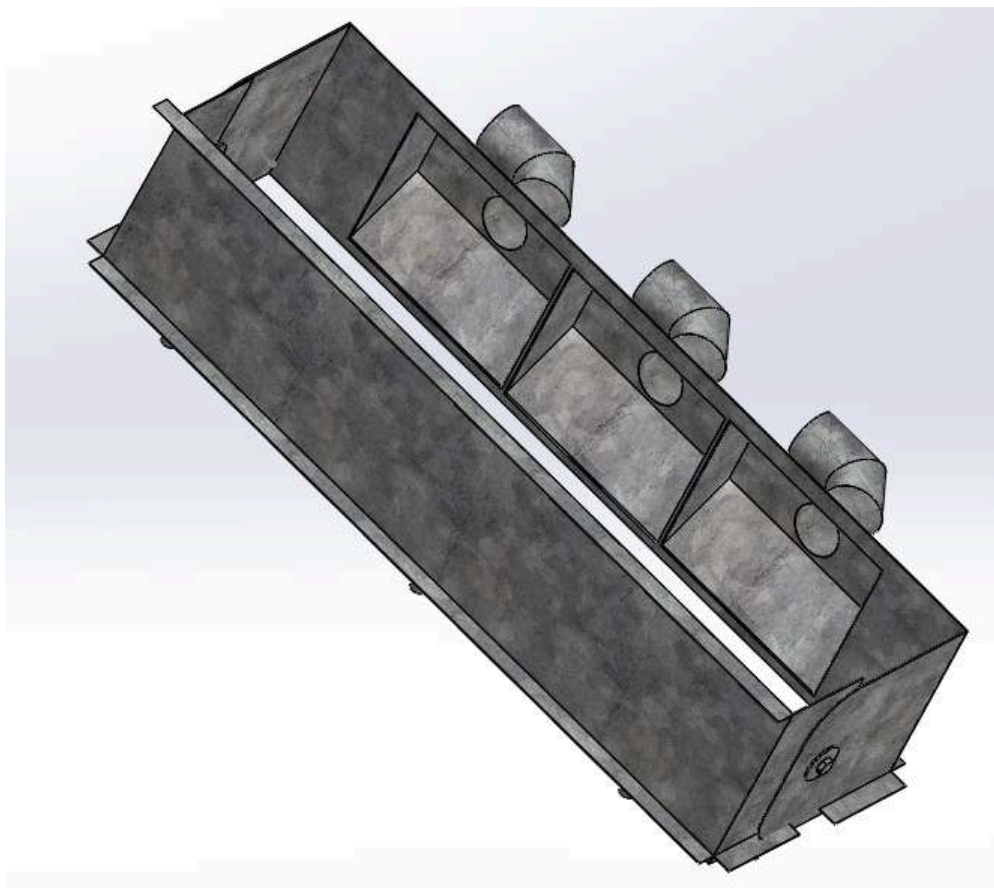


Figura 18: Vista Isométrica  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.4 Análisis y Selección de la Alternativa

Para justificar la selección del Módulo de Contención para Soldadores (MCS) de una manera rigurosa y objetiva, se empleó una Matriz de Decisión Ponderada. Esta herramienta de ingeniería permite comparar sistemáticamente distintas alternativas frente a un conjunto de criterios de evaluación, cuya importancia relativa se define mediante pesos. Este método es superior a un análisis cualitativo, ya que cuantifica las ventajas de cada opción y fundamenta la elección en datos evaluables.

#### 3.3.4.1 Alternativas Evaluadas

Se definieron tres alternativas representativas del espectro de soluciones posibles:

- Situación Actual (Método Improvisado): Corresponde al proceder actual en el astillero, donde no se utiliza una protección estandarizada o se recurre a soluciones precarias como el uso de lonas plásticas sujetas a las plataformas.
- Propuesta (Módulo de Contención - MCS): La solución de ingeniería desarrollada en este trabajo, consistente en una estructura rígida, móvil y diseñada específicamente para confinar el área de soldadura.
- Andamio Cubierto Integral: Una alternativa de máxima protección que consiste en montar una estructura de andamio completa y cubrirla con material ignífugo para aislar totalmente la zona de trabajo del exterior.

#### 3.3.4.2 Criterios de Evaluación y Ponderación

Se establecieron cuatro criterios clave para la evaluación, asignando un peso porcentual a cada uno en función de su impacto en los objetivos del proyecto. La seguridad y la efectividad se priorizaron sobre los factores económicos y logísticos, en línea con el enfoque de un plan de mejoras de higiene y seguridad.

Efectividad en la Protección (Peso: 40%): Capacidad de la solución para bloquear eficazmente el viento y contener las proyecciones de partículas incandescentes.

Seguridad del Operario (Peso: 30%): Nivel de protección que la alternativa ofrece al soldador, eliminando riesgos existentes y sin introducir nuevos peligros (como el riesgo de inflamabilidad).

Facilidad y Rapidez de Implementación (Peso: 20%): Tiempo y complejidad requeridos para instalar, mover y retirar la solución en el entorno del astillero.

Costo de Fabricación (Peso: 10%): Inversión económica inicial requerida para la implementación de la solución.

