



Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Naval y Oceánica

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de
Ingeniería Naval y Oceánica

Identificación de elementos de mejora en los resultados de las inspecciones de construcciones soldadas en el sector naval.

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Autor: Francisco José Navarro Muñoz
Director: Dr. Carlos Mascaraque Ramírez
Codirector: Dr. Juan José Hernández Ortega

Cartagena, marzo 2024

MIEMBRO DE 

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a los directores de este trabajo, al Dr. Carlos Mascaraque Ramírez y al Dr. Juan José Hernández Ortega, por prestarme su tiempo, ayudarme cuando lo necesitaba y guiarme en este camino. Es un honor, haber contado con sus consejos y haber trabajado con dos profesionales de los pies a la cabeza.

En segundo lugar, quiero agradecer a mis padres y mi hermana, por prestarme su apoyo cuando lo necesitaba, por confiar en mí y animarme a seguir adelante.

Como broche final, quiero agradecer a Laura, por estar siempre al lado cuando lo necesitaba, por su amor, su ayuda y su infinito apoyo durante esta etapa. Sin ella y mi familia nada de esto habría sido posible.

RESUMEN

Dentro de la construcción naval realizada en los grandes astilleros de buques metálicos tienen especial importancia las uniones soldadas realizadas para la construcción del casco resistente del buque y sobre el casco resistente. Los procesos de soldeo y las uniones soldadas son clave para asegurar la integridad estructural del buque, estando calificada la soldadura como proceso especial por las normativas de aseguramiento de la calidad. Sobre ellos, ha de realizarse un seguimiento y un control tanto antes, como durante y después de la ejecución de la unión soldada. Entre las distintas figuras profesionales que intervienen en la soldadura se encuentra la de los Inspectores de Construcciones Soldadas, que en España vienen regulados por la norma UNE 14618.

Con este trabajo se pretende identificar factores que mejoren el proceso de inspección, así como mejorar el propio proceso de soldadura, para proporcionar a los astilleros un incremento en la productividad y por lo tanto una mejora en su competitividad dentro de un sector ampliamente globalizado. El objetivo final es proponer medidas potenciadoras orientadas a una mejora en los procesos de soldeo y en las labores relacionadas con ellos.

ABSTRACT

In the large shipyards where steel ships are built, welded construction carried out for the construction of the resistant hull are really important. Welding processes are vital to ensure the structural integrity of the ship, and quality assurance regulations define welding as a special process. It is necessary to control the welding processes before, during and after the execution of the welding. Among the different professionals involved in welding processes, welding inspector stand out, who in Spain are regulated by the standard UNE 14618.

This work aims to identify factors that improve the inspection process, as well as improve the welding process itself, in order to provide shipyards with an increase in productivity and an improvement in their competitiveness within the naval sector. The main purpose is to propose potential actions that improve welding and inspection processes.

Índice de contenido

AGRADECIMIENTOS	1
RESUMEN	3
ABSTRACT.....	3
Capítulo 1. Introducción	13
1.1. Objetivos.....	15
1.2. Resumen de los capítulos	16
1.3. Planificación del trabajo	16
Capítulo 2. Estado del arte.....	19
2.1. Uniones soldadas	21
2.1.1. Soldadura por arco manual con electrodo revestido (SMAW).....	21
Corriente de soldeo	22
Longitud del arco	22
Velocidad de desplazamiento	22
2.1.2. Soldadura por arco sumergido (SAW).....	23
2.1.3. Soldadura por arco con gas protector y electrodo no consumible (GTAW-TIG)	
.....	24
2.1.4. Soldadura por arco con gas protector y electrodo consumible (GMAW)	26
2.1.5. Soldadura por resistencia (ERW)	28
2.2. Tipos de defectos en las uniones soldadas.....	28
2.2.1. Grietas.....	29
2.2.2. Cavidades.....	30
2.2.3. Inclusiones sólidas	30
2.2.4. Falta de fusión o penetración	31
2.2.5. Defectos de forma.....	32
2.3. Inspecciones de las uniones soldadas	33
Antes del soldeo.....	33
Durante el soldeo	33
Después del soldeo.....	33
2.4. Ensayos de inspección de soldadura	34
2.4.1. Inspección visual.....	35
2.4.2. Líquidos penetrantes	36
2.4.3. Partículas magnéticas.....	37
2.4.4. Ultrasonidos	40
2.4.5. Radiografías	42
2.4.6. Mejoras actuales en los métodos de inspección.....	44
Capítulo 3. Modelo de hipótesis.....	49

