

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

## *Improvement plan for welding activities in a naval shipyard in the city of Mar del Plata*

**Arce, Gerónimo**

[geronimo.Arce@gmail.com](mailto:geronimo.Arce@gmail.com)

*Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata*

**Sureda, Agustín**

[agustinsureda@gmail.com](mailto:agustinsureda@gmail.com)

**Valotto, Guillermo Gabriel**

[valotto@fi.mdp.edu.ar](mailto:valotto@fi.mdp.edu.ar)

*Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina)*

**Prestes, Paola**

[paola.prestes@fi.mdp.edu.ar](mailto:paola.prestes@fi.mdp.edu.ar)

*Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina)*

### RESUMEN

El presente trabajo aborda la problemática de los riesgos laborales en la actividad de soldadura de cascos navales en un astillero de Mar del Plata, los cuales se agravan por las condiciones climáticas adversas, especialmente el viento. Mediante la aplicación del método cuantitativo de William T. Fine, se realizó un diagnóstico que identificó el riesgo de "Quemaduras por proyección de partículas" como "Muy Alto", una condición que exige la detención inmediata de las tareas. Para mitigar este peligro, se diseñó, desarrolló y evaluó una solución de control de ingeniería: el Módulo de Contención para Soldadores (MCS). Se trata de un dispositivo móvil y adaptable que aísla el punto de trabajo, delimitando el proceso de soldadura. El análisis de resultados demuestra que la implementación del MCS reduce el Grado de Peligrosidad del riesgo principal en un 83%, degradándolo a un nivel "Notable" y permitiendo la continuidad operativa de forma segura. Adicionalmente, el MCS mejora la calidad de la unión soldada al proteger el gas de protección y presenta una alta viabilidad económica. El proyecto concluye que el MCS es una solución eficaz, práctica y rentable que mejora sustancialmente la seguridad e higiene en el astillero.

**Palabras Claves:** soldadura naval; seguridad industrial; análisis de riesgos; mejora de procesos; astillero.

### ABSTRACT

This paper addresses the problem of occupational risks in naval hull welding at a shipyard in Mar del Plata, which are aggravated by adverse weather conditions, especially wind. Using the quantitative William T. Fine method, an analysis was conducted that identified the risk of "Burns from particle projection" as "Very High," a condition requiring an immediate halt to operations. To mitigate this hazard, an engineering control solution was designed, developed, and evaluated: the Welder Containment Module (WCM). This is a mobile and adaptable device that isolates the work point, delimiting the welding process. The results analysis shows that implementing the WCM reduces the Hazard Rating of the main risk by 83%, downgrading it to a "Notable" level and allowing for safe operational continuity. Additionally, the WCM improves the quality of the welded joint by protecting the shielding gas and demonstrates high economic viability. The project concludes that the WCM is an effective, practical, and cost-effective solution that substantially improves safety and hygiene at the shipyard.

**Keywords:** naval welding; industrial safety; risk analysis; process improvement; shipyard.

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria naval es un pilar fundamental en la economía de Mar del Plata, generando un ecosistema productivo que sustenta miles de empleos y dinamiza actividades complementarias. Dentro de este sector, la soldadura es un proceso crítico que garantiza la integridad estructural de las embarcaciones. Sin embargo, esta actividad se realiza frecuentemente en condiciones de alto riesgo, especialmente cuando se trabaja en los cascos externos al aire libre.

En este contexto, se observó que las condiciones climáticas adversas, y en particular los vientos fuertes característicos de la región, representan un desafío significativo para la seguridad de los operarios y la calidad del trabajo. El viento no solo incrementa el riesgo de quemaduras al proyectar partículas incandescentes de forma impredecible, sino que también compromete la calidad de la soldadura al desplazar el gas de protección utilizado en procesos como el GMAW (MIG/MAG).

Ante la utilización de métodos de protección improvisados, como lonas plásticas inflamables, que resultan ineficaces e introducen nuevos peligros, este estudio se planteó como objetivo general desarrollar un plan de mejora para las condiciones de seguridad e higiene del personal del sector. El enfoque se centró en proponer una solución de ingeniería que permitiera controlar los riesgos en su origen, garantizando un entorno de trabajo seguro y mejorando la continuidad operativa del astillero.