#### 3.3.4.3 Matriz de Decisión Ponderada

A cada alternativa se le asignó una calificación de 1 (deficiente) a 10 (excelente) para cada criterio. Dicha calificación se multiplicó por el peso del criterio para obtener un puntaje ponderado. La suma de estos puntajes determina la valoración final de cada alternativa.

Los criterios de evaluación y sus respectivos pesos porcentuales fueron establecidos en función de su impacto directo en los objetivos principales de este proyecto, que son la seguridad y la salud ocupacional. La prioridad se centró en la efectividad para mitigar los riesgos identificados, por encima de factores económicos y logísticos. A continuación, se detalla la justificación para cada peso asignado:

- Efectividad en la Protección (Peso: 40%): Este criterio recibió la mayor ponderación porque es el objetivo principal del proyecto: resolver el riesgo de quemaduras por proyección de partículas y la interferencia del viento en el proceso de soldadura. La capacidad de la solución para anular estos riesgos es el factor más crítico para el éxito del plan de mejoras.
- Seguridad del Operario (Peso: 30%): La seguridad del soldador es la prioridad central de la tesis. Este criterio se enfoca en que la solución no solo elimine un riesgo, sino que no introduzca nuevos peligros, como la inflamabilidad de los materiales o la falta de visibilidad. Su alto peso refleja la importancia de garantizar la integridad del trabajador en todas las circunstancias.
- Facilidad y Rapidez de Implementación (Peso: 20%): Este peso se asigna para asegurar que la solución sea viable en un entorno industrial dinámico como un astillero. Un dispositivo que sea seguro y efectivo, pero que sea demasiado lento o complejo de instalar, no será adoptado por los operarios ni resultará en una mejora de la productividad, volviéndose impráctico a largo plazo.
- Costo de Fabricación (Peso: 10%): Aunque es un factor importante para la viabilidad económica de cualquier proyecto de ingeniería, el costo recibió la menor ponderación. Esto se debe a que el estudio está enfocado en la seguridad y la salud. Se prioriza la efectividad de la solución y la protección del personal por encima del costo inicial, bajo el supuesto de que una solución de seguridad efectiva generará ahorros a largo plazo al evitar accidentes, retrabajos y tiempos muertos.

Criterio de Evaluación	Peso	A. Situación Actual		B. Propuesta (MCS)		C. Andamio Cubierto	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Efectividad en la Protección	40%	2	0.8	9	3.6	10	4.0
Seguridad del Operario	30%	1	0.3	9	2.7	10	3.0
Facilidad y Rapidez	20%	3	0.6	8	1.6	2	0.4
Costo de Fabricación	10%	10	1.0	6	0.6	1	0.1
<b>PUNTAJE TOTAL</b>	<b>100%</b>		<b>2.7</b>		<b>8.5</b>		<b>7.5</b>

Figura 19: Matriz de decisión ponderada.

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.3.4.4 Análisis y Conclusión de la Selección

Los resultados de la matriz de decisión demuestran cuantitativamente la superioridad de la Propuesta (MCS), la cual obtuvo un puntaje final de 8.5.

Aunque la alternativa del Andamio Cubierto Integral alcanza la máxima calificación en efectividad y seguridad, su viabilidad se ve drásticamente reducida por su extrema complejidad y lentitud de implementación (puntaje de 2) y su elevado costo (puntaje de 1), resultando en un puntaje total de 7.5.

Por otro lado, la Situación Actual, si bien tiene un costo nulo (puntaje de 10), es inaceptable desde el punto de vista técnico y de seguridad. Su baja efectividad y el riesgo de inflamabilidad que introduce le otorgan las calificaciones más bajas en los criterios de mayor peso, resultando en un puntaje final de apenas 2.7.

El Módulo de Contención para Soldadores (MCS) emerge como la solución óptima al ofrecer un equilibrio ideal entre todos los criterios. Proporciona un nivel de efectividad y seguridad (puntajes de 9) casi tan alto como la solución más costosa, pero con una facilidad de implementación muy superior (puntaje de 8) y un costo moderado y justificable (puntaje de 6).

En conclusión, el análisis respalda de forma objetiva que el Módulo de Contención para Soldadores (MCS) no solo resuelve eficazmente el problema de seguridad identificado, sino que también lo hace de una manera práctica y viable para el entorno operativo del astillero.

### 3.4 Planificación de la capacitación

#### 3.4.1 Objetivo de capacitación para sistema de soldadura

La correcta implementación de una nueva herramienta de ingeniería, como es el Módulo de Contención para Soldadores (MCS), depende fundamentalmente de la adecuada formación del personal que la utilizará. Por ello, se ha diseñado un plan de capacitación integral cuyo objetivo es brindar a los operarios y supervisores los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para utilizar el dispositivo de manera segura, eficiente y conforme a los estándares de calidad del astillero.

#### 3.4.2 Personal objetivo

El programa de capacitación está dirigido a todo el personal involucrado en el proceso de soldadura. Específicamente, se incluyen a los soldadores en actividad, los nuevos operarios, así como a los supervisores de producción y al personal de seguridad e higiene y control de calidad. La inclusión de todos estos roles asegura que tanto quienes operan el dispositivo como quienes supervisan y verifican la calidad de las operaciones estén alineados con los nuevos procedimientos de seguridad y uso del Módulo de Contención para Soldadores (MCS).

