



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PROTECCIÓN INTEGRAL DE LOS OPERADORES FRENTE A LA EXPOSICIÓN  
E IMPACTO DEL GRANALLADO EN LA INDUSTRIA NAVAL**

Trabajo de titulación previo a la obtención  
Del título de Ingeniero Industrial

**AUTORES:** Jericco Steven Fiallos Navarro  
Gregorio Francisco Moreira Onofre

**TUTOR:** Ing. Luis Enrique Morán Reyes, MSc.

Guayaquil-Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Nosotros, Gregorio Francisco Moreira Onofre con documento de identificación N° 0950583146 y Jericco Steven Fiallos Navarro con documento de identificación N° 0955449533; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 19 de marzo del año 2024.

Atentamente,



Gregorio Francisco Moreira Onofre

C.I.: 0950583146



Jericco Steven Fiallos Navarro

C.I.: 0955449533

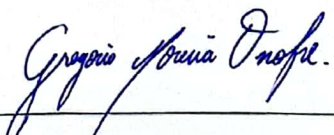
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**


Nosotros, Gregorio Francisco Moreira Onofre con documento de identificación N° 0950583146 y Jericco Steven Fiallos Navarro con documento de identificación N° 0955449533, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Protección Integral De Los Operadores Frente A La Exposición E Impacto Del Granallado En La Industria Naval”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de marzo del año 2024.

Atentamente,

  
\_\_\_\_\_  
Gregorio Francisco Moreira Onofre  
C.I.: 0950583146

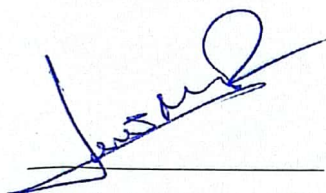
  
\_\_\_\_\_  
Jericco Steven Fiallos Navarro  
C.I.: 0955449533

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Luis Enrique Morán con documento de identificación N° 0603117300, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "Protección Integral De Los Operadores Frente A La Exposición E Impacto Del Granallado En La Industria Naval" realizado por Gregorio Francisco Moreira Onofre con documento de identificación N° 0950583146 y Jericco Steven Fiallos Navarro con documento de identificación N° 0955449533 obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de marzo del año 2024.

Atentamente,



Ing. Luis Morán MSc.

0603117300

## **DEDICATORIA**

A mi madre, pilar inquebrantable de mi vida, cuyo apoyo incansable desde mis inicios académicos, sus consejos llenos de sabiduría y la incondicional confianza depositada en mí han sido mi faro en el camino hacia adelante. A mi padre, gracias por brindarme todas las comodidades necesarias para cursar y completar mi carrera universitaria, tu esfuerzo y dedicación han sido fundamentales en mi formación. A mi abuela, testigo de cada etapa de mi crecimiento, que a pesar de las adversidades nunca dejó de creer y apoyar en mi propósito. Y a mi hermana, quien ha sido un modelo a seguir desde que di mis primeros pasos en esta carrera. Su ejemplo de perseverancia y dedicación continúa inspirándome cada día. A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento y amor por ser la fuente de mi fuerza y mi inspiración.

JERICCO STEVEN FIALLOS NAVARRO

## DEDICATORIA

Agradecerle a mi madre Cecilia, la mujer más importante de mi vida, por criarme con amor y buenos valores, los cuales represento cada día. Por siempre buscar mi bienestar, enseñarme a luchar y seguir adelante ante cualquier adversidad que se presente.

A mi hermana María Isabel, mi segunda madre e inspiración profesional, por siempre enseñarme de forma silenciosa la importancia de la superación y el esfuerzo, el cual es mi motor para superarme cada día.

A mis amigos Juan Diego y Gregory, por ser mis fieles acompañantes en esta gran aventura. Por siempre brindarme su auténtica amistad cada día, sin importar el momento y la hora para estar ahí cuando más los necesité.

A Yeadley y Guillermo, quienes me aconsejaron en momentos de confusión y por ser una ayuda para ver que en el camino siempre hay más de lo que uno puede llegar a ver.

A Noemí, por todas las risas y apoyo brindado en este arduo camino vivido dejando ver a una linda persona desde el primer día de clases.

A María Eduarda, por la confianza brindada, autenticidad y mostrar las cualidades de la gran mujer que es. Por ser una gran amiga y ahora un hermoso amor.

GREGORIO FRANCISCO MOREIRA ONOFRE

## **AGRADECIMIENTO**

Al culminar este significativo proyecto, me siento profundamente agradecido y me complace tener la oportunidad de expresar mi gratitud a aquellos cuya guía, apoyo y confianza han sido indispensables en este viaje.

También quisiera expresar mi agradecimiento a mis mentores y profesores, cuya orientación experta y consejos valiosos han enriquecido enormemente mi aprendizaje y experiencia académica. Su paciencia y dedicación no solo han mejorado mi conocimiento, sino que también han fortalecido mi pasión por mi campo de estudio.

Finalmente, a todos mis compañeros y amigos, por su compañerismo, apoyo y los momentos compartidos durante el curso de este proyecto. Su aliento ha sido una fuente de motivación y alegría en los momentos más desafiantes.

JERICCO STEVEN FIALLOS NAVARRO

## **AGRADECIMIENTO**

A continuación, me gustaría reconocer el invaluable agradecimiento a Dios, mi familia y a todas las personas que de alguna u otra forma me dieron los ánimos y buenos deseos para culminar esta importante etapa de mi vida.

Agradecer también a los docentes que dieron mucho de su conocimiento profesional y personal para que pueda ser capaz de desenvolverme en el ámbito profesional e intelectual e ir en búsqueda del tan ansiado desarrollo integral como una gran persona y profesional en el área en la que me desenvuelva.

Para concluir, a todos mis amigos y compañeros, por guiarme y alentarme a tomar retos para formarme día a día en el campo de la vida y así poder conseguir un bienestar común para los que me rodean.

**GREGORIO FRANCISCO MOREIRA ONOFRE**



## RESUMEN

El proyecto de investigación se centra en los peligros asociados con la exposición al granallado y sus efectos en la industria naval, prestando especial atención a la protección completa de los operadores. Se realizó un examen detallado tanto cualitativo como cuantitativo de los riesgos relacionados con el proceso de granallado, lo que proporcionó una base sólida para posibles acciones futuras. Se identificaron y estandarizaron medidas preventivas específicas para reducir la exposición de los trabajadores a factores químicos y físicos durante la operación de granallado, lo que redujo estos riesgos. Este enfoque proactivo y sistemático tiene como objetivo mejorar significativamente las condiciones laborales y la seguridad en la industria naval.

El valor del cumplimiento riguroso de las regulaciones, se llevó a cabo una planificación meticulosa sobre la posibilidad de implementar un equipo estandarizado. Con el fin de garantizar la máxima seguridad y cumplir con los estándares de la industria, esta fase del proyecto involucró el diseño de procedimientos y formatos detallados que abarcaban desde la etapa previa al granallado hasta su conclusión. Este enfoque integral tiene como objetivo mejorar la protección y la eficacia operativa de los trabajadores en la industria naval.

El proyecto también abordó el tema de la realización de formatos del proceso de pre, post, granallado, reconociendo su importancia para proteger la propiedad intelectual y los avances tecnológicos relacionados. Se enfatizó la importancia de preservar y compartir los conocimientos obtenidos durante la investigación para promover la innovación y el progreso en el campo. Este aspecto destaca el compromiso del proyecto con la excelencia académica y su contribución al progreso continuo de la industria naval en términos de seguridad laboral y prácticas operativas sostenibles.

**Palabras clave:** Granallado, Seguridad, Estandarización, ISO

## ABSTRACT

The research project focuses on the hazards associated with blasting exposure and its effects on the shipbuilding industry, with particular attention to the complete protection of operators. A detailed qualitative and quantitative review of the risks associated with the shot blasting process was conducted, providing a solid basis for possible future actions. Specific preventive measures were identified and standardized to reduce worker exposure to chemical and physical factors during the blasting operation, thereby reducing these risks. This proactive and systematic approach aims to significantly improve working conditions and safety in the shipbuilding industry.

The value of rigorous regulatory compliance, meticulous planning was carried out on the possibility of implementing standardized equipment. In order to ensure maximum safety and comply with industry standards, this phase of the project involved the design of detailed procedures and formats covering the pre-blasting stage through to completion. This comprehensive approach aims to improve the protection and operational efficiency of workers in the marine industry.

The project also addressed the issue of formatting the pre, post, shot blasting process, recognizing its importance in protecting intellectual property and related technological advances. The importance of preserving and sharing the knowledge obtained during the research to promote innovation and progress in the field was emphasized. This aspect highlights the project's commitment to academic excellence and its contribution to the continued progress of the shipbuilding industry in terms of occupational safety and sustainable operating practices.

**Keywords:** Blasting, Safety, Standardization, ISO

## INDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	II
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	III
DEDICATORIA.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
INDICE GENERAL.....	X
INDICE DE FIGURAS .....	XIII
INDICE DE TABLAS .....	XIV
INDICE DE ANEXOS .....	XV
ABREVIATURAS .....	XVI
TÍTULO .....	XVII
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	2
1.1 Antecedentes .....	2
1.2 Descripción del problema.....	3
1.3 Justificación del problema.....	4
1.4 Grupo Objetivo.....	4
1.5 Objetivos .....	5
1.5.1 Objetivo general .....	5
1.5.2 Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO II .....	7
2.1 Granallado .....	8
2.2 Clasificación del granallado .....	9
2.2.1 Granallado por Turbina .....	9
2.2.2 Granallado Centrífugo.....	9
2.2.3 Granallado con Tambor.....	10

2.3 Granallado por Aire Comprimido .....	11
2.3.1 Contaminantes generados durante el granallado por aire comprimido .....	12
2.3.2 Normas de preparación de superficies por granallado por aire comprimido .....	13
2.3.3 Normativas y Estándares de Seguridad Industrial.....	14
2.3.4 Mantenimiento y reparación en la industria Naval .....	15
2.3.5 Aplicaciones del Granallado .....	17
2.3.6 Método William Fine .....	18
2.3.7 Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo (ISO 45001).....	20
2.3.8 Maquinaria de chorro abrasivo portátil .....	20
2.3.9 Características Generales .....	22
2.3.10 Preparación del proceso.....	22
2.3.11 Capacitación continua de seguridad y salud en el trabajo.....	23
CAPÍTULO III .....	24
3.1 Tipo de investigación .....	24
3.2 Enfoque de la investigación .....	25
3.3. Método y técnicas de investigación.....	25
3.4 Metodología aplicada .....	25
3.4.1. Pre-Granallado .....	26
3.4.1.1 Inspección del área de trabajo .....	26
3.4.1.2 Recopilación de información.....	27
3.4.1.3 Acciones preventivas.....	28
3.4.2 Granallado .....	29
3.4.2.1 Norma ISO 14877:2018 .....	30
3.4.2.2 Preparación de equipo de granallado.....	30
3.4.3 Post-Granallado.....	31
3.4.3.1 Controles de ingeniería.....	32
3.4.3.2 Controles administrativos.....	32
3.4.4 Elaboración del ART.....	33
3.4.5 Aplicación de la cuantificación de químicos contaminantes .....	34
3.4.6 Matriz de riesgos para proceso de granallado .....	34
3.4.7 Riesgos para la Salud en la Actividad del Granallado .....	36

3.4.8 Riesgos de Seguridad en la Actividad del Granallado .....	38
3.4.9 Análisis aplicando el método William Fine .....	39
3.4.9.1 Magnitud del riesgo.....	40
3.4.9.2 Grado de repercusión.....	42
3.4.9.3 Ejecución del método William Fine .....	43
3.4.9.4 Mejora continua.....	45
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>48</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
4.1 Procedimientos .....	48
4.1.1 Pre-granallado .....	48
4.1.1.1 ART para pre-granallado.....	50
4.1.2 Granallado .....	52
4.1.3 Post Granallado .....	54
4.1.4 Análisis de costos .....	55
4.1.4.1 Costos directos .....	55
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>56</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>BIBLOGRAFIA .....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>60</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Aplicación de granallado en el casco de la popa del Remolcador Isabella .....	3
Figura 1.2 Exposición del operador en proceso de granallado.....	4
Figura 1.3 Operadores de granallado de ASTINAVE S.P. ....	5
Figura 2.1 Proceso de granallado .....	8
Figura 2.2 Turbina para granallado .....	9
Figura 2.3 Componente para el granallado centrifugo .....	10
Figura 2.4 Maquinaria del granallado con tambor .....	10
Figura 2.5 Proceso de granallado por aire comprimido .....	11
Figura 2.6 Seguridad en el granallado por aire comprimido.....	11
Figura 2.7 Procesos pos-granallado por aire comprimido en el barco M. Cristina .....	14
Figura 2.8 Proceso Pre-granallado en el barco LG-44 en ASTINAVE. S.P.....	15
Figura 2.9 Proceso de mantenimiento y reparación del barco M. Cristina .....	16
Figura 2.10 Aplicaciones de granallado por aire comprimido .....	17
Figura 2.11 Maquinaria de chorro abrasivo portátil Elcometer 200C - Grupo Testek .....	21
Figura 2.12 Placa de datos técnicos de la maquina .....	21
Figura 3.1 Inspección del área de trabajo en Pre-Granallado .....	26
Figura 3.2 Uso de andamios en el proceso de granallado en el barco M. Cristina .....	27
Figura 3.3 Equipo de protección para proceso de granallado .....	29
Figura 3.4 Operador & Maquina de granallado por aire comprimido.....	31
Figura 3.5 Orden potencial de perdida frente a riesgos.....	41
Figura 3.6 Ponderación de impacto en el factor de ponderación .....	43
Figura 3.7 Niveles de riesgos .....	45
Figura 3.8 Acciones antes riesgos según su gravedad en la ponderacion .....	46

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 2.1 Normativa de preparación de superficies .....	13
Tabla 3.1 Matriz de riesgos para procesos de granallado.....	28
Tabla 3.2 Tabla de consecuencia en el proceso de granallado.....	40
Tabla 3.3 Tabla de exposición en el proceso de granallado.....	41
Tabla 3.4 Tabla de probabilidad en el proceso de granallado.....	41
Tabla 3.5 Factor de ponderación para el grado de percepción.....	42
Tabla 3.6 Orden de priorización de riesgos.....	43
Tabla 3.7 Ponderación de factores físicos y químicos en el proceso de granallado.....	44
Tabla 3.8 Ponderación de situaciones en el proceso de granallado.....	44
Tabla 4.1 Costos directos del equipo de protección.....	55

**INDICE DE ANEXOS**

Anexo A: Norma ISO 14877:2018..... 60



**ABREVIATURAS**

AWS (American Welding Society)

## TÍTULO

Protección integral de los operadores frente a la exposición e impacto del granallado en la industria naval.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Riesgos físicos:** Hacen referencia a condiciones ambientales o elementos presentes en el entorno laboral que pueden representar peligros para la salud y seguridad de los trabajadores. Estos riesgos incluyen factores como temperaturas extremas, ruido, vibraciones, radiaciones y exposición a sustancias químicas

**Riesgos biológicos:** Hacen referencia a la exposición potencial de los trabajadores a agentes biológicos capaces de provocar enfermedades o afectaciones a la salud. Estos agentes abarcan virus, bacterias, hongos, parásitos y otros microorganismos patógenos. Sectores como la salud, la investigación biológica o el manejo de desechos biológicos implican un riesgo particular. La gestión eficiente de los riesgos biológicos implica la adopción de medidas preventivas, de control y de protección

**Riesgos químicos:** Se refieren a la posible exposición a sustancias químicas peligrosas, lo que podría resultar en daños a la salud. Estas sustancias incluyen gases, líquidos o sólidos que, al interactuar con el cuerpo humano, pueden causar efectos nocivos, como irritación, toxicidad o incluso riesgos más graves. Sectores como la industria química, la manufactura y la manipulación de productos químicos presentan un riesgo significativo. La gestión efectiva de los riesgos químicos implica la identificación de sustancias peligrosas, la implementación de medidas de control, el uso adecuado de equipo de protección personal y la formación adecuada de los trabajadores para garantizar un entorno seguro