## 2. METODOLOGÍA Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA

La investigación se estructuró como un estudio de caso aplicado, con un enfoque mixto que combinó la revisión documental, la observación directa en el astillero y entrevistas con personal operativo.

### Análisis de la Situación Actual

El proceso de soldadura predominante para la unión de chapas en cascos externos es el GMAW con gas activo (MAG), utilizando un alambre AWS ER70S-6 y una mezcla de gases Argón/CO<sub>2</sub>. Para cuantificar los riesgos asociados a esta tarea en condiciones de intemperie, se empleó el Método de William T. Fine.

Este sistema calcula un índice numérico llamado Grado de Peligrosidad (GP) a partir de la multiplicación de tres factores: Consecuencias (C), Exposición (E) y Probabilidad (P).

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

La evaluación inicial arrojó los resultados que se muestran en la Tabla 1.

<b>Riesgo identificado</b>	<b>C</b>	<b>E</b>	<b>P</b>	<b>GP (CxExP)</b>	<b>Nivel de riesgo y acción</b>
Quemaduras por proyección de partículas, agravadas por el viento	15	6	6	540	Muy Alto. Detener la actividad
Inhalación de humos y gases tóxicos	7	10	3	210	Alto. Corrección urgente
Daño ocular por radiación UV	15	10	1	150	Notable. Corrección necesaria
Caídas desde altura	50	3	1	150	Notable. Corrección necesaria
Incendio por proyección de chispas	25	3	1	75	Notable. Corrección necesaria

Tabla 1 - Matriz de análisis de riesgos inicial (Método Fine).

El análisis reveló que el riesgo de quemaduras por el viento alcanzaba un GP de 540, clasificándose como "Muy Alto". Según la metodología, un riesgo de esta magnitud exige la detención inmediata de la actividad, lo que validó la necesidad crítica de una intervención.

### **Normativas Aplicables**

El diseño de la solución se enmarca en el cumplimiento de normativas de seguridad clave. La norma ANSI Z49.1:2012 establece los requisitos para la protección del personal en procesos de soldadura, enfatizando el control de humos, la prevención de incendios y el uso de Equipo de Protección Personal (EPP). Por su parte, la norma IRAM 10005 define los colores y señales de seguridad, siendo de aplicación directa para la señalización de la solución propuesta, al ser un elemento saliente que puede generar riesgo de golpe.

### **Propuesta de Mejora: Módulo de Contención para Soldadores (MCS)**

Para mitigar el riesgo principal, se propuso el diseño y la utilización de un Módulo de Contención para Soldadores (MCS). Se trata de una estructura de ingeniería rígida y móvil, diseñada para aislar el punto de trabajo de las condiciones climáticas, limitando el proceso en un entorno controlado.

Sus características principales son:

Estructura: Fabricada en chapa galvanizada de 0.7 mm, resistente a la corrosión y a las proyecciones.

Fijación: Equipado con diez imanes de neodimio en su base para una fuerte y rápida adherencia a la superficie metálica del casco.

Adaptabilidad: Un mecanismo tipo bisagra en su parte media permite que el módulo se adapte a las diversas geometrías de la chapa a soldar.

Gestión de Humos: Incorpora dos codos superiores que actúan como toberas de salida, dirigiendo los humos lejos del operario y permitiendo la futura conexión de un sistema de extracción.