#### 3.4.3 Duración y contenidos de la capacitación

La capacitación se ha estructurado en una jornada intensiva, organizada en módulos secuenciales que combinan la teoría con la práctica para asegurar una asimilación completa de los conceptos. La jornada iniciará con una exposición teórica donde se presentarán los

fundamentos del nuevo sistema, sus principios de funcionamiento, ventajas operativas y una comparativa con los métodos anteriores. Todos los módulos están planificados para dictarse en una única jornada de 8 horas. A continuación, se abordará en profundidad la seguridad en el uso del dispositivo, cubriendo el correcto empleo del EPP, la identificación de riesgos específicos y los procedimientos de emergencia aplicables. Posteriormente, el enfoque se volverá práctico, detallando los parámetros de operación del módulo, desde su preparación y configuración hasta la aplicación de las normas técnicas relevantes para su uso en condiciones óptimas de trabajo. Esta base dará paso a una demostración supervisada y una práctica controlada, donde los participantes podrán ejecutar la preparación de piezas y la realización de cordones de prueba utilizando el módulo, para finalmente revisar los criterios de inspección visual asociados al control de calidad.

### 3.4.4 Estructura general

1. Exposición teórica: fundamentos técnicos del nuevo sistema
2. Demostración práctica supervisada
3. Evaluación del nivel de comprensión teórica y desempeño práctico

### 3.4.5 Contenidos de la capacitación

#### 3.4.5.1 Módulo 1: Introducción al nuevo sistema de soldadura

- Principios de funcionamiento
- Comparativa con métodos anteriores
- Ventajas operativas y limitaciones técnicas

#### 3.4.5.2 Módulo 2: Seguridad en el uso del nuevo sistema

- Uso correcto de equipos de protección personal (EPP)
- Identificación de riesgos asociados y cómo evitarlos
- Procedimientos de emergencia

#### 3.4.5.3 Módulo 3: Parámetros de operación

- Preparación y configuración del equipo
- Aplicación de normas técnicas relevantes (por ejemplo: ISO 3834, normas AWS, IRAM)
- Condiciones óptimas de trabajo

#### 3.4.5.4 Módulo 4: Práctica controlada

- Preparación de piezas
- Ejecución de cordones de prueba
- Corrección y ajustes según resultados obtenidos

### 3.4.5.5 Módulo 5: Control de calidad

- Criterios para inspección visual
- Introducción a ensayos no destructivos (END) básicos

### 3.4.6 Evaluación, seguimiento y refuerzo

Para asegurar la efectiva adquisición de las competencias, el plan contempla una evaluación formal al finalizar la jornada. Esta consistirá en una prueba teórica mediante un cuestionario escrito sobre los fundamentos y procedimientos, y una evaluación práctica donde cada participante deberá ejecutar una soldadura bajo la observación de un técnico. El proceso formativo no concluye con esta instancia, ya que se ha establecido un plan de seguimiento y refuerzo a largo plazo. Este plan incluye observaciones periódicas en campo durante proyectos reales y sesiones de refuerzo a los tres y seis meses, con el fin de corregir posibles desvíos, consolidar las buenas prácticas y asegurar la estandarización definitiva del nuevo método de trabajo.

## 4 Análisis de Resultados

### 4.1 Evaluación de la mejora implementada

Para validar la efectividad del Módulo de Contención para Soldadores (MCS) como medida de control, se procede a reevaluar el riesgo principal identificado en la sección 3.2.3, aplicando nuevamente la metodología de William T. Fine. Este análisis "después" permite cuantificar la reducción del peligro al incorporar la solución de ingeniería propuesta en el proceso de soldadura de cascos exteriores.

El análisis demuestra que el MCS actúa directamente sobre los riesgos más críticos, que son aquellos agravados por las condiciones climáticas. Para los riesgos no relacionados con el clima, como las caídas o el daño ocular directo, se asume que las medidas de control existentes (procedimientos de trabajo en altura, uso de EPP) se mantienen, por lo que sus valores no se ven alterados.

La siguiente matriz de la Figura 20 compara la situación "Antes" y "Después" de la implementación del MCS para cada riesgo.

Riesgo Identificado	C	E	P	GP (antes)	Nivel (antes)	P (después)	GP (después)	Nivel (después)
Quemaduras por proyección de partículas, agravadas por el viento	15	6	6	540	Muy Alto	1	90	Notable
Inhalación de humos y gases	7	10	3	210	Alto	1	70	Moderado

tóxicos en ambiente exterior								
Daño ocular por radiación UV (flash ocular <sup>6</sup> ) y deslumbramiento	15	10	1	150	Notable	1	150	Notable
Caídas desde altura en andamios y plataformas elevadoras	50	3	1	150	Notable	1	150	Notable
Incendio por proyección de chispas sobre materiales cercanos	25	3	1	75	Notable	1	75	Notable

Figura 20: Matriz Fine posterior a la aplicación del MCS.