**Riesgos psicosociales:** Se refieren a factores en el entorno laboral que pueden afectar el bienestar mental y emocional de los individuos. Estos riesgos incluyen el estrés laboral, el acoso, la discriminación y otros elementos que pueden impactar negativamente en la salud mental de los trabajadores. Sectores diversos, desde oficinas hasta entornos de atención al cliente, pueden enfrentar estos riesgos. La gestión adecuada de los riesgos psicosociales implica la promoción de un ambiente laboral saludable, la implementación de medidas preventivas, y la sensibilización y apoyo a los empleados para garantizar su bienestar psicológico

**Riesgos ergonómicos:** Se refieren a condiciones en el entorno laboral que pueden afectar la interacción física entre los trabajadores y su entorno de trabajo. Estos riesgos engloban posturas incómodas, movimientos repetitivos y el diseño inadecuado de estaciones de trabajo. Sectores como la manufactura, la oficina y la industria de la construcción pueden estar propensos a estos riesgos. La gestión efectiva de los riesgos ergonómicos implica la adecuación de los lugares de trabajo para prevenir lesiones musculoesqueléticas, la implementación de herramientas ergonómicas y la concientización de los trabajadores sobre prácticas seguras para promover la salud y comodidad en el ámbito laboral

**Riesgos eléctricos:** Hacen referencia a situaciones peligrosas relacionadas con la electricidad en entornos laborales. Estos riesgos incluyen la posibilidad de descargas eléctricas, cortocircuitos y el mal funcionamiento de equipos eléctricos. Sectores como la construcción, la industria manufacturera y la ingeniería eléctrica enfrentan este tipo de riesgos. La gestión adecuada de los riesgos eléctricos implica el cumplimiento de normativas de seguridad, la inspección regular de equipos, el uso de equipos de protección personal y la capacitación de los trabajadores para prevenir accidentes eléctricos y garantizar la seguridad en el lugar de trabajo

**Matriz de riesgos:** Es una herramienta que visualiza y evalúa los riesgos asociados con actividades específicas en un proyecto o entorno. Esta matriz organiza los riesgos en función de su probabilidad de ocurrencia y del impacto potencial en términos de consecuencias negativas. Por lo general, se clasifican los riesgos en categorías como baja, media y alta, según su probabilidad e impacto. La Matriz de Riesgos facilita la identificación de áreas críticas que requieren atención prioritaria y ayuda en la planificación de estrategias de mitigación para minimizar o eliminar posibles riesgos. Su aplicación es fundamental en la gestión proactiva de proyectos y actividades, permitiendo a los equipos anticiparse a posibles desafíos y tomar medidas preventivas para asegurar el éxito y la seguridad en el desarrollo de sus objetivos

**Máquina de granallado:** Las máquinas de granallado son equipos especializados diseñados para proyectar partículas abrasivas a alta velocidad sobre superficies metálicas con el fin de limpiar, desbarbar o prepararlas para recubrimientos. Existen diversos tipos, como las de tambor, gancho, transportador continuo, centrífuga, túnel y por turbina. Cada máquina se adapta a diferentes aplicaciones y tamaños de piezas. La selección de la máquina adecuada depende de factores como la forma y tamaño de las piezas, la eficiencia del proceso requerida y los

estándares de calidad deseados. Estas máquinas son esenciales en la industria para mejorar la durabilidad y la calidad de las superficies metálicas

**Corrosión:** La corrosión en metales es un proceso electroquímico donde los metales reaccionan con su entorno, especialmente con oxígeno y agua, formando óxidos que degradan la estructura metálica. Este fenómeno resulta en la pérdida gradual de material, debilitando y deteriorando la integridad de los metales. Factores como la composición del metal, la presencia de impurezas y la exposición a condiciones ambientales influyen en la velocidad y gravedad de la corrosión. La protección contra la corrosión implica técnicas como recubrimientos protectores, aleaciones resistentes y el control de la exposición al entorno corrosivo

**Granalla metálica:** Existen granallas de acero que son conformadas por Pequeñas esferas de acero utilizadas para limpiar y preparar superficies y granallas de acero inoxidable que es Similar a la granalla de acero, pero hecha de acero inoxidable para evitar la contaminación de la superficie con óxido de hierro

**Granalla no metálica:** La granalla de vidrio y granalla de plástico son utilizadas para limpiar y desbarbar superficies, evitando así la contaminación metálica en ciertas aplicaciones específicas

**Granalla mineral:** El proceso de granallado con arena utiliza dichos minerales para eliminar recubrimientos y contaminantes de las superficies, siendo de tal forma que se usan para un granallado más preciso y controlado

**Granalla cerámica:** Partículas cerámicas utilizadas para el granallado, conocidas por su durabilidad y capacidad para resistir altas temperaturas

**Granalla de micro esferas de vidrio:** Partículas de vidrio muy pequeñas utilizadas en procesos de granallado delicado y preciso

**MSDS:** Ficha de Datos de Seguridad es un documento que proporciona información detallada sobre productos químicos. Está diseñada para garantizar la seguridad en el manejo, almacenamiento, transporte y disposición de sustancias químicas peligrosas. La MSDS contiene datos clave, como propiedades físicas y químicas, información toxicológica, medidas

de primeros auxilios, recomendaciones para el manejo seguro, medidas de control de exposición y datos sobre la manipulación y almacenamiento adecuados

**ART:** El Análisis de Riesgos en el Trabajo se encarga de documentar por escrito los riesgos eventuales que se pueden llegar a dar en actividades específicas para así determinar y establecer medios de prevención para cada una de las actividades que se pongan en marcha dentro de una organización

## INTRODUCCIÓN

El granallado es un método de tratamiento superficial por impacto que ofrece una variedad de beneficios, incluida la eliminación de impurezas en la superficie de los componentes, la terminación precisa de las superficies para la aplicación de recubrimientos o el endurecimiento por deformación (Shot peening), el cual es el proceso de interés en este proyecto técnico. El impacto en la superficie del objeto causa deformaciones y esfuerzos compresivos residuales que se distribuyen en una capa superficial con una profundidad de hasta 250 micras. Además, el trabajo mecánico en frío aumenta la dureza superficial del material. En consecuencia, estos dos efectos le brindan una mayor resistencia a la fatiga en condiciones de carga de torsión o flexión cíclica (Martinez, Soto, & Ortiz, 2020).

El Shot peening es un método de trabajo en frío que utiliza disparos a altas velocidades en la superficie del material. El resultado de este proceso es la deformación plástica de los granos superficiales en un rango de 50 a 250 micrómetros. Esto aumenta la resistencia a la fatiga de los componentes mecánicos y, por lo tanto, prolonga su vida útil. Como resultado de que la estructura cristalina del metal se comprime. Por lo tanto, los esfuerzos de compresión pueden estar paralelos a la superficie, lo que crea una superficie uniforme de esfuerzos residuales de compresión. Como efecto secundario, estos esfuerzos residuales eliminan las tensiones residuales dejadas por otros procesos como mecanizado, tratamientos térmicos o, en algunos casos, conformación plástica (Belloso & Flamengo, 2014).

Los estándares de seguridad y los equipos de protección son necesarios para los equipos de presión que arrojan abrasivos a alta velocidad. El trabajo es seguro cuando los procesos y métodos de trabajo son adecuados. Sin embargo, cuando no se toman las precauciones necesarias, las personas que trabajan en el proceso pueden sufrir consecuencias graves que podrían evitarse siguiendo pautas y recomendaciones apropiadas. Varios grupos internacionales han establecido normas para la preparación de superficies. Las normas establecen el grado de granallado deseado. Algunas normas son escritas, mientras que otras son de comparación visual utilizando probetas de acero, discos comparadores o fotografías. Todas ellas están sujetas a una interpretación y aplicación extensas de las especificaciones proporcionadas por usuarios, inspectores, aplicadores y otros (CYM, Granallado- NORMAS DE PREPARACION DE SUPERFICIES, 2018).

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1 Antecedentes**

Desde sus orígenes hasta su impacto en la industria naval, el proceso de granallado ha experimentado un desarrollo significativo a lo largo del tiempo. La década de 1930 vio el surgimiento del granallado como una técnica para limpiar y preparar superficies metálicas. Inicialmente, se utilizaban materiales abrasivos como arena y esmeril para eliminar la corrosión, la pintura vieja y otras impurezas de las superficies. Durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) se empleó ampliamente el granallado para la preparación y mantenimiento de la flota. La adopción del proceso en aplicaciones industriales y militares se ve impulsada por su eficacia en la limpieza y preparación de superficies metálicas.

La década de los 50 se mejora la eficiencia y la consistencia del tratamiento de superficies con la introducción de equipos de granallado más avanzados y sistemas automáticos el uso de la tecnología se expandió para adaptarse a una amplia gama de aplicaciones industriales. Posterior en la década de 1970 a la actualidad, el granallado se ha consolidado como una técnica clave para preparar superficies para la aplicación de recubrimientos protectores en la industria naval. La mejora del equipo de protección personal se debe a la creciente conciencia de los peligros para la salud y seguridad de los operadores. La década de 1990 ha visto un cambio en los abrasivos empleados en el granallado, ya que se han incorporado abrasivos metálicos más ecológicos y eficientes. Esto hace que el proceso sea más sostenible y reduce los desechos.

Siglo XXI la tecnología de granallado continúa avanzando con la introducción de sistemas automatizados y controlados por computadora. Se enfatiza la importancia de reducir la exposición de los operadores a partículas y ruido, llevando a la implementación de medidas de seguridad más avanzadas. En la actualidad la industria naval reconoce la necesidad de proteger a los operadores del granallado, no solo por motivos de seguridad laboral, sino también para cumplir con regulaciones ambientales más estrictas establecidas por los entes gubernamentales buscando implementar sistemas integrales de seguridad y protección para garantizar entornos laborales seguros y saludables esto aplica en la empresa ecuatoriana ASTINAVE S.P. que realiza granallado para reparación de corazas véase en la figura 1.1.

**Figura 1.1 Aplicación de granallado en el casco de la popa del Remolcador Isabella**



**Fuente:** Los autores

## **1.2 Descripción del problema**

Durante el proceso de granallado, se generan grandes cantidades de polvo y partículas finas como resultado de la abrasión del material. Estas partículas pueden contener sustancias tóxicas o carcinógenas, como óxido de plomo u otros metales pesados presentes en la pintura antigua o en el metal mismo. La exposición prolongada a este polvo y a las partículas suspendidas en el aire puede causar problemas respiratorios, alergias, enfermedades pulmonares y, en algunos casos, enfermedades graves como la silicosis, que es una enfermedad pulmonar crónica causada por la inhalación de polvo de sílice véase en la figura 2.1. Los riesgos asociados a la actividad de granallado sin las respectivas medidas de seguridad en base a la normativa ISO 450001 “Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo”

- Exposición a partículas y polvo
- Lesiones por impacto
- Ruido
- Fatiga y estrés
- Exposición a productos químicos
- Riesgos ergonómicos



**Figura 1.2 Exposición del operador en proceso de granallado**



**Fuente:** Los autores

### **1.3 Justificación del problema**

El granallado, que implica la proyección a alta velocidad de partículas abrasivas para preparar superficies metálicas, presenta riesgos significativos para la salud y seguridad de los trabajadores. Las investigaciones exhaustivas sobre la protección integral en este contexto específico son escasas, lo que genera una brecha de conocimiento que limita la implementación de estrategias efectivas para prevenir accidentes y enfermedades.

La falta de medidas de protección adecuadas tiene graves consecuencias. Las enfermedades respiratorias y dermatológicas también son frecuentes entre los operadores de granallado, lo que afecta su calidad de vida y reduce su productividad. La optimización de la actividad de granallado no solo se traduce en una mejora en la eficiencia del proceso productivo, sino también en un compromiso con la seguridad y la salud ocupacional de los trabajadores.

A través de este enfoque, la investigación aspira a contribuir a la formulación de políticas y prácticas que promuevan ambientes laborales más seguros, minimizando la accidentabilidad y respaldando el bienestar general de los operadores en la industria naval. En última instancia, la investigación tiene el potencial de generar cambios significativos que beneficien tanto a los trabajadores como al sector industrial en su conjunto

### **1.4 Grupo Objetivo**

Con el objetivo de mejorar la seguridad y el bienestar laboral de los profesionales de la industria naval, especialmente aquellos involucrados en el proceso de granallado, el proyecto técnico se

centra en ellos. Se busca garantizar un entorno laboral seguro mediante la implementación de medidas preventivas y tecnologías avanzadas para reducir la exposición a partículas y ruido. Además, se dirige al sector estudiantil de ingeniería industrial ofreciendo un enfoque práctico en seguridad y salud ocupacional para futuros profesionales que trabajarán en la optimización de procesos industriales y la protección de los trabajadores.

Para ser específicos para los trabajadores de ASTINAVE. S.P. que cumplen con las tareas de granallados en las tres plantas ubicadas en Guayas, Ecuador. Para que el tema de seguridad y salud ocupacional no solo sea una supervisión si no un conjunto de comunicación y costumbre de los operadores para cuidar la integridad especialmente de su salud a corto y largo plazo se justifica este proyecto técnico.

**Figura 1.3 Operadores de granallado de ASTINAVE S.P.**



**Fuente:** ASTINAVE. S.P.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Implementar un sistema integral de seguridad y protección para los operadores de granallado en la industria naval, reduciendo la exposición a partículas y ruido, mediante la aplicación de medidas efectivas con el fin de garantizar un entorno laboral seguro y saludable.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Realizar una evaluación cualitativa y cuantitativa de riesgos a la exposición de partículas asociados al proceso de granallado
- Identificar y estandarizar medidas preventivas específicas para reducir exposición de los operadores a factores químicos y físicos durante el proceso de granallado
- Planificación para una posible implementación de equipo estandarizado con las normativas regulatorias para la mitigación de exposición en el proceso de granallado

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEORICO**

El granallado es un método de tratamiento de superficies que requiere el lanzamiento a alta velocidad de partículas abrasivas, conocidas como granallas, sobre una superficie para eliminar contaminantes, restos de pintura, escamas y óxido. Este método es crucial en una variedad de sectores, como la industria naval, donde se utiliza para preparar superficies antes de aplicar recubrimientos protectores. El granallado mejora la adhesión de pinturas y recubrimientos al eliminar imperfecciones y proporcionar una superficie limpia y rugosa, lo que mejora la durabilidad y la resistencia a la corrosión de los materiales.

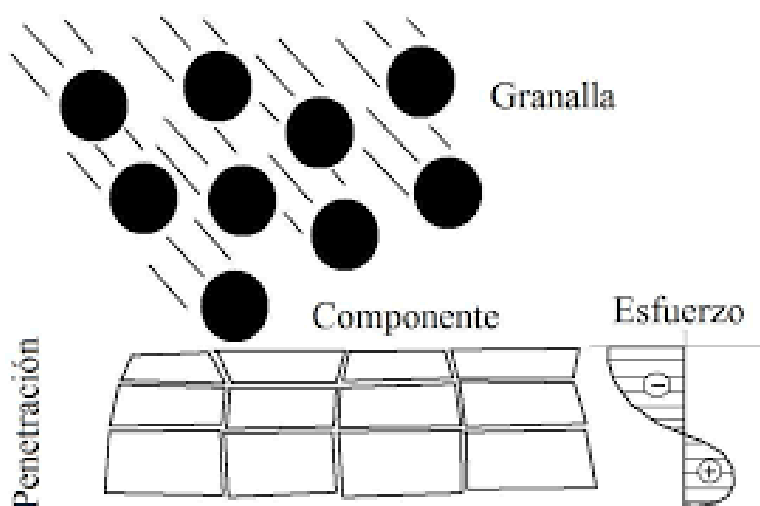
El granallado se basa en principios físicos y cinéticos. La maquinaria especializada, como granalladoras centrífugas o de turbina, impulsa las partículas abrasivas hacia la superficie a través de boquillas, produciendo un impacto que elimina las impurezas. La selección adecuada de la granalla, la velocidad de proyección y la duración del proceso determinan la eficacia del granallado. El método se puede adaptar a una variedad de materiales y superficies gracias a la variedad de granallas disponibles, como acero, vidrio o plástico.