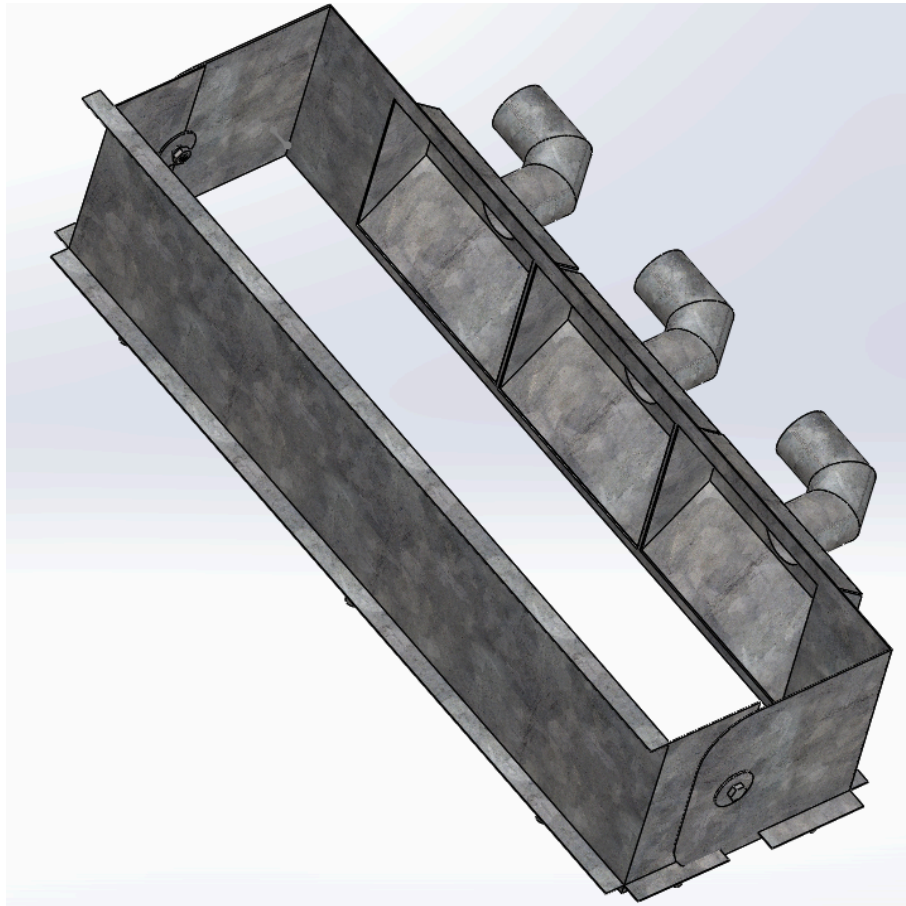


Figura 1 - Diseño 3D del Módulo de Contención para Soldadores (MCS)