Fuente: Elaboración propia

La implementación del MCS genera un impacto positivo y significativo en la seguridad del proceso. El efecto más notable se observa en el riesgo de quemaduras por proyección de partículas, cuyo Grado de Peligrosidad se desploma de 540 (Muy Alto) a 90 (Notable). Este cambio se debe a que el factor de Probabilidad (P) baja de 6 a 1. El módulo actúa como una barrera física que contiene las partículas incandescentes y anula el efecto del viento como su vector de transporte; por lo tanto, la probabilidad de que la secuencia completa del accidente (proyección + ráfaga de viento + contacto con el operario) ocurra se vuelve muy remota. De manera similar, aunque el GP para el riesgo de incendio por proyección de chispas no cambia numéricamente, el control sobre el mismo es considerablemente mayor. El valor P se mantiene en 1, pero la justificación de esa baja probabilidad se ve reforzada, ya que el confinamiento de las chispas dentro del módulo hace casi imposible que estas alcancen materiales combustibles en el exterior.

El riesgo de "Inhalación de humos y gases tóxicos" ha disminuido su Grado de Peligrosidad (GP) de 210 (Alto) a 70 (Moderado). Este es un salto cualitativo muy importante, ya que un riesgo "Moderado" solo requiere correcciones planificadas, a diferencia del nivel "Alto" que exigía una corrección urgente. Aunque el MCS no es un sistema de ventilación, su función como escudo contra el viento impide que las ráfagas soplen los humos de soldadura directamente hacia la zona de respiración del trabajador, disminuyendo así la probabilidad de una inhalación concentrada.

Por otro lado, hay riesgos sobre los cuales el módulo no tiene influencia. El GP para el daño ocular por radiación UV y las caídas desde altura permanece inalterado en 150 (Notable). Esto se debe a que su Probabilidad (P) se mantiene en 1 en ambos casos, ya que el MCS

<sup>6</sup> Flash ocular: Afección dolorosa de la córnea y la conjuntiva causada por la exposición no protegida a la radiación ultravioleta del arco de soldadura. Es también conocida como queratitis actínica u "ojo de soldador".

no es una medida de control diseñada para estos peligros. La probabilidad de una caída depende de los sistemas de anclaje y los procedimientos de trabajo en altura, mientras que la protección contra la radiación directa del arco voltaico es responsabilidad del equipo de protección personal del soldador (casco).

En conclusión, el análisis cuantitativo demuestra que el Módulo de Contención para Soldadores es una solución de ingeniería altamente efectiva. Reduce el riesgo principal a un nivel aceptable y mitiga riesgos secundarios importantes, validando su diseño como una mejora focalizada y exitosa sin afectar negativamente a otros controles de seguridad.

#### 4.1.1 Comparativa antes y después

Se presenta una comparación directa para visualizar la magnitud de la mejora. El impacto del Módulo de Contención para Soldadores (MCS) se puede apreciar no solo en los números, sino en la reclasificación de los riesgos y el cambio fundamental en la forma de gestionar la seguridad.

##### 4.1.1.1 Visualización del Cambio en la Peligrosidad

La forma más clara de observar la efectividad de la mejora es a través de una comparación gráfica del Grado de Peligrosidad (GP). En la Figura 21 se muestra la reducción drástica en los riesgos directamente afectados por el MCS.