En cuanto a su origen y patentamiento, el granallado se atribuye al ingeniero norteamericano Benjamin Chew Tilghman, quien patentó el proceso en 1870. Su innovación inicial implicaba el uso de granallas de hierro fundido para la limpieza de superficies metálicas. A lo largo del tiempo, este proceso se ha perfeccionado y diversificado, dando lugar a una amplia gama de aplicaciones industriales y estableciéndose como una técnica esencial en la preparación de superficies en la industria naval y otras áreas afines.

## 2.1 Granallado

El granallado es un proceso de tratamiento de superficies que implica proyectar partículas abrasivas, llamadas granallas, a alta velocidad sobre una superficie véase en la figura 2.1. Este método se utiliza para limpiar, desincrustar y mejorar la textura de diferentes materiales. En el contexto naval, el granallado se aplica para preparar superficies antes de la aplicación de recubrimientos protectores, eliminando óxido, pintura vieja y contaminantes. La maquinaria especializada, como granalladoras centrífugas, propulsa las granallas a través de boquillas, generando un impacto que limpia y mejora la adhesión de recubrimientos, proporcionando durabilidad y resistencia a la corrosión.

**Figura 2.1 Proceso de granallado**



**Fuente:** Universidad Nacional del Salvador

El esfuerzo de la partícula abrasiva del granate en el granallado es esencial para la limpieza y preparación de superficies. El granate se fragmenta y libera impurezas, óxidos y pinturas cuando se proyecta a alta velocidad por impacto cinético. Este esfuerzo físico produce una superficie rugosa y limpia, lo que es esencial para que los recubrimientos posteriores se adhieran mejor. La eficacia del proceso depende de la capacidad de corte y la dureza del granate. La selección adecuada del tipo y tamaño de granate, junto con los ajustes adecuados de presión y velocidad, reduce el esfuerzo de limpieza y garantiza resultados eficientes en el granallado.

## 2.2 Clasificación del granallado

En función de las características de los materiales y los resultados deseados, hay varios tipos de granallado que se adaptan a diferentes aplicaciones. En él se describen los tipos más frecuentes.

### 2.2.1 Granallado por Turbina

El granallado por turbina se distingue por el uso de turbinas para propulsar granallas a alta velocidad hacia la superficie véase en la figura 2.2. Este proceso es ideal para limpiar superficies metálicas extensas, como las utilizadas en la construcción naval y la preparación de estructuras, ya que elimina óxido y pintura con éxito.

**Figura 2.2 Turbina para granallado**

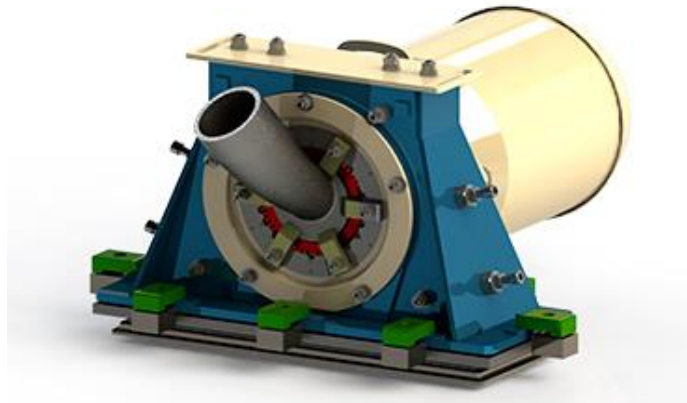


**Fuente:** Catalogo de turbinas “The Fabricator”

### 2.2.2 Granallado Centrífugo

El granallado centrífugo, que se basa en una rueda centrífuga para lanzar granallas, es particularmente efectivo para limpiar y fortalecer componentes metálicos. Este método se puede utilizar en la fabricación y reparación de componentes, ya que mejora la resistencia y durabilidad de las piezas pequeñas y medianas en la industria metalúrgica véase en la figura 2.3.

**Figura 2.3 Componente para el granallado centrifugo**



**Fuente:** BM Productos

### **2.2.3 Granallado con Tambor**

El granallado con tambor utiliza un tambor rotativo para proyectar granallas sobre las piezas, siendo eficiente en la limpieza de piezas pequeñas y la eliminación de rebabas y contaminantes ligeros. Este proceso es comúnmente empleado en la industria de la fundición y la fabricación de componentes electrónicos, donde la precisión y la limpieza son fundamentales. Se utiliza por lo general maquinarias mayores de 1 toneladas véase en la figura 2.4.

**Figura 2.4 Maquinaria del granallado con tambor**



**Fuente:** Productos Sinto Brasil Catalogo

### 2.3 Granallado por Aire Comprimido

El granallado por aire comprimido utiliza aire comprimido para lanzar granallas contra la superficie. Este método se aplica en situaciones más delicadas, como la limpieza de piezas pequeñas y la eliminación de revestimientos ligeros. Su versatilidad lo hace común en la industria aeroespacial y automotriz para la limpieza de componentes pequeños y detallados véase en la figura 2.3.

**Figura 2.5 Proceso de granallado por aire comprimido**

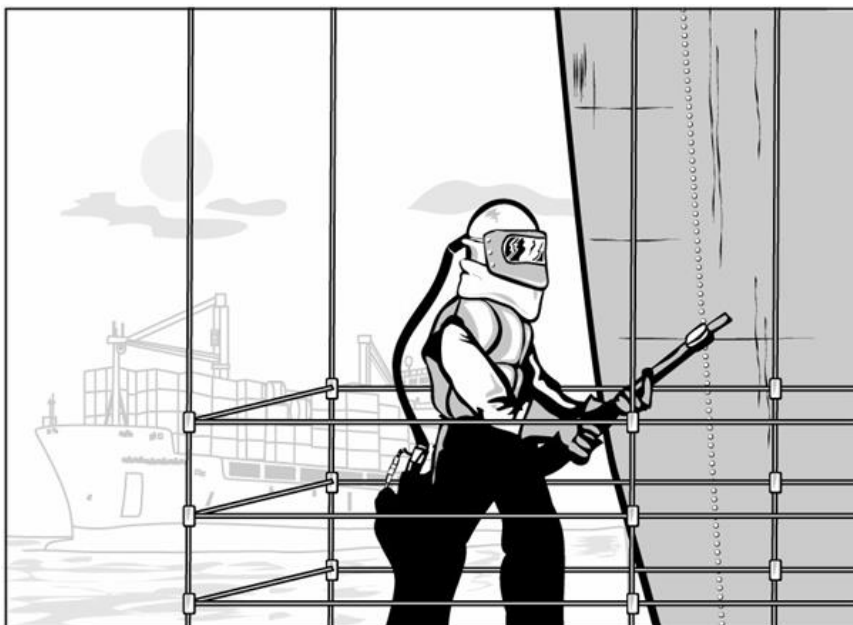


**Fuente:** Industrias CYM

En el granallado por aire comprimido, las partículas abrasivas, como granallas de acero, son introducidas en una corriente de aire comprimido a través de una boquilla. La combinación de aire y granallas es dirigida hacia la superficie del material a tratar. El impacto de las granallas remueve eficientemente recubrimientos, óxido, corrosión y otras impurezas, dejando una superficie limpia y preparada para recubrimientos posteriores.

**Figura 2.6 Seguridad en el granallado por aire comprimido**





**Fuente:** Manual PW

La seguridad en el proceso de granallado es esencial para proteger a los operadores y garantizar un entorno laboral saludable. Se enfoca en el uso adecuado del Equipo de Protección Personal (EPP) y sistemas de ventilación para controlar el polvo. La formación y capacitación continuas son cruciales, junto con el monitoreo ambiental para evaluar la concentración de polvo.

El mantenimiento preventivo asegura el funcionamiento seguro de la maquinaria. Se emplea señalización, barreras físicas y gestión de residuos para prevenir accidentes. La supervisión constante y la respuesta rápida a anomalías son prácticas clave para mantener un proceso de granallado seguro y eficiente véase en figura 2.6.

### **2.3.1 Contaminantes generados durante el granallado por aire comprimido**

Durante el granallado, se generan diversos contaminantes, siendo las partículas en suspensión y los gases residuales dos de los componentes principales. Las partículas abrasivas desgastadas y las partículas liberadas de la superficie tratada pueden variar en tamaño y composición, dependiendo de los medios granulares utilizados y de la naturaleza de la superficie. Estas partículas pueden incluir polvo metálico, óxidos y otros residuos. Los gases residuales pueden incluir sustancias potencialmente tóxicas. La liberación de gases como dióxido de carbono,

óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles puede tener implicaciones directas para la calidad del aire en el entorno de trabajo.

La exposición a estos contaminantes durante el granallado puede tener consecuencias significativas para la salud de los operadores. La inhalación de partículas finas puede provocar problemas respiratorios, irritación de las vías respiratorias y, en casos extremos, enfermedades pulmonares crónicas. Además, el contacto dérmico con partículas y polvo puede causar irritaciones en la piel. (CALLISAYA MAMANI, 2023).

### 2.3.2 Normas de preparación de superficies por granallado por aire comprimido

La adecuada preparación de las superficies metálicas antes de la aplicación de recubrimientos resulta fundamental. La efectividad y resistencia de cualquier capa de pintura se ven notablemente influidas por la calidad de la preparación de la superficie. Aunque existen estándares internacionales para estas labores, su interpretación puede variar, y en ocasiones, las normas tienden a ser subjetivas por ello en la tabla 2.1 se expone las normativas vigentes.

**Tabla 2.1 Normativa de preparación de superficies**

Norma SIS- SUECA	Norma Americana	Norma SSPC	Norma francesa	Norma inglesa	Norma NACE
SA 3	Metal blanco	SP 5	DS 3	1st quality	NACE 1
SA 2 <sup>1/2</sup>	Semi blanco	SP 10	DS 2.5	2nd quality	NACE 2
SA 2	Comercial	SP 6	DS 2	3rd quality	NACE 3
SA 1	Cepillado granallado ligero	SP7	DS 1		NACE 4

**Fuente:** CYM Materiales

Las normas más comunes en América Latina son la norma SSPC (Steel Structures Painting Council Pittsburgh USA) y Normas SIS (Swedish Standards Institution Stockholm Suecia) La metodología utilizada se basa en la comparación de la superficie tratada con el patrón de la norma; para las normas SSPC, se utilizan fotografías y para las normas SIS, transparencias.

Las regulaciones establecen el nivel deseado de granallado, es decir, el grado que se busca lograr, pero no especifican la rugosidad final en la superficie tratada con granalla o chorro. Por ejemplo, al referirnos a un acabado SA 2 <sup>1/2</sup>, el objetivo es obtener una superficie limpia, sin

óxidos ni herrumbre, permitiendo incluso una pequeña cantidad de impurezas según la norma. Sin embargo, este aspecto no es cuantificable mediante instrumentos de medición de rugosidad, dependiendo más de una evaluación visual y del criterio de los inspectores o expertos. (Ledesma & Mariza, 2019).

En ASTINAVE S.P. la normativa más usada es la SA 2<sup>1/2</sup> para realizar trabajos de granallado con aire comprimido en la coraza del barco véase en la figura 2.7 el granallado de calidad por parte del operado posterior para su respectivo recubrimiento de pintura.

**Figura 2.7 Procesos pos-granallado por aire comprimido en el barco M. Cristina**



**Fuente:** Los autores

### **2.3.3 Normativas y Estándares de Seguridad Industrial**

Las normativas y estándares de seguridad industrial representan pilares fundamentales en la estructura regulatoria destinada a preservar la salud y bienestar de los trabajadores en el ámbito laboral. Estos conjuntos de reglas, establecidos tanto a nivel nacional como internacional, se erigen como directrices cruciales con el propósito primordial de prevenir accidentes, mitigar riesgos ocupacionales y configurar ambientes de trabajo seguros.

La seguridad en el uso de equipos y maquinaria también constituye un pilar esencial de estas normativas. Establecen criterios rigurosos para el diseño, mantenimiento y operación segura de equipos industriales, garantizando no solo la eficiencia en el trabajo, sino también la integridad física de los trabajadores. (Cantuta Mamani, 2022).

### 2.3.4 Mantenimiento y reparación en la industria Naval

La reparación de buques en la industria naval es un proceso complejo y multifacético que requiere una combinación de habilidades técnicas, conocimiento detallado y aplicación de tecnologías avanzadas. Este proceso no solo se enfoca en restaurar la funcionalidad y seguridad de las embarcaciones sino también en mejorar su rendimiento y eficiencia para cumplir con los estándares reguladores y operativos actuales.

El inicio de la reparación de un buque generalmente comienza con inspecciones detalladas que incluyen evaluaciones tanto por encima como por debajo de la línea de flotación, utilizando técnicas como ultrasonido, radiografía, y otras pruebas no destructivas para identificar áreas de desgaste, corrosión o daño estructural. Estas inspecciones son cruciales para desarrollar un plan de reparación preciso y eficaz que aborde todos los problemas identificados. En ASTINAVE. S.P. el barco LG-44 presenta corrosión en la parte delantera de su coraza por ende entra en el astillero para su respectivo análisis y reparación por granallado (véase en la figura 2.8).

**Figura 2.8 Proceso Pre-granallado en el barco LG-44 en ASTINAVE. S.P.**



**Fuente:** Los autores

El granallado juega un papel vital en la preparación de superficies, eliminando efectivamente la corrosión, la acumulación de incrustaciones y los recubrimientos antiguos. Esta técnica prepara óptimamente la superficie para la aplicación de nuevos recubrimientos protectores, asegurando una adhesión fuerte y duradera que protegerá la embarcación contra los elementos y prolongará su vida útil.

Los avances tecnológicos han mejorado la eficiencia y la seguridad del granallado, reduciendo el impacto ambiental y los riesgos para la salud de los trabajadores. La soldadura es otra técnica fundamental en la reparación de buques, utilizada para reparar o reemplazar secciones dañadas del casco, estructuras de soporte y otros componentes críticos. Los soldadores especializados en la industria naval deben trabajar con una amplia gama de materiales y en condiciones a menudo desafiantes, cumpliendo con estrictos estándares de calidad para garantizar reparaciones duraderas y seguras.

Además de estas técnicas, la reparación de buques a menudo implica el mantenimiento y la reparación de sistemas mecánicos y eléctricos a bordo, desde motores y sistemas de propulsión hasta equipos de navegación y comunicación. La modernización de estos sistemas es cada vez más común, no solo para cumplir con las regulaciones ambientales y de seguridad más recientes sino también para mejorar la eficiencia operativa y reducir el consumo de combustible. Las pruebas exhaustivas son un componente crítico del proceso de reparación, asegurando que todas las reparaciones y actualizaciones cumplan con los estándares de seguridad y rendimiento requeridos como podemos apreciar en la figura 2.9. Esto puede incluir desde pruebas de estanqueidad hasta pruebas de mar, donde se verifica el comportamiento operativo de la embarcación en condiciones reales.

**Figura 2.9 Proceso de mantenimiento y reparación del barco M. Cristina**



Fuente: **ASTINAVE. S.P.**

La eficiencia y calidad de los procesos de reparación son fundamentales no solo para prolongar la vida útil de las embarcaciones sino también para garantizar su operación segura. Los astilleros y los equipos de reparación naval enfrentan el desafío constante de mantenerse actualizados con las últimas tecnologías y prácticas de la industria, así como con las regulaciones internacionales que rigen la seguridad y el rendimiento de los buques. (De Fin et al., s/f

### 2.3.5 Aplicaciones del Granallado

El proceso de preparación de superficies mediante el granallado es una técnica esencial en diversas industrias, incluyendo la construcción naval, la manufactura de vehículos, la construcción y el mantenimiento de infraestructuras, entre otras. Esta metodología implica el uso de fuerzas mecánicas para limpiar y preparar las superficies antes de la aplicación de recubrimientos o para realizar soldaduras y otros tipos de trabajos que requieren una superficie limpia y rugosa para asegurar una buena adhesión.