Fuente: Elaboración propia

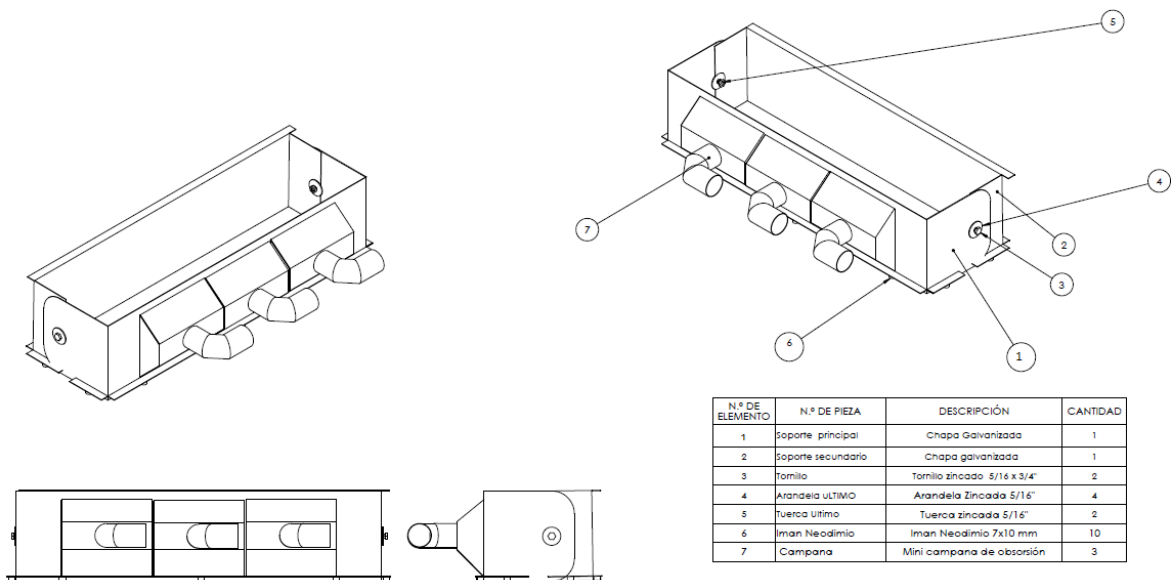


Figura 2 - Vista de Ensamblaje y tabla de materiales

Fuente: Elaboración propia

La selección de esta propuesta se justificó mediante una matriz de decisión ponderada, donde el MCS obtuvo el puntaje más alto (8.5/10) al compararse con la situación actual (2.7/10) y una alternativa de andamio cubierto integral (7.5/10), demostrando ser la solución óptima que equilibra efectividad, seguridad, facilidad de implementación y costo.

### Plan de Capacitación para la Implementación

Una herramienta de ingeniería solo es efectiva si se utiliza correctamente, por lo que se diseñó un plan de capacitación integral para asegurar la adopción segura y eficiente del MCS. El objetivo principal de esta formación es brindar al personal los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para utilizar el dispositivo de manera segura y conforme a los estándares de calidad del astillero.

Este programa está dirigido a todo el personal involucrado, incluyendo soldadores en actividad, nuevos operarios, supervisores de producción y personal de seguridad e higiene. La capacitación se ha estructurado en una única jornada intensiva que combina teoría y práctica, comenzando con una introducción a los principios de funcionamiento del sistema y sus ventajas operativas. A continuación, se aborda un módulo crucial sobre seguridad en el uso, que cubre los riesgos asociados y los procedimientos de emergencia. Posteriormente, la formación se enfoca en los parámetros de operación y las condiciones óptimas de trabajo, para luego dar paso a una fase de práctica controlada con ejecución de soldaduras supervisadas. La jornada concluye con un módulo sobre control de calidad y criterios de inspección visual. Para asegurar la consolidación de las competencias, el plan se completa con una evaluación final y un seguimiento periódico en campo.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para validar la efectividad del MCS, se re evaluaron los riesgos utilizando nuevamente el método de William T. Fine, asumiendo la utilización del dispositivo. El MCS actúa directamente sobre el factor de Probabilidad (P) de ocurrencia del accidente, al interponer una barrera física que contiene las partículas y anula el efecto del viento como vector.

La Tabla 2 compara el Grado de Peligrosidad antes y después de la implementación de la mejora.

<b>Riesgo identificado</b>	<b>GP (antes)</b>	<b>Nivel (antes)</b>	<b>P (después)</b>	<b>GP (después)</b>	<b>Nivel de riesgo y acción (después)</b>
Quemaduras por proyección de partículas, agravadas por el viento	540	Muy alto	1	90	Notable
Inhalación de humos y gases tóxicos	210	Alto	1	90	Moderado
Daño ocular por radiación UV	15	10	1	150	Notable
Caídas desde altura	50	3	1	150	Notable
Incendio por proyección de chispas	25	3	1	75	Notable

Tabla 2 - Matriz Fine comparativa de riesgos (Antes y Después del MCS).

El resultado más significativo es la reducción del GP del riesgo principal de 540 a 90, lo que implica una disminución del 83%. Esto degrada el riesgo de una categoría "Muy Alto" (que obliga a detener la producción) a una "Notable", transformando una tarea previamente prohibida bajo ciertas condiciones en una operación controlada y segura. A su vez, el riesgo de inhalación de humos se reduce de "Alto" a "Moderado".

La implementación del MCS representa un avance fundamental en la jerarquía de controles de riesgo, pasando de depender de controles administrativos (suspender tareas) a implementar un control de ingeniería. Los controles de ingeniería son intrínsecamente más fiables porque contienen el peligro en su origen, reduciendo la dependencia del comportamiento humano para garantizar la seguridad. El principal beneficio operativo es la eliminación de la condición de "Detener la actividad", permitiendo al astillero pasar de un enfoque reactivo a uno proactivo y operar de forma continua y segura.