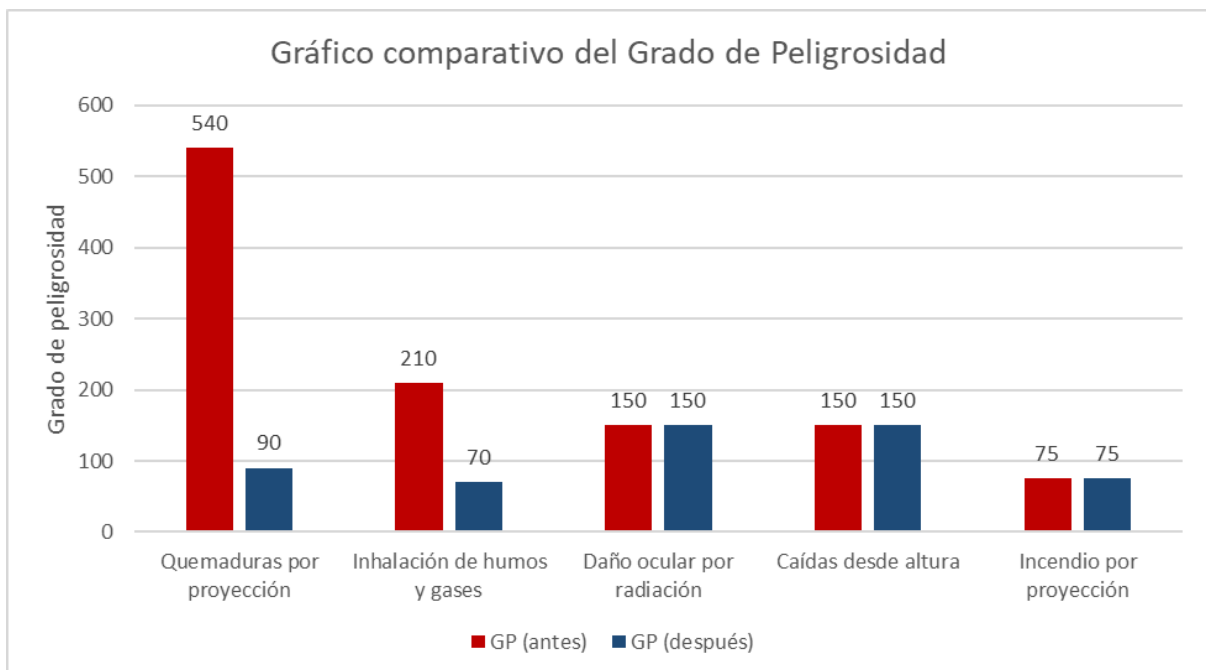


Figura 21: Gráfico comparativo del Grado de Peligrosidad (antes y después).

Fuente: Elaboración propia.

Este gráfico evidencia que la intervención fue exitosa y focalizada, mitigando los dos riesgos más elevados sin introducir efectos adversos en los demás.

#### 4.1.1.2 Impacto en la Clasificación del Riesgo y la Operatividad

Más allá de la puntuación, el cambio más significativo es la reclasificación del nivel de riesgo. La siguiente tabla resume cómo el MCS transforma el panorama de la seguridad para la tarea.

Riesgo	Nivel (Antes)	Nivel (Después)	Impacto Operativo
Quemaduras por partículas	Muy Alto	Notable	Se pasa de detener la producción a una operación controlada.
Inhalación de humos	Alto	Notable	Se mejoran las condiciones de higiene.
Daño ocular por radiación	Notable	Notable	El control se mantiene.
Caídas desde altura	Notable	Notable	El control se mantiene.
Incendio por chispas	Notable	Notable	El control se refuerza con una barrera física.

Figura 22: Tabla de Reclasificación de Riesgos

Fuente: Elaboración propia.

El principal beneficio operativo es la eliminación de la condición de "Muy Alto", que según la metodología Fine, exige la detención de la actividad. La implementación del MCS permite al astillero pasar de un enfoque reactivo (detener el trabajo por el viento) a uno proactivo, donde se puede operar de forma segura y continua gracias a una barrera física.

#### 4.1.1.3 Mejora en la Jerarquía de Controles de Seguridad

Finalmente, la implementación del MCS representa un avance fundamental en la jerarquía de controles de riesgo. Se pasa de depender de controles administrativos (como la orden de suspender tareas o el uso de lonas plásticas improvisadas ) a implementar un control de ingeniería. Los controles de ingeniería son intrínsecamente más fiables y efectivos porque eliminan o contienen el peligro en su origen, reduciendo la dependencia del comportamiento humano y de las condiciones ambientales para garantizar la seguridad.

#### 4.1.1.4 Mejora en la calidad de la soldadura

Además de los beneficios en términos de seguridad y ergonomía, el dispositivo propuesto contribuye directamente a la mejora de la calidad de la soldadura. Al proteger el cordón de soldadura de la acción directa del viento, se reduce la velocidad de enfriamiento del metal de aporte y de la zona afectada por el calor (ZAC). Este control en la solidificación influye sobre la microestructura del material:

- Enfriamiento más lento: favorece la formación de ferrita y perlita de manera más homogénea, evitando estructuras extremadamente duras y frágiles.
- Reducción de tensiones internas: al disminuir el gradiente térmico, se atenúa la aparición de fisuras por contracción o fragilización localizada.
- Mejor penetración y unión: el cordón se fusiona de manera más uniforme con el metal base, aumentando la integridad mecánica de la junta.

En términos prácticos, esto significa que la soldadura resultante tiene menor dureza excesiva, menor riesgo de defectos como porosidad o fisuración en frío, y propiedades mecánicas más consistentes. De esta forma, el dispositivo no solo protege al operario y

mejora la ergonomía del trabajo, sino que también asegura que las juntas soldadas presenten mayor confiabilidad estructural, lo cual es crítico en la construcción y reparación de cascos navales.

## 4.2 Discusión de resultados

### 4.2.1 Impacto en la seguridad laboral

La implementación del Módulo de Contención para Soldadores (MCS) transforma fundamentalmente el paradigma de seguridad en el astillero. Los resultados numéricos muestran un cambio radical, al reducir un riesgo "Muy Alto" a un nivel "Notable", pero el impacto real se observa en la práctica diaria del soldador. Se abandona un modelo de aceptación del peligro, donde la única medida de control ante el viento era la cancelación de la tarea, por un modelo de control del peligro en su origen.

Este cambio es crucial. El MCS no sólo mitiga el riesgo de lesiones agudas, como quemaduras por partículas incandescentes, sino que también contribuye a reducir la exposición a riesgos crónicos. Al estabilizar el entorno y evitar que el viento devuelva los humos al operario, se disminuye la probabilidad de inhalación de agentes tóxicos, que a largo plazo pueden derivar en enfermedades respiratorias graves.