El granallado se realiza proyectando a alta velocidad pequeñas partículas abrasivas, conocidas como granallas, sobre la superficie a tratar. Las granallas pueden ser de diferentes materiales, aunque las más comunes son de acero, debido a su dureza y capacidad para eliminar eficazmente impurezas, óxido, pintura vieja, y otros recubrimientos sin dañar la estructura base del material. Otras granallas utilizadas incluyen óxido de aluminio, vidrio, e incluso cáscaras de nuez, cada una elegida según el tipo de superficie y el resultado deseado.

**Figura 2.10 Aplicaciones de granallado por aire comprimido**



**Fuente:** Granallado Mecanizado S.A.

La proyección de las granallas se puede realizar mediante aire comprimido o por sistemas de centrifugado. Los equipos de aire comprimido son versátiles y permiten un control detallado de la presión y por ende de la agresividad del tratamiento, haciéndolos adecuados para una amplia gama de aplicaciones, desde la limpieza suave hasta la preparación intensiva de superficies. Por otro lado, los sistemas de centrifugado utilizan ruedas giratorias para acelerar y lanzar las partículas abrasivas contra la superficie. Este método es eficiente para tratar grandes volúmenes de material en un corto período de tiempo, siendo común en entornos industriales donde se requiere la preparación de grandes áreas o piezas.

La eficacia del granallado como técnica de preparación de superficies reside en su capacidad para no solo limpiar la superficie de materiales no deseados sino también para crear un perfil de rugosidad óptimo que mejora la adhesión de los recubrimientos protectores aplicados posteriormente. Esto es crucial para prolongar la vida útil de las estructuras y componentes al prevenir la corrosión y otros tipos de deterioro. Además de su aplicación en la limpieza y preparación de superficies, el granallado también se utiliza para modificar las propiedades mecánicas de los metales, como el incremento de la resistencia a la fatiga mediante la creación de esfuerzos residuales compresivos en la superficie del material. (Blanco Vittorino et al., 2021).

### **2.3.6 Método William Fine**

Este enfoque posibilita la evaluación cuantitativa mediante cálculos y análisis del nivel de riesgo presente en un área designada. William T. Fine lo publicó en 1971, definiendo que el análisis se basa en consideraciones clave, incluyendo la probabilidad de ocurrencia, el grado de exposición al peligro y las posibles consecuencias de los riesgos. Este método incorpora indicadores esenciales, como el número de trabajadores expuestos, la duración de la exposición al riesgo y las medidas correctivas necesarias para eliminar los riesgos identificados (CORREA & AGUILAR, 2019).

El método de William Fine es una técnica de análisis de riesgos utilizada para evaluar y cuantificar los riesgos asociados con diferentes peligros en el lugar de trabajo. Fue desarrollada por el ingeniero estadounidense William Fine para identificar, valorar y priorizar los riesgos en función de su severidad, probabilidad y frecuencia. Este método se basa en la multiplicación de tres factores fundamentales: la probabilidad de que ocurra un evento peligroso, la exposición o

frecuencia con la que las personas están en contacto con ese peligro y las consecuencias o severidad del daño potencial que podría resultar de dicho evento.

Se trata de una evaluación matemática diseñada para examinar los riesgos, fundamentada en tres elementos clave: la probabilidad, que representa el número esperado de accidentes; la exposición, que indica la frecuencia con la que se presenta el riesgo o los eventos desencadenantes; y el grado de peligrosidad, el cual se determina mediante la observación de campo y se calcula numéricamente considerando tres factores específicos: las consecuencias de un posible accidente derivado de los riesgos, la exposición de una causa básica y la probabilidad de que ocurra, junto con sus consecuencias.

La expresión del grado de peligrosidad se formula mediante el cálculo de la magnitud del riesgo de la siguiente manera:

$$GP = E * P * C \quad (3.1)$$

Donde:

<i>GP</i>	Grado de peligrosidad
<i>E</i>	Exposición
<i>P</i>	Probabilidad
<i>C</i>	Consecuencia

"El grado de exposición, que describe la ocurrencia de la situación de riesgo, y la probabilidad, que indica la probabilidad de que ocurra el accidente, incluyendo sus consecuencias, fueron obtenidos del Procedimiento de Identificación, Medición y Evaluación de riesgos laborales del Ministerio de Relaciones Laborales de nuestro país" (Elizabeth et al., 2021)

El resultado de esta multiplicación proporciona un valor de riesgo que luego se utiliza para determinar la necesidad de implementar medidas de control o mitigación. La probabilidad se evalúa en una escala que va desde muy improbable hasta casi seguro mientras que la exposición se mide desde rara hasta continua y la severidad varía desde insignificante hasta catastrófica. La combinación de estos factores ofrece una herramienta cuantitativa para clasificar los riesgos y tomar decisiones informadas sobre las prioridades de seguridad y salud ocupacional. Aunque este método proporciona una base sólida para la evaluación de riesgos es importante considerar



que depende de juicios subjetivos especialmente en la asignación de valores a la probabilidad exposición y consecuencias.

### **2.3.7 Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo (ISO 45001)**

La norma ISO 45001 es un estándar internacional que establece los requisitos para los sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SG-SST). Su objetivo principal es proporcionar a las organizaciones un marco para mejorar las condiciones de trabajo, prevenir lesiones y enfermedades laborales, y fomentar un entorno laboral seguro y saludable. Esta norma se basa en el enfoque de mejora continua y toma en consideración los riesgos laborales, la participación de los trabajadores y la integración eficaz de la gestión de la seguridad y la salud en los procesos organizativos.

La ISO 45001 se centra en la identificación proactiva y la gestión de riesgos laborales, la promoción de una cultura de seguridad, y el cumplimiento de los requisitos legales y reglamentarios relacionados con la salud y la seguridad en el trabajo. Al implementar esta norma, las organizaciones buscan reducir incidentes y accidentes laborales, mejorar la salud y el bienestar de los empleados, y fortalecer su compromiso con la responsabilidad social y el cumplimiento normativo. La ISO 45001 es aplicable a empresas de cualquier tamaño y sector, brindando un marco estandarizado para la gestión efectiva de la seguridad y salud en el trabajo a nivel global. (Fahmi et al., 2021)

### **2.3.8 Maquinaria de chorro abrasivo portátil**

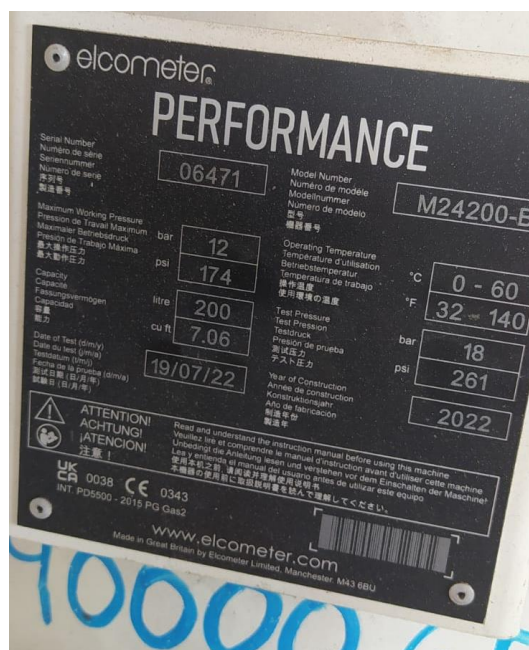
La Elcometer 200C es una máquina de chorro abrasivo portátil diseñada específicamente para contratistas, ofreciendo una combinación de rendimiento, eficiencia y movilidad. Mientras no puedo proporcionar detalles actualizados o específicos de modelos posteriores a mi última actualización, puedo darte una visión general basada en la información típicamente asociada con los equipos de chorro de Elcometer y las especificaciones comunes para una máquina de este tipo.

Figura 2.11 Maquinaria de chorro abrasivo portátil Elcometer 200C - Grupo Testek



Fuente: Los autores

Figura 2.12 Placa de datos técnicos de la maquina



Fuente: Los autores

### 2.3.9 Características Generales

Presión de Trabajo: La Elcometer 200C está diseñada para operar a una presión máxima de 12 bar (174 psi), lo que la hace adecuada para una amplia gama de aplicaciones de chorro abrasivo, desde la preparación de superficies hasta la limpieza general y la remoción de revestimientos.

- **Portabilidad:** Siendo un modelo portátil, esta máquina está diseñada para facilitar el transporte y la movilidad en diferentes sitios de trabajo, lo que es ideal para contratistas que necesitan desplazar su equipo frecuentemente.
- **Capacidad:** Aunque los detalles específicos de la capacidad pueden variar, las máquinas portátiles como la Elcometer 200C suelen tener un tanque que puede contener una cantidad significativa de medio abrasivo, permitiendo periodos de trabajo prolongados antes de necesitar una recarga.
- **Construcción Robusta:** Estas máquinas están construidas para soportar entornos de trabajo duros, con componentes resistentes a la corrosión y al desgaste para asegurar una larga vida útil y reducir el mantenimiento.
- **Versatilidad:** La capacidad de ajustar la presión y el tipo de medio abrasivo utilizado hace a la Elcometer 200C adecuada para una variedad de tareas, desde la limpieza suave de superficies delicadas hasta la remoción agresiva de recubrimientos antiguos o corrosión. (Máquina de chorro abrasivo portátil Elcometer 200C - Grupo Testek, s/f)

### 2.3.10 Preparación del proceso

- **Preparación de Superficies:** Ideal para preparar superficies antes de aplicar revestimientos, eliminando eficazmente óxido, pintura vieja y otras impurezas para asegurar una adhesión óptima del nuevo revestimiento.
- **Limpieza:** Puede ser utilizada para la limpieza general de superficies metálicas, hormigón y otras construcciones, eliminando suciedad, depósitos y contaminantes.
- **Restauración y Renovación:** Útil en proyectos de restauración para remover cuidadosamente revestimientos antiguos o dañados sin dañar la integridad de la superficie subyacente. (Máquina de chorro abrasivo portátil Elcometer 200C - Grupo Testek, s/f)

### **2.3.11 Capacitación continua de seguridad y salud en el trabajo**

Un plan de capacitación continua de seguridad y salud en el trabajo es un programa sistemático diseñado para brindar a los empleados información, habilidades y competencias necesarias para realizar sus tareas de manera segura y eficiente, reduciendo el riesgo de accidentes, lesiones y enfermedades ocupacionales. Este plan es un componente esencial de la gestión de la seguridad y salud ocupacional en una organización, y su objetivo es asegurarse de que todos los empleados estén informados sobre los peligros potenciales en su lugar de trabajo y sobre las prácticas y procedimientos de trabajo seguros.

La ejecución de un plan de capacitación continua requiere el compromiso de la dirección de la empresa, una planificación cuidadosa que identifique las necesidades de capacitación específicas, la selección de los métodos y materiales de capacitación adecuados y la evaluación continua del programa para ajustar y mejorar su efectividad. Además, implica garantizar que todos los empleados participen activamente en el trabajo, brindar capacitadores calificados y, cuando sea necesario, utilizar recursos externos especializados. (Gómez García & Gómez García, 2021).

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

En esta sección se detallará la metodología utilizada para proteger completamente a los operadores de la exposición al granallado y sus efectos en la salud. El objetivo es reducir los niveles de exposición al granallado y sus efectos en la salud de los operadores en la industria naval.

Se incluirá una evaluación exhaustiva de los peligros físicos, químicos y ergonómicos relacionados con este proceso en comparación con las medidas de seguridad y protección personal actuales, identificando áreas donde se pueden mejorar o incorporar nuevas técnicas. El estudio sugiere mejorar el uso del equipo de protección personal, implementar controles administrativos mejorados e implementar controles de ingeniería. creando programas para aumentar la conciencia sobre los riesgos y promover prácticas seguras en el lugar de trabajo.

El objetivo es hacer un gran aporte a la comunidad de operadores navales. La investigación proporciona información sobre la exposición, los equipos y los riesgos relacionados con el granallado. Además, se presenta un análisis de riesgos cuantitativo y cualitativo utilizando la técnica de William Fine para identificar áreas de mejora que fomenten la colaboración interdisciplinaria entre el supervisor de seguridad y los operadores.

### **3.1 Tipo de investigación**

Se define como un estudio de investigación descriptiva y aplicada. Se centra en la evaluación cuantitativa y cualitativa de los peligros relacionados con la exposición de partículas durante el proceso de granallado. Además, tiene como objetivo reducir la exposición de los operadores identificando y estandarizando medidas preventivas específicas en función de factores químicos y físicos. La investigación también se centra en la planificación de cómo implementar posiblemente equipos estandarizados de acuerdo con las regulaciones para reducir la exposición en el proceso de granallado en la industria naval.

### **3.2 Enfoque de la investigación**

Se enfoca en la implementación práctica de las medidas de seguridad. Se buscará comprender en detalle los riesgos asociados con la exposición de partículas durante el granallado mediante una metodología que combina evaluaciones cualitativas y cuantitativas. El énfasis recae en la identificación y estandarización de medidas preventivas particulares, abordando factores químicos y físicos para reducir la exposición de los operadores.

El objetivo de la investigación es mejorar la seguridad laboral en la industria naval al sugerir formas efectivas de planificar la implementación de equipos estandarizados de acuerdo con las regulaciones regulatorias, con el objetivo final de proteger la salud y el bienestar de los trabajadores involucrados en el proceso de granallado.

### **3.3. Método y técnicas de investigación**

Abordaremos los objetivos utilizando una combinación de técnicas cuantitativas y cualitativas para evaluar los riesgos, se utilizarán métodos de medición cuantitativos y cualitativas través de la observación directa para identificar y estandarizar medidas preventivas. Se planificará un análisis de costos para obtener los beneficios de una posible implementación de un equipo estandarizado para el proceso de granallado.

### **3.4 Metodología aplicada**

Se aplicará una comprensión completa de los peligros relacionados con el granallado, la determinación de medidas preventivas efectivas y la planificación detallada para la implementación del equipo estandarizado de acuerdo con las regulaciones vigentes. Para gestionar de manera efectiva los riesgos asociados con los procesos de granallado en la industria naval, es necesario implementar una jerarquía de controles en Salud y Seguridad Ocupacional (SSO). Este método sistemático implica la implementación de medidas específicas en cada nivel de la estructura para reducir los riesgos y crear un ambiente de trabajo más seguro.

Cada fase de la jerarquía se aplica con cuidado para garantizar una gestión integral de los riesgos relacionados con el granallado, desde la eliminación y sustitución de peligros hasta la implementación de controles de ingeniería, administrativos y el suministro adecuado de equipo de protección personal. Además de mejorar la salud y el bienestar de los operadores, este proceso contribuye a un entorno laboral más seguro y sostenible en la industria naval. Para

implementar la jerarquía de controles en el ámbito de SSO se partirá de los 3 puntos esenciales para la supervisión correcta de un proceso de granallado

### 3.4.1. Pre-Granallado

Realizaremos una evaluación exhaustiva de los riesgos en el entorno laboral, esto puede incluir inspecciones, análisis de incidentes anteriores y consultas con los trabajadores. Identificaremos todas las posibles fuentes de peligro y los posibles escenarios en los que podrían ocurrir lesiones o daños a la salud.

#### 3.4.1.1 Inspección del área de trabajo

Antes del proceso de granallado, se realizarán inspecciones regulares para garantizar un entorno de trabajo seguro. La detección de fuentes potenciales de riesgo, como la exposición a polvo y partículas, será parte de estas evaluaciones. Se examinará minuciosamente para encontrar polvo metálico y otras partículas potencialmente peligrosas. Véase en la figura 3.1.

**Figura 3.1 Inspección del área de trabajo en Pre-Granallado**



**Fuente:** Los autores

Para proteger la salud auditiva de los trabajadores, la inspección se extenderá a medir los niveles de ruido producidos por el equipo de granallado. Además, se evaluará la exposición a vibraciones de equipos mecánicos o manuales para detectar cualquier riesgo potencial. Un enfoque integral para un proceso efectivo y seguro. Se promoverá un enfoque holístico más allá

de la identificación de riesgos específicos. Antes de iniciar el proceso de granallado, la inspección examinará las condiciones de trabajo inseguras para garantizar un entorno y prácticas laborales seguros. La seguridad y el bienestar de los operadores serán priorizados en el lugar de trabajo con este enfoque integral.