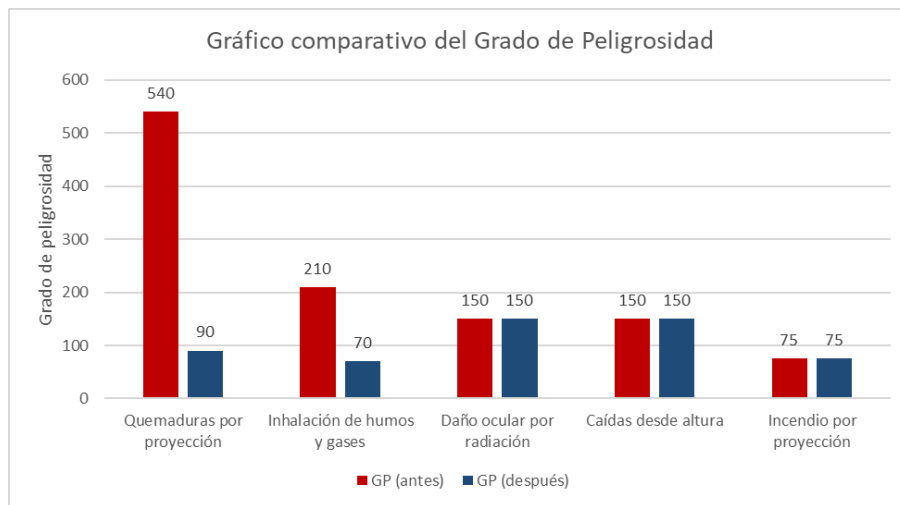


Figura 3 - Gráfico comparativo del Grado de Peligrosidad (antes y después)

#### Discusión de Beneficios Adicionales

Más allá de la seguridad, el MCS introduce mejoras operativas y de calidad clave. Al permitir la soldadura en días ventosos, se eliminan tiempos muertos y paradas de producción no planificadas, mejorando el cumplimiento de los plazos de entrega, lo que redundará en una mejora de la productividad. En cuanto a la calidad, el proceso GMAW es extremadamente sensible al viento, que al desplazar el gas de protección genera porosidad en el cordón, un defecto inaceptable bajo normativas de calidad como la del RINA (Registro Italiano Navale). El MCS asegura una atmósfera de trabajo estable, reduciendo drásticamente la probabilidad de defectos y costosos retrabajos. Por último, el análisis del punto de equilibrio demostró que la inversión total en un lote de 10 unidades del MCS (aprox. ARS \$218,557) se amortiza por completo después de solo 13 trabajos de soldadura, al eliminar el costo operativo recurrente del método improvisado (aprox. ARS \$18,000 por uso). Esto valida la propuesta no solo como una mejora en seguridad, sino como una decisión financiera inteligente.

#### 4. CONCLUSIONES

El presente trabajo cumplió satisfactoriamente su objetivo al desarrollar un plan de mejora viable y efectivo para las condiciones de seguridad en la soldadura naval.

Se demostró cuantitativamente que las condiciones de trabajo actuales exponían a los operarios a un nivel de riesgo "Muy Alto", validando la necesidad de una solución de control de ingeniería.

La propuesta central, el Módulo de Contención para Soldadores (MCS), ha probado ser una solución altamente eficaz. Su implementación no solo mitiga el riesgo principal a un nivel aceptable y controlable, sino que también aporta beneficios significativos en la productividad, la calidad del producto final y la rentabilidad del astillero, al reducir defectos y tiempos muertos.

Se concluye que se ha validado un cambio estratégico en la gestión de la seguridad, pasando de controles administrativos reactivos (detener la tarea) a la implementación de un control de ingeniería proactivo. La solución resuelve eficazmente la problemática de una manera práctica, económicamente viable y alineada con la mejora continua de los procesos productivos en la industria naval.

## **5. REFERENCIAS**

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*.

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.

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

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

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

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

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

***Plan de mejoras para la actividad de soldadura en un astillero naval de la ciudad de Mar del Plata***  
Arce,G.; Sureda, A.

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). (s.f.). *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.*

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