Además, existe un beneficio psicológico importante. Un trabajador que se siente protegido de ráfagas de viento y proyecciones imprevistas puede concentrarse mejor en la calidad de su trabajo. Se reduce el estrés y la carga mental asociados a un entorno hostil, lo que no solo mejora el bienestar del operario, sino que también previene errores por distracción, reforzando la seguridad de manera integral (Superintendencia de Riesgos del Trabajo, 2023). El módulo crea un microentorno controlado que protege tanto al soldador como al personal circundante.

### 4.2.2 Beneficios adicionales y operativos

Más allá de la seguridad, el MCS introduce mejoras operativas y de calidad que impactan directamente en la rentabilidad y eficiencia del astillero. El beneficio más significativo es el aumento de la productividad. En una ciudad de clima tan variable como Mar del Plata, la capacidad de continuar trabajando de forma segura durante días ventosos elimina tiempos muertos y paradas de producción no planificadas. Esto permite un mejor cumplimiento de los plazos de entrega, un factor clave en la industria naval.

En segundo lugar, y de vital importancia para el astillero, el MCS representa una mejora directa y cuantificable en la calidad de la soldadura. El astillero, al estar regido por una exigente certificación de calidad como la del RINA (Registro Italiano Navale), debe cumplir con estándares sumamente estrictos que no admiten defectos estructurales en las uniones. El proceso GMAW (MAG) utilizado es extremadamente sensible al viento, que al desplazar el gas de protección, genera porosidad en el cordón. Este defecto, que consiste en pequeñas burbujas de gas atrapadas en el metal solidificado, compromete la integridad y resistencia de la soldadura, siendo inaceptable bajo cualquier normativa de alta responsabilidad.

Además, al proteger el proceso de soldadura del viento, el MCS asegura una atmósfera de trabajo estable, lo que reduce la aparición de defectos como la porosidad en el cordón

soldado. En la industria naval, es obligatorio realizar ensayos no destructivos (END), como la inspección por ensayos de líquidos penetrantes o radiografía industrial ("rayos X"), para verificar la calidad de las uniones, independientemente de las condiciones de soldadura. Sin embargo, al minimizar la aparición de porosidad, el MCS reduce drásticamente la probabilidad de que estas pruebas revelen defectos. Esto significa que el costoso ciclo de inspección y corrección conocido como retrabajo —que implica remover la sección defectuosa y volver a soldar— se vuelve mucho menos frecuente. De esta manera, el módulo no elimina la necesidad de los END, sino que optimiza el proceso al reducir los costos ocultos de mano de obra y materiales asociados a la reparación de soldaduras, así como los retrasos significativos en el cronograma de construcción.

Finalmente, la adopción de una solución de ingeniería como el MCS eleva el estándar de profesionalismo del astillero. Se reemplazan métodos improvisados y poco seguros, como las lonas plásticas inflamables, por un procedimiento estandarizado, seguro y repetible. Esto no solo demuestra un compromiso con la seguridad, sino que también optimiza el proceso, haciéndolo más eficiente y auditable.

### 4.3 Análisis de Viabilidad Económica

El propósito de este análisis es evaluar la factibilidad económica de la implementación del Módulo de Contención para Soldadores (MCS). Para ello, se realiza un análisis de punto de equilibrio que compara los costos de inversión y fabricación del MCS frente a los costos operativos recurrentes del método de protección improvisado que se utiliza actualmente en el astillero. El objetivo es determinar en qué momento la inversión en la nueva tecnología se amortiza y comienza a generar ahorros netos.

#### 4.3.1 Costos del Método Actual (Protección Improvisada)

El método actual consiste en el uso de lonas plásticas y estructuras temporales. El costo principal asociado a esta práctica no es el material, sino el costo operativo recurrente de la mano de obra. Se estima que la preparación y el desarmado de esta protección improvisada consume aproximadamente 1.5 horas de trabajo. Para el cálculo del costo de la mano de obra, se tomó como referencia la escala salarial correspondiente a septiembre del año 2025 para la categoría de Oficial Soldador Naval, según lo estipulado en el Convenio Colectivo de Trabajo (CCT 518/07 del SAON<sup>7</sup>). Basado en estos valores, el costo directo de mano de obra por cada aplicación es de:

Costo Operativo por Uso (COU): ARS \$18,000.

Este valor representa un gasto continuo que se repite cada vez que las condiciones climáticas exigen el uso de una barrera de protección.

#### 4.3.2 Costos de Implementación del MCS

Los costos asociados a la nueva propuesta se dividen en dos categorías: una inversión inicial única y el costo de fabricación de cada módulo. Para este análisis, se considera un escenario de implementación inicial de un lote de 10 unidades del MCS.

---

<sup>7</sup> Convenio Colectivo de trabajo del Sindicato de Obreros Navales

#### 4.3.2.1 Inversión Inicial (Costos Únicos)

La inversión inicial corresponde a los gastos no recurrentes necesarios para el desarrollo y la formalización del proyecto. Cabe aclarar que este es el costo inicial de desarrollar el modelo, el cual sería trasladado al astillero.