### **3.4.1.2 Recopilación de información**

Se llevará a cabo un análisis detallado de los procesos de granallado, que incluirá el equipo utilizado, los materiales manejados y las técnicas de trabajo utilizadas. El objetivo de esta evaluación es comprender completamente el entorno laboral e identificar cualquier elemento que pueda ser relevante para los riesgos preguntando a los empleados sobre sus experiencias y percepciones sobre posibles riesgos en su entorno de trabajo promoverá la participación activa. La conversación con los operadores y el personal de mantenimiento será fundamental para identificar riesgos específicos y crear planes de prevención.

Los registros de incidentes pasados, informes de accidentes y estudios de salud ocupacional relacionados con la industria serán objeto de revisión. Este método informado permitirá comprender las lecciones aprendidas y mejorar continuamente las prácticas laborales para la seguridad ocupacional. En ASTINAVE S.P. los procesos de granallado se enfatiza en partes más de 3 metros a nivel del suelo por ello se utiliza andamios, se enfatiza los riegos en alturas que implica y las medidas de seguridad véase en la figura 3.2

**Figura 3.2** Uso de andamios en el proceso de granallado en el barco M. Cristina



**Fuente:** Los autores



### 3.4.1.3 Acciones preventivas

Siempre que sea posible, se prioriza la eliminación de riesgos. Esto implica evaluar cambios en procesos, tecnologías o sustancias utilizadas para eliminar completamente los riesgos. La adopción de nuevas tecnologías requiere una evaluación cuidadosa, que tenga en cuenta aspectos como los costos iniciales, la compatibilidad con operaciones existentes, la curva de aprendizaje para los operadores y los efectos en el medio ambiente, incluida la gestión de desechos.

Se considera un enfoque proactivo para reducir los riesgos al reemplazar el proceso de granallado. Además de mejorar la seguridad de los trabajadores, mejora la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental. Para que se lleve a cabo con éxito la implementación, se requiere una planificación exhaustiva que incluya todas las implicancias operativas y de seguridad.

Desde el punto de vista del supervisor de seguridad, reducir los riesgos en el proceso de granallado requiere una gestión proactiva. Se busca no solo cumplir con los estándares de seguridad, sino también encontrar formas de mejorar la eficiencia y disminuir el impacto en el medio ambiente. Para garantizar una implementación exitosa y una operación segura y sostenible, es necesario considerar cuidadosamente todos estos elementos. Por ello en la tabla 3.1 se describe los posibles riesgos asociados en el proceso de granallado.

**Tabla 3.1 Matriz de riesgos para procesos de granallado**

Matriz de riesgos				
Riesgo	Probabilidad	Impacto	Prioridad	Medidas de Control
<b>Inhalación de polvo y partículas</b>	Alta	Mayor	Alta	Uso de sistemas de ventilación y extracción de polvo, EPP (mascarillas con filtros apropiados), monitoreo regular de la calidad del aire.
<b>Exposición a ruido</b>	Alta	Mayor	Alta	Uso de protectores auditivos (tapones, auriculares), implementación de cabinas insonorizadas, mantenimiento de equipos para reducir ruido.
<b>Lesiones oculares</b>	Alta	Mayor	Alta	Uso obligatorio de gafas de seguridad con protección lateral o caretas completas.
<b>Lesiones por vibración</b>	Media	Moderado	Media	Rotación de trabajadores, mantenimiento de equipos, uso de guantes anti-vibración.

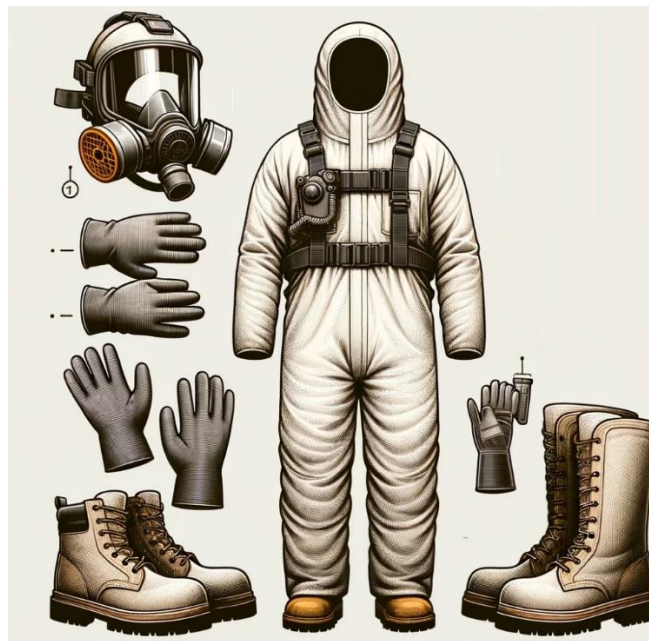
<b>Lesiones cutáneas</b>	Media	Moderado	Media	Uso de ropa protectora resistente, guantes, cremas barrera para la piel.
<b>Fatiga y estrés físico</b>	Alta	Moderado	Media	Implementar pausas regulares, rotación de tareas, entrenamiento en técnicas de levantamiento y manejo adecuadas.

**Fuente:** Los autores

### 3.4.2 Granallado

Para garantizar la salud y seguridad de los operadores, el equipo de protección personal (EPP) es crucial durante el proceso de granallado. Proteger contra partículas y proyecciones mediante el uso adecuado de EPP, como gafas protectoras, guantes resistentes al abrasivo y vestimenta especializada, reduce el riesgo de lesiones. Además, el EPP reduce la exposición a materiales abrasivos y ruidos, lo que crea un entorno de trabajo seguro. Al garantizar la integridad física y la comodidad de los operadores, su implementación adecuada no solo cumple con las normativas de seguridad, sino que también mejora la eficacia y la productividad véase en la figura 3.3.

**Figura 3.3** Equipo de protección para proceso de granallado



**Fuente:** CYM Materiales

### 3.4.2.1 Norma ISO 14877:2018

Se enfoca en establecer pautas específicas para la selección, el uso y el mantenimiento de EPP en entornos de granallado. Este estándar aborda el requisito de proteger a los trabajadores contra las partículas abrasivas que se producen durante el proceso. Examine los estrictos requisitos de las prendas de protección, como los trajes de granallado pesado, para asegurar su resistencia a la abrasión y su capacidad para brindar protección efectiva. La legislación también enfatiza la necesidad de un mantenimiento adecuado de los equipos para mantener su eficacia e integridad a lo largo del tiempo. El cumplimiento de la ISO 14877:2018 garantiza la calidad y conformidad de los EPP utilizados en el granallado industrial y promueve entornos de trabajo seguros y protegidos.

- **Traje de Granallado Pesado.** -Este traje está diseñado para proteger al operador de las partículas abrasivas lanzadas durante el granallado. Suele estar fabricado con materiales resistentes a la abrasión y ofrece cobertura completa del cuerpo.
- **Casco con Respirador de Cara Completa.** - Proporciona protección respiratoria y facial contra el polvo y otras partículas en el aire. El casco también protege los ojos y la cara del operador de impactos de partículas a alta velocidad.
- **Guantes de Alta Durabilidad.** - Diseñados para ofrecer protección contra la abrasión y cortes, al tiempo que permiten la manipulación segura de equipos y materiales. Los guantes suelen estar hechos de materiales resistentes con un buen nivel de agarre.
- **Botas de Seguridad Resistentes y Antideslizantes.** - Estas botas están diseñadas para proteger los pies del operador de lesiones y proporcionar estabilidad en superficies resbaladizas. Suelen tener punteras reforzadas y suelas antideslizantes.

### 3.4.2.2 Preparación de equipo de granallado

El operador de la máquina de granallado por aire comprimido debe estar muy familiarizado con el funcionamiento y los controles de la máquina, así como con cómo ajustar la presión de aire con precisión. La integridad y la eficiencia de una máquina dependen de su inspección previa y mantenimiento regular. La vigilancia constante de indicadores como la presión y la temperatura garantiza que se lleve a cabo una operación segura. La limpieza regular de componentes, como boquillas y filtros, evita obstrucciones y garantiza un flujo uniforme de abrasivo. Para proteger al operador de partículas y abrasivos, es esencial usar correctamente el

equipo de protección personal (EPP). Estas técnicas permiten un proceso de granallado seguro, eficiente y con resultados de tratamiento de superficies óptimos véase en la figura 3.4.

**Figura 3.4 Operador & Maquina de granallado por aire comprimido**



**Fuente:** Industria INL

### 3.4.3 Post-Granallado

Cuando la eliminación total de un riesgo no es factible, la estrategia de sustitución se convierte en una alternativa prioritaria, enfocándose en reemplazar los elementos peligrosos por opciones que presenten un menor nivel de riesgo. Este enfoque implica una evaluación cuidadosa de los equipos, procesos y materiales utilizados en la operación, con el objetivo de identificar alternativas más seguras que puedan reducir significativamente la exposición a peligros. La sustitución puede abarcar desde la selección de materiales de granallado con propiedades toxicológicas menos dañinas hasta la adopción de tecnologías avanzadas que minimicen la necesidad de intervención manual en procesos potencialmente peligrosos.

Por ejemplo, optar por medios de granallado biodegradables o de baja toxicidad puede disminuir la exposición a sustancias nocivas, mientras que la incorporación de equipos automatizados puede reducir la interacción directa de los trabajadores con las operaciones de alto riesgo. Este enfoque no solo mejora la seguridad y la salud de los operadores, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental y la eficiencia operativa. La implementación efectiva de la sustitución de riesgos requiere una comprensión profunda de las operaciones

actuales y una evaluación de las alternativas disponibles, considerando tanto su viabilidad técnica como su impacto económico y ambiental.

#### **3.4.3.1 Controles de ingeniería**

La adopción de controles de ingeniería se centra en la integración de medidas físicas específicas que aborden directamente la minimización de riesgos en el entorno laboral. Esta estrategia incluye el diseño, la implementación y el mantenimiento de soluciones técnicas que alteran físicamente las condiciones de trabajo para crear un ambiente más seguro. Entre las medidas más efectivas se encuentran el desarrollo y la instalación de barreras de seguridad robustas que prevengan el acceso no autorizado a zonas de alto riesgo, sistemas de ventilación avanzados diseñados para extraer eficazmente contaminantes peligrosos del aire, y la selección de tecnologías de operación que inherente o significativamente posean menores niveles de riesgo.

Además, es fundamental asegurar que todo el equipo y las instalaciones no solo estén diseñados con un enfoque preventivo hacia la seguridad, sino que también se mantengan regularmente para garantizar su funcionamiento óptimo y seguro a lo largo del tiempo. Esto incluye la realización de inspecciones periódicas, la ejecución de mantenimiento preventivo y la actualización de equipos y sistemas conforme surjan tecnologías más avanzadas y seguras.

La implementación de controles de ingeniería requiere una comprensión detallada de los procesos operativos y los riesgos asociados, así como un compromiso con la inversión en soluciones técnicas que puedan requerir una inversión inicial significativa pero que, a largo plazo, contribuyen a la creación de un entorno de trabajo más seguro y eficiente. Este enfoque no solo protege a los trabajadores, sino que también puede mejorar la productividad al reducir el tiempo de inactividad relacionado con accidentes y enfermedades ocupacionales.

#### **3.4.3.2 Controles administrativos**

La implementación de controles administrativos constituye una estrategia clave para promover y guiar el comportamiento seguro en el entorno laboral. Esta aproximación se basa en el desarrollo y la puesta en práctica de una serie de procedimientos operativos y políticas de seguridad bien definidas, diseñadas para minimizar los riesgos a través de la gestión organizativa y la educación de los trabajadores. Entre estas medidas se incluye la capacitación exhaustiva y continua de los empleados, enfocada no solo en el conocimiento de las

herramientas y procesos específicos de su trabajo, sino también en la comprensión profunda de los riesgos asociados y las prácticas de seguridad pertinentes para mitigarlos.

Además, la rotación de tareas emerge como una táctica efectiva para reducir la exposición prolongada a condiciones o actividades de alto riesgo, promoviendo así un ambiente de trabajo más seguro y dinámico. Esta práctica no solo ayuda a prevenir la fatiga y el desgaste físico o psicológico derivado de la repetición de tareas, sino que también enriquece el conjunto de habilidades de los empleados, aumentando su versatilidad y compromiso.

La formulación e implementación de políticas de seguridad claras y coherentes son también fundamentales dentro de los controles administrativos. Estas políticas deben ser comunicadas efectivamente a todos los niveles de la organización, asegurando que cada trabajador esté plenamente informado sobre las expectativas de seguridad, los procedimientos de emergencia y las responsabilidades individuales y colectivas en la promoción de un ambiente de trabajo seguro.

#### **3.4.4 Elaboración del ART**

Realizar un análisis de riesgo en el trabajo para la identificación de los riesgos presentes en la actividad del operador para desarrollar medidas preventivas y de control con la finalidad de que la integridad del trabajador sea salvaguardada, a su vez esto ayudará a la eficiencia de la actividad. Este proceso implica una evaluación rigurosa de las condiciones laborales, incluyendo la interacción del operador con maquinaria, herramientas, sustancias y procedimientos, con el objetivo de detectar cualquier factor que pueda representar una amenaza para su seguridad o salud. A partir de esta evaluación, se procede a la clasificación de los riesgos identificados según su naturaleza y severidad, lo que permite priorizar las acciones correctivas y preventivas a implementar.

La efectividad del ART depende en gran medida de la participación activa de los trabajadores y de la colaboración interdisciplinaria entre diferentes departamentos, incluyendo seguridad laboral, salud ocupacional y gestión de operaciones. Así, la implementación de las medidas derivadas del análisis no solo salvaguarda la integridad física y psicológica de los empleados, sino que también contribuye a la creación de una cultura de prevención y mejora continua en la seguridad laboral. Este enfoque proactivo hacia la gestión de riesgos laborales es esencial para

el mantenimiento de altos estándares de seguridad y para el cumplimiento efectivo de las regulaciones y normativas aplicables. (Elizabeth et al., 2021)

#### **3.4.5 Aplicación de la cuantificación de químicos contaminantes**

El proceso de granallado, fundamental en las tareas de limpieza y acondicionamiento de superficies metálicas, involucra el uso intensivo de materiales abrasivos que, al remover óxido, pintura y diversas incrustaciones, generan una significativa emisión de partículas contaminantes al ambiente. Esta realidad subraya la imperiosa necesidad de llevar a cabo un meticuloso análisis de las partículas residuales generadas, con el objetivo de identificar y cuantificar la presencia de potenciales contaminantes químicos. La realización de dichos análisis y la correspondiente toma de muestras deben efectuarse en zonas precisamente delimitadas, tanto previo como posterior a la ejecución de las actividades de granallado.

Es crucial que los datos obtenidos a través de estas evaluaciones sean cuidadosamente contrastados con los límites establecidos por las normativas aplicables a la seguridad y salud en el trabajo, con el fin de verificar el cumplimiento de los estándares que regulan dichas operaciones. En caso de identificar niveles de contaminación que superen los umbrales permitidos, se hace necesario iniciar un proceso de revisión y ajuste de las prácticas de granallado, orientado a implementar medidas correctivas y de mejora continua.

Este proceso tiene como finalidad primordial reducir la polución originada por el granallado y, por ende, minimizar el riesgo de exposición tanto para los operadores directamente involucrados como para cualquier tercero presente en las áreas afectadas. Este enfoque proactivo no solo contribuye a salvaguardar la salud de quienes interactúan de cerca con el proceso de granallado, sino que también promueve la sostenibilidad ambiental y la responsabilidad social empresarial en el ámbito de la industria naval (Peralta et al., 2023).

#### **3.4.6 Matriz de riesgos para proceso de granallado**

Crear una matriz de riesgos para actividades particulares, como el granallado en entornos industriales, es un proceso complejo que implica la identificación detallada, evaluación y gestión proactiva de los riesgos potenciales para la salud y la seguridad. Este proceso es fundamental para reducir los peligros del granallado, una técnica utilizada ampliamente para limpiar, fortalecer o pulir metales mediante la proyección de partículas abrasivas a alta

velocidad. Los responsables de seguridad pueden visualizar y priorizar las áreas de preocupación y desarrollar estrategias específicas de control y mitigación mediante la creación de una matriz de riesgos.

La elaboración de esta matriz comienza con una identificación exhaustiva de riesgos. Este proceso debe llevarse a cabo por un equipo de especialistas en salud y seguridad ocupacional en colaboración con los empleados directamente involucrados en las operaciones de granallado. Este equipo multidisciplinario evaluará la probabilidad de que cada riesgo ocurra y determinará cómo afectaría la salud y la seguridad de los trabajadores y las operaciones en general. Luego, los riesgos se clasificarán en función de su prioridad, lo que permitirá a la organización asignar recursos de manera eficiente para abordar los riesgos más importantes primero.

Se requiere una cultura organizacional que valore y priorice la seguridad y la salud en el trabajo para que la implementación de la matriz de riesgos sea efectiva. Esto implica no solo el compromiso de la alta dirección para proporcionar los recursos necesarios y apoyar las iniciativas de seguridad, sino también la participación activa de los trabajadores en la identificación de riesgos y la implementación de medidas de control. Es esencial que todos los niveles de la organización trabajen juntos para crear un lugar de trabajo seguro y saludable.

Las medidas de control deben ser monitoreadas y evaluadas continuamente para garantizar que funcionen correctamente una vez que se han implementado. Este seguimiento puede incluir la revisión regular de la matriz de riesgos, la modificación de las medidas de control para adaptarse a los cambios en los procesos de trabajo, la implementación de nuevas tecnologías o la identificación de nuevos riesgos. Las inspecciones regulares de seguridad, las auditorías y la recopilación de datos sobre incidentes y accidentes brindan información útil para este proceso de revisión.

La gestión efectiva de los riesgos requiere la capacitación y educación continua de los trabajadores. Los programas de capacitación deben diseñarse para informar a los trabajadores sobre las mejores prácticas de seguridad y salud ocupacional y para abordar los riesgos específicos identificados en la matriz. Estos programas deben ser interactivos, permitiendo a los empleados compartir sus experiencias y proponer mejoras.



También es importante fomentar una cultura de seguridad que motive a los empleados a participar en el proceso de gestión de riesgos y reportar situaciones inseguras. Esto incluye garantizar que se tomen medidas correctivas en respuesta a las preocupaciones de los empleados y establecer canales de comunicación abiertos y efectivos para recibir sus comentarios. La participación activa de los trabajadores mejora la identificación y la reducción de riesgos y aumenta el sentido de propiedad y el compromiso con la seguridad en el lugar de trabajo.

### **3.4.7 Riesgos para la Salud en la Actividad del Granallado**

#### **Inhalación de Polvo y Partículas**

El granallado implica el uso de medios abrasivos bajo presión para limpiar o alterar la superficie de un material. Este proceso genera una gran cantidad de partículas y polvo fino, algunas de las cuales son muy pequeñas y pueden penetrar en el sistema respiratorio. Los trabajadores que están expuestos a este polvo sin protección adecuada tienen el riesgo de desarrollar enfermedades pulmonares obstructivas crónicas (EPOC), silicosis (que ocurre cuando se usa arena como medio abrasivo), enfermedades pulmonares intersticiales y un mayor riesgo de cáncer de pulmón, especialmente si el polvo contiene metales pesados o carcinógenos conocidos.

**Mitigación:** Para reducir la concentración de polvo en el aire, es importante usar controles de ingeniería como ventilación localizada y extracción de polvo en el punto de origen. Los sistemas de filtración de aire deben ser diseñados para capturar las partículas producidas durante el procesamiento de granallado. Además, debería ser una práctica común usar equipos de protección personal (EPP), como respiradores de media cara o cara completa con cartuchos específicos para los contaminantes presentes. Los exámenes de salud regulares y la capacitación en el uso adecuado de EPP pueden reducir los riesgos para la salud.

#### **Exposición a Ruido**

En el granallado, los niveles de ruido pueden superar los 100 decibelios, muy por encima del umbral de seguridad de 85 decibelios que se recomienda para la exposición laboral prolongada. La pérdida auditiva, junto con el estrés, la hipertensión y los riesgos cardiovasculares a largo plazo, pueden ser causados por la exposición a estos niveles de ruido.

**Mitigación:** Evaluar la necesidad de controles de ingeniería para reducir la exposición al ruido además del uso de EPP como tapones y orejeras es crucial. Esto puede incluir aislar la fuente

de ruido, usar cabinas acústicas y cambiar las operaciones para reducir el ruido. La evaluación regular de los niveles de ruido y la audición de los empleados son prácticas cruciales para detectar posibles problemas auditivos y establecer los controles necesarios.

### **Lesiones Oculares**

Las partículas que se expulsan durante el granallado tienen la energía necesaria para penetrar o dañar significativamente el tejido ocular, lo que puede causar lesiones permanentes o pérdida de la visión. Si se impactan a alta velocidad, incluso partículas muy pequeñas pueden causar un gran daño.

**Mitigación:** La protección ocular debe ser específica para el riesgo presente y puede incluir caretas completas o gafas de seguridad con sellado alrededor de los bordes para prevenir la entrada de partículas. Debido al riesgo de rebote de partículas, es esencial que todos los empleados usen protección ocular.

### **Lesiones por Vibración**

El uso constante de herramientas de granallado puede causar dolor, disminución de la sensibilidad y trastornos musculoesqueléticos a largo plazo. Este síndrome puede ser debilitante y causar una disminución de la capacidad para realizar tareas diarias o trabajos complejos.

**Mitigación:** La rotación de tareas, el diseño ergonómico de las herramientas y el uso de equipos diseñados para reducir la transmisión de vibraciones son esenciales. Los programas de salud ocupacional deben incluir evaluaciones regulares para detectar signos tempranos de trastornos relacionados con la vibración y, según sea necesario, adaptar los puestos de trabajo.

### **Lesiones Cutáneas**

El uso de medios abrasivos puede causar laceraciones y abrasiones inmediatas, así como reacciones alérgicas o dermatitis si se usa con frecuencia o por un largo período de tiempo.

**Mitigación:** La ropa de trabajo debe ser seleccionada específicamente para resistir el impacto directo y resistir la penetración de medios abrasivos. Las cremas contra las barreras pueden

ofrecer protección adicional a la piel expuesta. La higiene personal, incluida la limpieza adecuada después de la exposición, es crucial.

### **Fatiga y Estrés Físico**

La carga física asociada con el manejo de equipos de granallado, especialmente durante períodos prolongados, puede contribuir a una variedad de trastornos musculoesqueléticos, como dolor lumbar, lesiones de hombro y trastornos de las extremidades superiores.

**Mitigación:** El uso de prácticas de trabajo ergonómicas, como el diseño de estaciones de trabajo que reduzcan la postura incómoda, las herramientas de elevación y la ayuda mecánica, puede reducir significativamente el riesgo de lesiones. La promoción de una cultura de seguridad que fomente la toma de descansos y el reporte de síntomas tempranos, así como la capacitación en técnicas de manejo manual, son igualmente importantes.

### **3.4.8 Riesgos de Seguridad en la Actividad del Granallado**

#### **Golpes y Atrapamientos**

Las operaciones de granallado implican el uso de equipos y maquinaria que, si se manejan o fallan incorrectamente, pueden poner a los trabajadores en grave riesgo de golpes y atrapamientos. Durante el proceso, las partículas a alta velocidad pueden rebotar y golpear al trabajador o a otros trabajadores cercanos, causando lesiones que van desde contusiones menores hasta fracturas graves. Sin embargo, atraparse en partes móviles de la maquinaria puede causar lesiones, cicatrices o incluso la muerte.

**Mitigación:** Garantizar que todas las guardas de seguridad estén en su lugar y sean adecuadas para la maquinaria utilizada es fundamental. La capacitación regular en manejo seguro de la maquinaria y el reconocimiento de posibles peligros puede reducir estos riesgos. Además, el mantenimiento regular de la maquinaria y el uso de sistemas de parada de emergencia accesibles son esenciales para prevenir malfuncionamientos y reducir el riesgo de golpes y atrapamientos.

#### **Caídas**

El granallado se realiza con frecuencia en áreas elevadas que requieren el uso de escaleras o andamios, o en condiciones donde el suelo puede volverse resbaladizo debido a la acumulación de polvo y desechos del proceso. Esto aumenta significativamente el riesgo de caídas graves o

fatales. En la industria naval, las caídas desde altura son particularmente peligrosas en proyectos de gran envergadura, como la limpieza y preparación de superficies.

**Mitigación:** Es fundamental garantizar el uso de equipos de protección individual (EPI) como arneses de seguridad, líneas de vida y redes de seguridad cuando se trabaja en alturas. Las medidas preventivas importantes incluyen la limpieza regular para mantener las áreas de trabajo libres de polvo y escombros, así como la instalación de barandillas y señalización adecuadas en áreas de trabajo elevadas. Los programas de seguridad laboral también incluyen capacitación específica en seguridad en el trabajo en alturas.

### **Incendios y Explosiones**

El polvo producido durante el granallado puede ser muy combustible, especialmente cuando se compone de ciertos metales o se acumula en áreas cerradas, lo que aumenta el riesgo de incendios o explosiones. La naturaleza de estos riesgos depende en gran medida del material que se está granallando y de las condiciones en las que se lleva a cabo el trabajo. Si se introduce una fuente de ignición, la acumulación de polvo en superficies horizontales, equipos eléctricos y áreas confinadas puede proporcionar el combustible necesario para una explosión de polvo.

**Mitigación:** La prevención de incendios y explosiones requiere un enfoque multifacético que incluya la evaluación de riesgos específicos del material siendo procesado, así como el control y la limpieza regular del polvo para reducir la acumulación. La clasificación adecuada de áreas peligrosas, el uso de equipos eléctricos a prueba de explosiones en dichas áreas y la instalación de sistemas de extracción de polvo con características de seguridad anti explosiones son medidas cruciales. Además, es fundamental capacitar a los trabajadores sobre los riesgos de incendio y explosión relacionados con el polvo combustible, incluidas las prácticas de trabajo seguras para evitar la generación de chispas y la acumulación de cargas electrostáticas.

#### **3.4.9 Análisis aplicando el método William Fine**

Una vez explicado los riesgos asociados en el proceso de granallado se usará el método William Fine para explicar acciones que ocasionan situaciones peligrosas o a propensas a pasar para el trabajador afectando directamente a la su salud creando un ambiente no seguro de trabajo.

Se utilizará cuatros puntos que en el proceso de granallado ocasionan la mayoría de accidentes o exponen a situaciones de peligro al operador

- **Limpieza en el área de trabajo:** Los operadores deberán limpiar eficientemente superficies, eliminando óxido, pintura vieja, escamas y otros contaminantes por consecuente eliminar posibles riesgos de resbalones y tropiezos causados por superficies irregulares o contaminadas.
- **Control de polvo y residuos:** El granallado puede generar polvo y residuos, lo que puede representar riesgos para la salud si no se controla adecuadamente. Una buena ventilación ayuda a reducir la generación de polvo al utilizar partículas más finas y controlar mejor el flujo de medios abrasivos, lo que contribuye a un ambiente de trabajo más seguro.
- **Exposición a partículas abrasivas:** A pesar de las mejoras en el proceso de granallado existe una pequeña posibilidad que aún pueda generar partículas abrasivas en el aire. Se deben implementar medidas de control de la exposición, como la ventilación adecuada y el uso de equipos de protección personal (EPP), para minimizar el riesgo de inhalación y abrasión de la piel.
- **Riesgo de lesiones por proyección de partículas:** El proceso de granallado conlleva el riesgo de proyección de partículas a alta velocidad, lo que puede causar lesiones graves si no se toman las precauciones adecuadas. Se deben establecer barreras de protección y zonas de exclusión para evitar lesiones a los trabajadores y otras personas cercanas al área de trabajo.

### 3.4.9.1 Magnitud del riesgo

Por ello se utilizó la tabla 3.2; 3.3 y 3.4 para determinar cualitativamente como afecta los cuartos puntos levantados en el área naval

**Tabla 3.2 Tabla de consecuencia en el proceso de granallado**

Valor	Consecuencias
10	Muerte y/o daños mayores a 6000 dólares
6	Lesiones incapacaces permanentes y/o daños entre 2000 y 6000 dólares
4	Lesiones con incapacidades no permanentes y/o daños entre 600 y 2000 dólares
1	Lesiones con heridas leves, contusiones, golpes y/o pequeños daños económicos.

**Fuente:** Los autores

**Tabla 3.3 Tabla de exposición en el proceso de granallado**

Valor	Exposición
10	La situación de riesgo ocurre continuamente o muchas veces al día
6	Frecuentemente una vez al día
2	Ocasionalmente o una vez por semana
1	Remotamente posible

**Fuente:** Los autores

**Tabla 3.4 Tabla de probabilidad en el proceso de granallado**

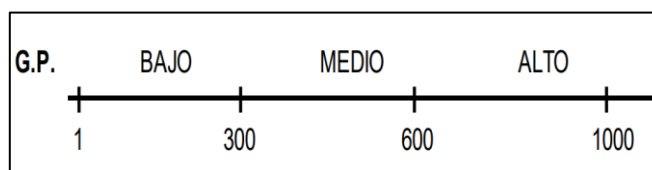
Valor	Probabilidad
10	Es el resultado más probable y esperado; si la situación de riesgo tiene lugar
7	Es completamente posible, nada extraño. Tiene una probabilidad de ocurrencia del 50%
4	Sería una rara coincidencia. Tiene una probabilidad del 20%
1	Nunca ha sucedido en muchos años de exposición el riesgo pero es concebible

**Fuente:** Los autores

Los valores numéricos o dólares asignados a cada factor están basados en el juicio y la experiencia del Jefe de Producción en conjunto del Supervisor de H&S de ASTINAVE S.P., que hace el cálculo y en los costos que la empresa puede incurrir en cada caso.

Se ordena según la gravedad relativa de sus consecuencias o pérdidas después de calcular el grado de peligrosidad de cada riesgo (GP) utilizando el mismo juicio y criterio.

La siguiente grafica 3.5 muestra una ordenación potencial que puede variar según la valoración de cada factor, los criterios económicos de la empresa y la cantidad de tipos de actuación frente al riesgo establecido.

**Figura 3.5 Orden potencial de perdida frente a riesgos**

**Fuente:** Los autores

Donde:

Bajo	Riesgo tolerable o intervención a largo plazo
Medio	Intervención temporal.
Alto	Terminación o tratamiento del riesgo inmediato.

### 3.4.9.2 Grado de repercusión

El factor de peligrosidad se multiplica por un factor de ponderación que se obtiene de una tabla de acuerdo con el porcentaje de personas expuestas a dicho peligro para calcular el grado de repercusión.

$$GR = GP * FP$$

El porcentaje de trabajadores expuestos se lo calcula de la siguiente forma:

$$\% \text{ Expuestos} = \frac{\% \text{ trabajos expuestos}}{\% \text{ de trabajadores}} \times 100$$

El número de empleados expuestos se refiere a los empleados que están cerca de la fuente de peligro. El número total de empleados se refiere al número total de empleados trabajando en el área donde se está llevando a cabo la evaluación de riesgos. En ASTINAVE S.P. la nómina es tan alta para proyectos navales que los trabajos expuestos o realizando del proceso de granallado son pocos, alrededor de 30 granallados se realiza a diferentes barcos para el mantenimiento de la superficie de la proa por lo tanto el número será menor y este valor sea distorsionado a la problemática que deseamos tratar. Por ello

$$\% \text{ Expuestos} = \frac{\% \text{ trabajos expuestos}}{\% \text{ de operadores de granallados}} \times 100$$

Nos da una perspectiva más cercana a la realidad, Una vez que se ha calculado el porcentaje de expuestos, se debe elegir el factor de ponderación, cuyo valor se muestra en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5 Factor de ponderación para el grado de percepción**

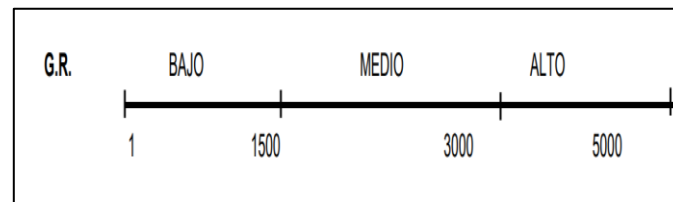
% Expuesto	Factor de ponderación
1 -20 %	1
21 - 40 %	2
41 - 60 %	3

61 - 80 %	4
81 - 100 %	5

**Fuente:** Los autores

Se ordenan los riesgos según la escala siguiente después de calcular su impacto.