- Investigación y Desarrollo (Prototipado): ARS \$5,752
- Tasas de Solicitud de Patente: ARS \$48,000
- Total Inversión Inicial ( $I_0$ ): ARS \$53,752

#### 4.3.2.2 Costo de Fabricación por Unidad (CFU)

Es el costo variable asociado a la producción de un único módulo MCS.

- Materiales Directos (Chapa galvanizada, imanes, tornillería, etc.): ARS \$15,442.5
- Mano de Obra Directa: Se estima un tiempo de fabricación de 10 minutos por unidad. Utilizando la misma escala salarial de septiembre del año 2025 para la categoría de Oficial Herrero del CCT 518/07 del SAON, el costo de mano de obra directa por módulo es de ARS \$1,042
- Total Costo de Fabricación por Unidad (CFU): ARS \$16,480.5

#### 4.3.2.3 Costo Total de Implementación (CTI)

El costo total para implementar el lote inicial de 10 unidades se calcula sumando la inversión inicial al costo de producción del lote.

$CTI = \text{Inversión Inicial} + (\text{CFU} \times \text{N}^\circ \text{ de Unidades})$

$CTI = \$53,752 + (\$16,480.5 \times 10) = \text{ARS } \$218,557$

#### 4.3.3 Análisis del Punto de Equilibrio

El punto de equilibrio se alcanza cuando el costo total de la implementación del MCS es igual al costo acumulado de haber utilizado el método antiguo durante un número  $n$  de trabajos.

La ecuación de equilibrio está dada por la siguiente igualdad:

Costo Acumulado del Método Actual = Costo Total de Implementación del MCS

$n \times \text{COU} = \text{CTI}$

$n \times 18,000 = 218,557$

$n = 218,557 / 18,000 \approx 12.14$

Este resultado indica que la inversión total en un lote de 10 Módulos de Contención para Soldadores se amortiza por completo después de realizar 13 trabajos de soldadura que hubieran requerido protección. A partir de ese momento, cada uso del MCS en lugar del método antiguo representa un ahorro neto de ARS \$18,000 en costos operativos.

Se concluye que la implementación del Módulo de Contención para Soldadores es altamente viable desde el punto de vista económico. A pesar de requerir una inversión inicial, la solución se paga a sí misma rápidamente al eliminar un costo operativo recurrente y elevado. El bajo número de usos necesarios para alcanzar el punto de equilibrio demuestra un rápido retorno de la inversión (ROI), validando al MCS no solo como una mejora crítica en seguridad y calidad, sino también como una decisión financiera inteligente que reduce los costos operativos a largo plazo.

## 5 Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1 Conclusiones generales

El presente trabajo final ha cumplido satisfactoriamente su objetivo general de desarrollar un plan de mejora para las condiciones de seguridad e higiene en la actividad de soldadura de un astillero naval en Mar del Plata. Se abordó la problemática de los riesgos laborales agravados por las condiciones climáticas, validando la necesidad de una solución de control de ingeniería para garantizar la integridad de los operarios.

La aplicación de la metodología de William T. Fine en la etapa de diagnóstico permitió cuantificar y jerarquizar los peligros existentes. El análisis reveló que el principal riesgo, correspondiente a las quemaduras por proyección de partículas agravadas por el viento, se encontraba en un nivel de peligrosidad "Muy Alto", una condición inaceptable que, según el método, exige la detención inmediata de la actividad. Adicionalmente, se identificó el riesgo por inhalación de humos como "Alto", demandando también una corrección urgente.

La propuesta central, el diseño de un Módulo de Contención para Soldadores (MCS), demostró ser una medida de control altamente efectiva. El análisis comparativo evidenció que su implementación degrada el riesgo principal desde un nivel que obliga a detener la producción a una categoría "Notable", transformando así una tarea previamente prohibida bajo ciertas condiciones en una operación controlada y segura. Este salto cualitativo representa el hallazgo más significativo del estudio. Del mismo modo, se proyecta que el riesgo asociado a la inhalación de humos se mitigará a un nivel 'Moderado'. Si bien se espera una mejora sustancial en las condiciones de higiene del puesto de trabajo, es fundamental que esta estimación sea refrendada en el futuro mediante mediciones ambientales que comparen los niveles de contaminantes en la situación actual y con la aplicación del dispositivo.

Más allá del impacto directo en la seguridad, se concluye que el MCS aporta beneficios operativos y de calidad significativos. Al proteger el arco de soldadura del viento, se asegura la estabilidad del gas de protección, lo que reduce la aparición de defectos como la porosidad y, en consecuencia, disminuye la probabilidad de costosos retrabajos. Esto se traduce en un aumento de la productividad al eliminar tiempos muertos por condiciones climáticas. La viabilidad de la propuesta fue respaldada por una matriz de decisión ponderada que la señaló como la alternativa óptima y un análisis económico que estimó la amortización de la inversión tras un bajo número de usos.

En definitiva, este proyecto ha validado un cambio estratégico en la gestión de la seguridad, pasando de controles administrativos reactivos a la implementación de un control de ingeniería proactivo. La solución propuesta resuelve eficazmente la problemática identificada, de una manera práctica, económicamente viable y alineada con la mejora continua de los procesos productivos en la industria naval.