**Figura 3.6 Ponderación de impacto en el factor de ponderación**



**Fuente:** Los autores

Toda evaluación de riesgos tiene como objetivo principal dar prioridad a los mismos para comenzar a abordar los de mayor peligrosidad. Para lograr esto, se considera la siguiente tabla 3.6.

**Tabla 3.6 Orden de priorización de riesgos**

<b>Peligrosidad</b>	<b>Percusión</b>
ALTO	ALTO
ALTO	MEDIO
ALTO	BAJO
MEDIO	ALTO
MEDIO	MEDIO
MEDIO	BAJO
BAJO	ALTO
BAJO	MEDIO
BAJO	BAJO

**Fuente:** Los autores

### 3.4.9.3 Ejecución del método William Fine

El departamento de H&S llevará a cabo una evaluación de riesgos, tomando en cuenta estas consideraciones.



- Ordenar los riesgos en orden de importancia y establecer prioridades para las medidas preventivas.
- Se iniciará con un alto nivel de peligrosidad y un impacto significativo.
- Se considerarán riesgos significativos aquellos que tienen un grado de priorización alto, medio y una repercusión alta, media o baja en ese orden.
- Se pueden tomar medidas para reducir el nivel de gravedad.
- Cualquiera de los factores consecuencias, exposición y probabilidad, por lo que variará el orden de importancia.
- Es un criterio ampliamente aceptado para evaluar programas de seguridad o comparar los resultados de programas en circunstancias similares.

En la tabla 3.1 muestra los riesgos asociado al proceso de granallado por ello es importante realizar la ponderación de los riesgos para evaluar las situaciones que son consecuente.

**Tabla 3.7 Ponderación de factores físicos y químicos en el proceso de granallado**

Matriz de riesgos			
Riesgo	Probabilidad	Impacto	Prioridad
Limpieza en el área de trabajo:	Alta	Mayor	Alta
Exposición a ruido	Alta	Mayor	Alta
Lesiones oculares	Alta	Mayor	Alta
Lesiones por vibración	Media	Moderado	Media
Lesiones cutáneas	Media	Moderado	Media
Fatiga y estrés físico	Alta	Moderado	Media

**Fuente:** Los autores

Ahora para las situaciones nombradas en el punto 3.4.9 véase en la tabla 3.8

**Tabla 3.8 Ponderación de situaciones en el proceso de granallado**

Matriz de riesgos			
Riesgo	Probabilidad	Impacto	Prioridad
Inhalación de polvo y partículas	Alta	Mayor	Alta
Control de polvo y residuos	Alta	Mayor	Alta
Exposición a partículas abrasivas	Alta	Mayor	Alta
Riesgo de lesiones por proyección de partículas	Alta	Moderado	Media

**Fuente:** Los autores

Figura 3.7 Niveles de riesgos

		Consecuencias		
		Ligeramente Dañino - LD	Dañino - D	Extremadamente Dañino - ED
Probabilidad	Baja B	Riesgo trivial T	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO
	Media M	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I
	Alta A	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I	Riesgo intolerable IN

Fuente: Universidad Politécnica de Madrid

#### 3.4.9.4 Mejora continua

El cuadro anterior muestra los niveles de riesgos que sirven como base para determinar si se requiere mejorar los controles existentes o crear nuevos, así como para determinar la cronología de las acciones. La figura 3.8 siguiente muestra un criterio propuesto como punto de partida para el proceso de toma de decisiones. Indica que los esfuerzos precisos para el control de los riesgos y la urgencia con la que deben implementarse las medidas de control deben ser proporcionales al riesgo.

**Figura 3.8 Acciones antes riesgos según su gravedad en la ponderacion**

Riesgo	Acción y temporización
Trivial (T)	No se requiere acción específica
Tolerable (TO)	No se necesita mejorar la acción preventiva. Sin embargo se deben considerar soluciones más rentables o mejoras que no supongan una carga económica importante. Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.
Moderado (M)	Se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un periodo determinado. Cuando el riesgo moderado esta asociado con consecuencias extremadamente dañinas, se precisará una acción posterior para establecer, con más precisión, la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.
Importante (I)	No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para controlar el riesgo. Cuando el riesgo corresponda a un trabajo que se está realizando, debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
Intolerable (IN)	No debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo.

**Fuente:** Universidad de Madrid

### **Exposición a Partículas Abrasivas:**

- **Proporcionar EPP adecuado:** Garantizar que los trabajadores tengan acceso a respiradores de calidad que protejan contra la inhalación de partículas abrasivas, así como guantes resistentes y gafas de seguridad para proteger la piel y los ojos.
- **Entrenamiento y concienciación:** Capacitar a los trabajadores sobre los riesgos asociados con la exposición a partículas abrasivas y la importancia de usar correctamente el EPP en todo momento durante el proceso de granallado.
- **Supervisión y aplicación de normativas:** Implementar un sistema de supervisión para garantizar el cumplimiento del uso de EPP y hacer cumplir las regulaciones de seguridad ocupacional pertinentes.

**Proyección de Partículas a Alta Velocidad:**

- ***Barreras físicas y zonas de exclusión:*** Instalar barreras físicas resistentes alrededor del área de granallado para proteger a los trabajadores y a otros presentes de la proyección de partículas a alta velocidad. Establecer zonas de exclusión claramente marcadas para restringir el acceso no autorizado al área de riesgo.
- ***Señalización y advertencias visuales:*** Colocar señales de advertencia visibles en las áreas cercanas al equipo de granallado para alertar a los trabajadores y visitantes sobre el peligro de proyección de partículas y recordarles mantenerse alejados del área designada.
- ***Capacitación en seguridad:*** Capacitar a los trabajadores sobre los protocolos de seguridad y la importancia de respetar las zonas de exclusión y las advertencias de seguridad para prevenir lesiones por proyección de partículas.

**Generación de Polvo y Residuos:**

- ***Sistemas de ventilación y filtración:*** Instalar sistemas de ventilación adecuados en el área de granallado para controlar la dispersión de polvo y partículas abrasivas. Incorporar filtros de aire de alta eficiencia para capturar las partículas finas y minimizar la exposición de los trabajadores al polvo generado.
- ***Mantenimiento preventivo:*** Realizar inspecciones regulares y mantenimiento preventivo en los sistemas de ventilación y filtración para garantizar su correcto funcionamiento y eficacia en la reducción del polvo y los residuos.
- ***Limpieza y gestión de residuos:*** Implementar procedimientos adecuados para la limpieza y gestión de residuos generados durante el proceso de granallado, incluyendo la disposición segura de los desechos y la limpieza regular de las áreas de trabajo para evitar acumulaciones de polvo y residuos.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

El proyecto terminó con éxito al estandarizar una serie de directrices y procedimientos importantes, utilizando un flujo de actividades que abarca desde la preparación previa hasta la fase posterior del proceso de granallado. El método completo permitió la identificación y aplicación de estrategias preventivas efectivas para reducir la exposición de los trabajadores a una variedad de factores químicos y físicos. La estandarización, que se basó en una evaluación cualitativa y cuantitativa exhaustiva de los riesgos relacionados, proporcionó una comprensión completa de los obstáculos y las necesidades particulares del proceso. El desarrollo de estrategias adecuadas que aseguren la seguridad y el bienestar de los trabajadores, al mismo tiempo que cumplan con las normas regulatorias pertinentes, se basó en estos datos.


Como resultado, se estableció una base sólida para la implementación posterior de un equipo estandarizado que se ajusta a las mejores prácticas y cumple con los más altos estándares de seguridad industrial. Este enfoque proactivo y enfocado en la mejora continua pone las bases para un entorno de trabajo más seguro, productivo y de acuerdo con las normas actuales.

Concluyendo un sistema completo de protección y seguridad para los operadores de granallado en la industria naval. Reduciendo la exposición a partículas y ruido, se fomenta un entorno laboral seguro y saludable. El uso de equipos de protección personal, sistemas de ventilación adecuados y procedimientos de trabajo seguros son extremadamente importantes. Esta inversión no solo salvaguarda la salud física de los trabajadores, sino que también aumenta la productividad y la eficiencia al reducir el tiempo de inactividad debido a lesiones. Además, demuestra que las empresas están comprometidas con la seguridad y el bienestar de sus empleados al cumplir con los estándares de salud y seguridad en el lugar de trabajo.

#### **4.1 Procedimientos**

##### **4.1.1 Pre-granallado**

En el procedimiento se observará las responsabilidades, procedimientos, documentación y anexos que permiten un óptimo lugar para realizar el proceso de granallado, tanto el analista de seguridad y el operador deben tener claro cuáles son sus objetivos y alcances. El formato del procedimiento en el anexo A.

	Proceso de Granallado	Versión	01
	GRANALLADO-PRO-A	Fecha	2024-03-14
	Pre-Granallado	Responsable	
		Analista de seguridad & Supervisor H&S & Operadores	
Objetivo	Evaluar la viabilidad y seguridad del área de trabajo para el proceso de granallado.		
Alcance	Desde la evaluación inicial del área de trabajo hasta la autorización para comenzar el proceso de granallado.		
Responsable			
Roles y cargo	Actividades		
Analista de Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar una evaluación inicial del área de trabajo mediante un ART.</li> <li>Identificar posibles riesgos y peligros asociados al proceso de granallado.</li> <li>Recomendar medidas preventivas para mitigar los riesgos identificados.</li> <li>Supervisar la implementación de las medidas de seguridad recomendadas</li> </ul>		
Supervisor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Supervisar la preparación adecuada de la superficie y la selección del abrasivo.</li> <li>Verificar la configuración correcta del equipo de granallado.</li> <li>Coordinar pruebas preliminares para asegurar el funcionamiento adecuado del equipo.</li> </ul>		
Operadores de Granallado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Participar en la preparación de la superficie y la selección del abrasivo.</li> <li>Asegurar el uso adecuado del equipo de protección personal durante el proceso.</li> <li>Realizar pruebas preliminares bajo la supervisión del supervisor.</li> </ul>		
Procedimientos			
<p>En la fase inicial, el Analista de Seguridad se encarga de realizar una evaluación exhaustiva del área de trabajo mediante un ART. Este análisis identifica cualquier riesgo potencial asociado con el proceso de granallado. Posteriormente, el Analista recomienda medidas preventivas específicas para mitigar estos riesgos, asegurando así un entorno seguro para los operadores y el equipo.</p> <p>Por otro lado, el Supervisor supervisa de cerca la implementación de estas medidas preventivas, garantizando que se lleven a cabo correctamente. Además, coordina la preparación adecuada de la superficie y la selección apropiada del abrasivo. También se encarga de verificar la configuración correcta del equipo de granallado y de coordinar pruebas preliminares para asegurar su correcto funcionamiento. Mientras tanto, los Operadores de Granallado participan activamente en la preparación y ejecución del proceso, asegurándose de seguir las indicaciones del Supervisor y usar correctamente el equipo de protección personal proporcionado.</p> <p>Una vez que se han completado todas estas actividades y se ha confirmado que se han abordado los riesgos identificados, el Analista de Seguridad autoriza formalmente el inicio del proceso de granallado. Este</p>			

procedimiento garantiza que se tomen todas las precauciones necesarias para proteger la seguridad de los trabajadores y el éxito del proceso de granallado.	
Documentos	
1. ART	
Anexos	
1. Formato de ART para proceso de granallado	
APROBADO POR:	FIRMA
	Jefe de dep. H&S o delegado
	Departamento H&S


#### 4.1.1.1 ART para pre-granallado

DATOS GENERALES		
PROCESO: GRANALLADO-PRO-A	Fecha	14/03/202 4
	Tipo de tarea	
Tarea	Rutinaria	No rutinaria
Preparación de superficies con Granallado	X	
ANALISIS ART		
Actividad	Riesgo principal o existente	Medida preventiva / comportamiento seguro
Armado de andamios previo a trabajos en altura	Golpes, atrapamiento entre objetos, caída al mismo nivel, Caídas a distinto nivel	Permisos de trabajo FOR-USP-018 (correcto armado del andamio, implementos de seguridad), señalización del área.
Revisión de equipos de presión, acoples, mangueras de alta presión	Golpes, obstáculos en piso, ruptura de manguera a presión	Orden y limpieza del área de trabajo, purgado de los equipos de presión cuando se realice la revisión de la manguera.
Subir a la pasarela para aplicación actividad de Granallado	Trabajo en alturas, golpes, caída de objetos	Elaboración de permiso de trabajo, uso de arnés de seguridad con eslinga de amortiguación, DPS, toma de Signos vitales
Limpieza de superficie con chorro de Granalla y aire presurizado	Corte, caída de objetos, trabajo en alturas, ruido, proyección de	Permisos de trabajo, señalización del área, uso de protección auditiva, traje para

	partículas a alta presión, polvo inorgánico	granallado, uso de arnés tipo paracaídas, chequeo de signos vitales.		
Equipos de protección y elementos de seguridad requeridos para esta actividad				
Casco	<input checked="" type="checkbox"/>	Calzado de Seguridad	Punta de acero	<input checked="" type="checkbox"/>
Guantes	<input checked="" type="checkbox"/>	Gafas de seguridad		<input checked="" type="checkbox"/>
Delantal de	<input type="checkbox"/>	Respirador	Full face / 6800	<input checked="" type="checkbox"/>
Mascarilla	<input type="checkbox"/>	Filtro	6300	<input checked="" type="checkbox"/>
Mangas de Cuero	<input type="checkbox"/>	Arnés Tipo Paracaídas		<input checked="" type="checkbox"/>
Traje de Pintura	<input type="checkbox"/>	Eslingas absorbentes de impacto		<input checked="" type="checkbox"/>
Traje de Neopreno	<input type="checkbox"/>	Protección Auditiva		<input checked="" type="checkbox"/>
Barbiquejo	<input type="checkbox"/>	Barrera vial / Señalizador tubular		<input type="checkbox"/>
Capucha	<input type="checkbox"/>	Cinta de Señalización		<input checked="" type="checkbox"/>
Protector Facial	<input checked="" type="checkbox"/>	Traje de hidroblasting		<input type="checkbox"/>
Careta de Soldar	<input type="checkbox"/>	Traje de Sandblasting		<input checked="" type="checkbox"/>
Otros	<input type="checkbox"/>	Otros		<input type="checkbox"/>
Responsable tarea			Jefe de dep. H&S o delegado	



### 4.1.2 Granallado

	Proceso de Granallado	Versión	01
	GRANALLADO-PRO-B	Fecha	2024-03-14
	Granallado	Responsable	
		Supervisor H&S & Operadores	
Objetivo	Realizar el proceso de granallado de manera eficiente y segura, garantizando la calidad del acabado y cumpliendo con los requisitos del trabajo aprobado.		
Alcance	Desde la aprobación del trabajo por parte del Supervisor de seguridad hasta la finalización del proceso de granallado y la entrega del material tratado.		
Responsable			
Roles y cargo	Actividades		
Supervisor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Supervisar la carga adecuada del abrasivo en el equipo y verificar su correcto funcionamiento.</li> <li>Coordinar la operación del equipo de granallado, asegurando un flujo de trabajo eficiente y seguro.</li> <li>Monitorear continuamente el proceso de granallado para garantizar la calidad y uniformidad del acabado.</li> <li>Realizar ajustes en la configuración del equipo según sea necesario para optimizar el rendimiento.</li> </ul>		
Operadores de Granallado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operar el equipo de granallado de acuerdo con las instrucciones proporcionadas por el supervisor.</li> <li>Asegurar la alimentación constante de material a través del equipo y mantener un ritmo de trabajo constante.</li> <li>Inspeccionar regularmente la calidad del acabado y reportar cualquier anomalía al supervisor de inmediato.</li> <li>Cumplir estrictamente con los procedimientos de seguridad y uso de equipo de protección personal en todo momento.</li> </ul>		
Procedimientos			
<p>En la etapa de granallado, el Supervisor lidera la ejecución del proceso, asegurando un manejo seguro y eficiente. Primero, supervisa la carga adecuada del abrasivo en la máquina de granallado y verifica la configuración correcta de la presión y el flujo de abrasivo. A continuación, coordina las actividades de los Operadores de Granallado para garantizar un flujo de trabajo continuo y seguro. Durante el proceso, los Operadores de Granallado trabajan diligentemente, aplicando el granallado de manera uniforme y precisa sobre la superficie del material. Siguen estrictamente los procedimientos de seguridad establecidos, incluyendo el uso adecuado del equipo de protección personal y la atención a las señales y advertencias de seguridad.</p>			

El Supervisor supervisa de cerca el progreso del trabajo, asegurando que se mantenga la calidad y eficacia del granallado. Además, está atento a cualquier anomalía en el proceso y toma medidas correctivas inmediatas si es necesario. Durante todo el proceso, se mantiene una comunicación fluida entre el Supervisor y los Operadores para abordar cualquier problema o consulta que pueda surgir. Una vez completado el granallado y confirmada la calidad del acabado, el Supervisor coordina el apagado seguro de la máquina de granallado y la limpieza adecuada del área de trabajo. Este procedimiento garantiza un proceso de granallado efectivo y seguro, cumpliendo con los estándares de calidad y seguridad establecidos.

Documentos


1. Permiso de trabajo por parte del analista de seguridad

Anexos

No requiere Anexos

APROBADO POR:	FIRMA
	Jefe de dep. H&S o delegado
	Departamento H&S

### 4.1.3 Post Granallado

	Proceso de Granallado	Versión	01
	GRANALLADO-PRO-C	Fecha	2024-03-14
	Post-Granallado	Responsable	
		Supervisor H&S & Operadores	
Objetivo	Identificar posibles riesgos residuales y áreas de mejora en los procedimientos de ejecución del granallado para garantizar un ambiente de trabajo seguro y prevenir accidentes o incidentes		
Alcance	Desde la finalización del proceso de granallado hasta la revisión y análisis de los procedimientos de ejecución, incluyendo la identificación de puntos críticos y la propuesta de mejoras para optimizar la seguridad en futuras operaciones de granallado.		
Responsable			
Roles y cargo	Actividades		
Supervisor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar una inspección exhaustiva del área de trabajo después del proceso de granallado.</li> <li>Identificar posibles riesgos residuales, como residuos de abrasivo o áreas de superficie irregular.</li> <li>Revisar los procedimientos de ejecución del granallado para identificar áreas de mejora en cuanto a seguridad.</li> <li>Coordinar reuniones con el equipo de granallado para discutir los hallazgos y proponer medidas correctivas.</li> <li>Documentar los puntos críticos y las recomendaciones de mejora en los procedimientos de ejecución.</li> </ul>		
Operadores de Granallado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colaborar con el Supervisor de Seguridad durante la inspección post-granallado para identificar riesgos residuales.</li> <li>Participar en las reuniones para discutir y analizar los hallazgos de seguridad.</li> <li>Implementar las medidas correctivas propuestas para mejorar la seguridad en el proceso de granallado.</li> <li>Reportar cualquier incidente o riesgo potencial detectado durante la operación post-granallado.</li> </ul>		
Procedimientos			
<p>Tras la finalización del proceso de granallado, el Supervisor de Seguridad lidera una inspección detallada del área de trabajo para identificar posibles riesgos residuales. Durante esta inspección, se examinan cuidadosamente áreas críticas en busca de residuos de abrasivo, superficies irregulares u otros peligros potenciales que puedan haber surgido durante el proceso. Esta evaluación exhaustiva proporciona una visión completa de la seguridad del entorno post-granallado.</p>			

Posteriormente, se convocan reuniones con el equipo de granallado para revisar los hallazgos y proponer medidas correctivas. En estas sesiones, se discuten los puntos críticos identificados y se formulan recomendaciones para mejorar los procedimientos de ejecución del granallado. Los Operadores de Granallado colaboran estrechamente durante este proceso, participando en la implementación de las medidas correctivas propuestas y reportando cualquier incidente o riesgo potencial detectado durante la operación post-granallado. Este enfoque proactivo garantiza un proceso de granallado más seguro y eficiente en el futuro.	
Documentos	
Documentación pertinente	
Anexos	
No requiere Anexos	
APROBADO POR:	FIRMA
	Jefe de dep. H&S o delegado
	Departamento H&S

#### 4.1.4 Análisis de costos

Se llevó a cabo un exhaustivo análisis de costos, abarcando tanto los costos directos como los indirectos, con el fin de evaluar la viabilidad financiera de la implementación de un equipo estandarizado. Este análisis se realizó en concordancia con las normativas pertinentes véase en el anexo A, considerando aspectos regulatorios y de calidad.

##### 4.1.4.1 Costos directos

La tabla 4.1 presenta los costos directos para una posible implementación de un equipo de protección para granallado

**Tabla 4.1 Costos directos del equipo de protección**

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Precio
			unitario	total
Protector de plástico facial	Unidad	1	\$2,40	\$2,40
Traje de protección para pintar	Unidad	1	\$8,16	\$8,16
Par de guantes flexibles para maniobras especiales	Unidad	1	\$1,50	\$1,50
Protector de oídos tipo tapón	Unidad	1	\$0,91	\$0,91
Casco de protección	Unidad	1	\$16,29	\$16,29
Retenedor de polvo y neblina	Unidad	1	\$7,26	\$7,26
			<b>TOTAL</b>	\$36.52

**Fuente:** Los autores

## CONCLUSIONES

En el ámbito de la seguridad laboral y la salud ocupacional, la protección completa de los operadores frente a la exposición y los efectos del granallado en la industria naval es un tema crucial. Se ha logrado un gran avance hacia este importante objetivo a través de la investigación actual. Se han identificado los peligros relacionados con la exposición de partículas durante el proceso de granallado mediante una evaluación cuantitativa y cualitativa exhaustiva. Esto proporciona una base sólida para abordar estos problemas.

La identificación y estandarización de medidas preventivas particulares constituyen un hito significativo en el camino hacia la protección completa de los operadores. Estas medidas tienen como objetivo reducir la exposición de los trabajadores a elementos químicos y físicos durante el proceso de granallado, lo que resulta en un entorno de trabajo más seguro y saludable. Esta estandarización mejora la seguridad en el lugar de trabajo y la eficiencia operativa y el cumplimiento de las regulaciones.

La preparación para la implementación de un equipo estandarizado que cumpla con las regulaciones regulatorias para reducir la exposición durante el proceso de granallado es otro avance significativo. El pre-granallado, el granallado y el post-granallado proporcionan una base sólida para garantizar la seguridad y la eficacia en todas las etapas del proceso. Se han logrado sus metas, lo que demuestra un compromiso firme con la protección y el bienestar de los empleados. Se llevó a cabo una evaluación cuantitativa y cualitativa exhaustiva de los riesgos relacionados con el proceso de granallado. Como resultado, se identificaron y estandarizaron medidas preventivas específicas para reducir la exposición de los trabajadores a elementos químicos y físicos, lo que mejoró la seguridad en el lugar de trabajo. la preparación para la puesta en marcha de un equipo estandarizado junto con regulaciones regulatorias para un proceso de granallado más seguro y de acuerdo con los estándares de la industria.

El resultado es una mejora significativa de las condiciones laborales y una reducción significativa de los riesgos para los operadores, lo que consolida un entorno de trabajo más seguro y saludable en la industria naval.

## RECOMENDACIONES

- En las áreas de trabajo donde se realiza el granallado, implementar un programa de monitoreo continuo de la calidad del aire para detectar niveles de partículas y otros contaminantes, y tomar medidas correctivas rápidamente si se superan los límites permitidos.
- proporcionar a los operadores capacitación exhaustiva y regular sobre los riesgos del granallado, así como sobre el uso adecuado del equipo de protección personal (EPP) y las medidas de seguridad establecidas para reducir la exposición a los peligros.
- Establezca un sistema de retroalimentación y comunicación efectivo entre los operadores, los supervisores y el equipo de seguridad para reportar incidentes, identificar problemas potenciales y sugerir mejoras en los procedimientos de granallado.
- Promover una cultura de seguridad en el lugar de trabajo mediante el reconocimiento y la recompensa de buenas prácticas de seguridad y la participación activa de los empleados en la identificación y resolución de problemas relacionados con la seguridad.
- Realizar evaluaciones regulares de riesgos y revisiones de procedimientos para adaptarse a cambios en tecnología, materiales y regulaciones, asegurándose de que los estándares de seguridad sean actualizados y mejorados para proteger la salud y el bienestar de los trabajadores.

## BIBLIOGRAFIA

- BATALLA, C., BAUTISTA, J., & ALFARO , R. (2015). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA - BARCELONATECH.
- BELLOSO, & FLAMENGO. (2014). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE GRANALLADO PARA USO DIDÁCTICO. CIUDAD UNIVERSITARIA: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
- CALLISAYA MAMANI, F. (2023). CONTAMINANTES GENERADOS DURANTE EL GRANALLADO.
- CASTILLO CABRERA, J. S., & VACA LOPEZ, J. F. (2017). PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR.
- CISNEROS-FLORES, G. R. (2022). DETERMINACIÓN DEL SISTEMA BASE PARA EL ANÁLISIS DE RECUPERACIÓN DE PLATA MEDIANTE EL ION TIOSULFATO EMPLEANDO REACTIVOS DE ALTA PUREZA: NITRATO DE PLATA, CLORURO DE PLATA Y GRANALLA METÁLICA. TÓPICOS DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DE LA TIERRA Y MATERIALES.
- CONTRERAS , S. (2018). ISO 45001 DE GESTIÓN DE LA SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO. REVISTA MENSUAL DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CALIDAD.
- CORREA, Q., & AGUILAR, M. (2019). MÉTODO WILLIAM FINE.
- CYM. (2014). INTRODUCCIÓN GENERAL AL GRANALLADO.
- CYM. (2018). GRANALLADO- NORMAS DE PREPARACION DE SUPERFICIES. CYM. MATERIALES S.A., 1-7.
- DIAZ , A., ALVAREZ , C., VALERIANO, J., ORTEGA , L., & DE ARRIBA. (2017). VALORACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DEL USO DE RESIDUOS SIDERÚRGICOS EN SUSTITUCIÓN DE ARENA DE SÍLICE.
- HENAO ROBLEDO, F. (2014). RIESGOS ELÉCTRICOS Y MECÁNICOS. BOGOTÁ: ECOE.
- HENAO ROBLEDO, F. (2015). RIESGOS QUÍMICOS. BOGOTÁ: ECOE EDICIONES.
- LEDESMA, C., & MARIZA, Z. (2019). PROCEDIMIENTO DE CONTROL, EN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL DE ESTRUCTURAS DE ACERO, EN CONSORCIO GRANALLADO AZOLER S.A.C.

- MARTINEZ, SOTO, & ORTIZ. (2020). GRANALLADO POR CHORRO DE AIRE COMPRIMIDO SOBRE LA SUPERFICIE INTERNA DE UN ELEMENTO TUBULAR AUTOMOTRIZ. MEMORIAS DEL XXVI CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM, 1-10.
- MUÑOZ , A., RODRÍGUEZ HERRERÍAS, J., & MARTÍNEZ VAL, J. M. (2013). LA SEGURIDAD INDUSTRIAL FUNDAMENTOS Y APLICACIONES.
- PÉREZ HIDALGO , R. (2021). DISEÑO DE MAQUINA GRANALLADORA. PREVENCIÓN Y GESTIÓN DE RIESGOS. (2019).
- RAFFO LECCA, E., RÁEZ GUEVARA, L., & CACHAY BOZA, O. (2013). RIESGOS PSICOSOCIALES.
- RAICHEV, R., VELEVA , L., & VALDEZ , B. (2009). CORROSIÓN DE METALES Y DEGRADACIÓN DE MATERIALES. UABC.
- RODRÍGUEZ, M., & JOSE ANTONIO. (2019). MEJORAMIENTO CON GRANALLA MINERAL EN SUBRASANTE DE SUELOS ARCILLOSOS EN LA CARRETERA TOCACHE – JUANJUI, KM: 39+010.
- WATANABE, T. M. (2005). EL PROCESO DEL GRANALLADO. OBTENIDO DE INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO TUPY LTDA.



## ANEXO

### Anexo A: Norma ISO 14877:2018

#### **OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN**

*Esta norma especifica los requisitos mínimos y los métodos de ensayo para la ropa de protección y los protectores de las manos, empleados en las operaciones de proyección de abrasivos granulares, impulsados mediante aire comprimido o mediante medios mecánicos, para el tratamiento de superficies. La protección contra las sustancias producidas durante las operaciones abrasivas, así como la conexión entre la ropa de protección y los dispositivos de protección respiratoria, también están cubiertas por esta norma.*

*Esta norma europea no es aplicable a las operaciones abrasivas mediante abrasión con vapor, chorreo o mediante llamas.*

#### **NORMAS PARA CONSULTA**

*Esta norma europea incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Para las referencias con fecha, no son aplicables las revisiones o modificaciones posteriores de ninguna de las publicaciones. Para las referencias sin fecha, se aplica la edición en vigor del documento normativo al que se haga referencia (incluyendo sus modificaciones).*

- *EN 270:1994 Equipos de protección respiratoria. Equipos de protección respiratoria con línea de aire comprimido con capuz incorporado. Requisitos, ensayos, marcado.*
- *EN 271 Equipos de protección respiratoria. Equipos de protección respiratoria aislantes con línea de aire comprimido o con manguera de aire fresco de ventilación asistida con capuz utilizados para las operaciones de proyección de abrasivos. Requisitos, ensayos, marcado.*
- *EN 340 Ropas de protección. Requisitos generales.*
- *EN 388:1994 Guantes de protección contra riesgos mecánicos.*
- *EN 420:1994 Requisitos generales para los guantes.*
- *EN 466:1995/A1 Ropas de protección. Protección contra productos químicos líquidos. Requisitos de prestaciones de las ropas de protección química con uniones herméticas a los líquidos entre las diferentes partes de la ropa (equipos de tipo 3).*

- *EN 530 Resistencia a la abrasión de los materiales de la ropa de protección. Métodos de ensayo.*
- *EN 863 Ropas de protección. Propiedades mecánicas. Método de ensayo: Resistencia a la perforación.*
- *ISO 1421 Tejidos recubiertos de plástico o caucho. Determinación de la resistencia a la tracción y del alargamiento en la rotura.*
- *ISO 3175-2 Textiles. Limpieza en seco y acabado. Parte 2: Procedimientos operatorios para tetracloroetileno.*
- *ISO 3758 Textiles. Código de etiquetado de limpieza usando símbolos.*
- *ISO 4674 Tejidos recubiertos de plástico o caucho. Determinación de la resistencia al desgarro.*
- *ISO 6330 Textiles. Procedimientos de lavado y de secado domésticos para los ensayos de textiles.*
- *EN ISO 13934-1 Textiles. Propiedades de los tejidos frente a la tracción. Parte 1: Determinación de la fuerza máxima y del alargamiento a la fuerza máxima por el método de la tira.*
- *EN ISO 13934-2 Textiles. Propiedades de los tejidos frente a la tracción. Parte 2: Determinación de la fuerza máxima por el método del agarre.*
- *EN ISO 13937-2 Textiles. Propiedades de los tejidos frente al desgarro. Parte 2: Determinación de la fuerza de desgarro de probetas con forma de pantalón.*