### 5.2 Recomendaciones para futuras mejoras

A partir del análisis de este proyecto, se identifican varias recomendaciones clave para continuar la mejora de procesos en el astillero. Es fundamental iniciar un plan piloto que permita fabricar y probar un número limitado de Módulos de Contención para Soldadores

(MCS) en condiciones reales de trabajo, lo que facilitará la recopilación de feedback del personal para posibles optimizaciones. Al mismo tiempo, es crucial implementar un programa de capacitación continua, que incluya seguimiento en campo y sesiones de refuerzo a los tres y seis meses, para asegurar que las buenas prácticas se consoliden y que el uso del MCS se estandarice de forma definitiva. Se recomienda explorar el uso de materiales alternativos como plásticos técnicos ignífugos o aleaciones de aluminio, ya que podrían reducir el peso del módulo y facilitar su manipulación sin comprometer la robustez o la seguridad. Por último, para abordar de forma integral la seguridad del operario, una futura investigación podría enfocarse en el desarrollo y la conexión de un sistema de ventilación forzada portátil a las toberas de salida ya integradas en el diseño del MCS. Esto permitiría capturar los humos de soldadura directamente en su origen, garantizando la máxima protección respiratoria al trabajador en todo momento.

## 6 Bibliografía

3M Italia. *Protezione per la saldatura*. 3M Italia. <https://www.3mitalia.com>

ALS Limited. (2009). *Welding Safety and Risk Assessment in Marine Environments*. ALS Limited.

Alles, M. (2009). *Construyendo talento: Programas de desarrollo para el crecimiento de las personas y de la empresa*. Ediciones Granica.

American Welding Society (AWS). (2012). ANSI Z49.1:2012, *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes*. American Welding Society.

American Welding Society. (2021). AWS A5.18/A5.18M:2021, *Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding*. AWS.

American National Standards Institute. (ANSI). (2020). (ANSI/ISEA Z87.1-2020) *American National Standard for Occupational and Educational Personal Eye and Face Protection Devices*

Cámara Argentina de Seguridad. Norma IRAM 3631 | *Equipos de protección personal contra riesgos provenientes de soldadura, corte y operaciones similares*. <https://www.cas-seguridad.org.ar/normativa/norma-iram-3631-equipos-de-proteccion-personal-contra-riesgos-provenientes-de-soldadura-corte-y-operaciones-similares/>

Chiavenato, I. (2017). *Administración de recursos humanos: El capital humano de las organizaciones (10ª ed.)*. McGraw-Hill Interamericana.

Consortio Portuario Regional de Mar del Plata. (2022). *Informe de gestión e impacto socioeconómico del Puerto de Mar del Plata*. Publicaciones del CPRMDP.

Fine, W. T. (1971). *Mathematical evaluation for controlling hazards*. Journal of Safety Research, 3(4), 157–166.

Genyed. *Equipos de protección en soldadura naval*. Genyed. <https://www.genyed.com>

Hernández-Riesco, G. (2011). *Manual del Soldador*. M-5. S.L. Editores.

Honeywell. *Seguridad en procesos de soldadura*. Honeywell. <https://www.honeywell.com>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (1994). *NTP 330: Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente*.

IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación). (2018). *IRAM 10005: Colores y señales de seguridad según la norma IRAM*. Buenos Aires: IRAM.

Jeffus, L. (2016). *Welding: Principles and Applications (8th ed.)*. Cengage Learning.

Köppen, W. (1936). *Das geographische System der Klimate*. Gebrüder Borntraeger.

Ley Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo N° 19.587. (1972). *Boletín Oficial de la República Argentina*.

Mavinsa. *Manejo de riesgos y equipos de protección personal para soldador naval*. <https://www.mavinsa.es/soldador-naval-riesgos-y-equipos-de-proteccion-personal/>

Met-BA. *Blog sobre metalurgia y soldadura*. Met-BA. <https://met-ba.blogspot.com>

Organización Internacional del Trabajo (OIT). *Cómo gestionar la seguridad y salud en el trabajo*. Recuperado de <https://www.ilo.org/es/temas/administracion-e-inspeccion-del-trabajo/biblioteca-de-recursos/la-seguridad-y-salud-en-el-trabajo-guia-para-inspectores-del-trabajo-y/como-gestionar-la-seguridad-y-salud-en-el-trabajo>

Prefectura Naval Argentina. (2002). *Ordenanza N° 5-02 (DPSN) - Normas para la prevención de la contaminación y de los accidentes en los trabajos de soldadura y corte en buques y artefactos navales*.

Servicio Meteorológico Nacional (SMN). *Estadísticas Meteorológicas de la Estación Mar del Plata Aero (1991-2020)*. Recuperado de <https://www.smn.gob.ar/estadisticas>

Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT). *Resolución 886/2015: Protocolo de Medición de la Contaminación Química en el Ambiente Laboral*.

Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT). (2023). *Salud en el Trabajo*. Recuperado de [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2023/01/srt\\_salud\\_en\\_el\\_trabajo.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2023/01/srt_salud_en_el_trabajo.pdf)

Wilhelmsen, W. (2014). *Marine Welding Safety Guidelines*. Wilhelmsen Ship Management.