3.1. Constructos. Descripción.....	51
3.1.1. Formación del inspector y soldador.....	52
3.1.1.1. Formación del inspector.....	52
Tareas del Inspector de Construcciones Soldadas de nivel I.....	53
Tareas del Inspector de Construcciones Soldadas de nivel II.....	53
Tareas del Inspector de Construcciones Soldadas de nivel III.....	54
3.1.1.2. Formación del soldador.....	55
3.1.2. Digitalización.....	56
3.1.3. Condiciones de trabajo.....	57
3.1.4. Resultados de la calidad de las uniones soldadas.....	61
3.1.5. Resultados de las inspecciones de soldadura.....	63
Ejemplo 1.....	64
3.2. Presentación del modelo.....	65
Capítulo 4. Metodología PLS-SEM.....	70
4.1. Modelos de ecuaciones estructurales.....	72
4.2. La modelización PLS y su representación gráfica.....	73
4.2.1. Modelización PLS.....	73
4.2.2. Representación gráfica del método PLS.....	74
Capítulo 5. Técnicas de recopilación de datos.....	77
5.1. Población objeto de estudio.....	79
5.2. Recogida de información.....	80
5.2.1. Proceso de recogida de datos.....	80
5.2.2. Descripción del cuestionario.....	81
5.2.2.1 Orden y diseño.....	81
5.2.2.2. Características de las preguntas.....	82
5.2.2.3. Elaboración del cuestionario.....	83
Capítulo 6. Resultados.....	89
6.1. Adecuación de los datos para SmartPLS.....	91
6.2. Creación de un nuevo proyecto en <i>SmartPLS</i>	96
6.3. Evaluación del modelo reflectivo. Cálculo de PLS-SEM Algotihm.....	98
Cálculo PLS-SEM Algorithm.....	98
Evaluación del modelo de medición Reflectivo.....	101
6.4. Evaluación del modelo de medición Formativo.....	105
6.5. Evaluación del modelo estructural o interno.....	108
6.5.1. Cálculo Bootstraping.....	108
6.5.2. Evaluación del modelo interno o estructural.....	111
Capítulo 7. Disposición de resultados e implicaciones para el sector.....	117

7.1.	Disposición de los resultados	119
7.2.	Implicaciones para el sector	122
	Recomendaciones	122
Capítulo 8. Conclusiones		125
Capítulo 9. Líneas futuras de investigación.....		129
Bibliografía		133

Índice de imágenes

Imagen 1. 1. Esquema de los objetivos principal y secundarios	15
Imagen 1. 2. Planificación inicial del proyecto.	17
Imagen 1. 3. Avance real del proyecto.	18
Imagen 2. 1. Procedimiento de soldadura por arco manual con electrodo revestido.	21
Imagen 2. 2. Procedimiento de soldadura por arco sumergido SAW.	23
Imagen 2. 3. Procedimiento de soldadura GTAW-TIG.	25
Imagen 2. 4. Procedimiento de soldadura MIG/MAG.	26
Imagen 2. 6. Fisura ramificada.	29
Imagen 2. 5. Fisura longitudinal.	29
Imagen 2. 8. Rechupe de cráter.	30
Imagen 2. 7. Poros vermiculares.	30
Imagen 2. 9. Inclusiones de flux	31
Imagen 2. 11. Exceso de penetración.	32
Imagen 2. 10. Desalineación de la soldadura	32
Imagen 2. 12. Fundamento del método de líquidos penetrantes.	36
Imagen 2. 13. Magnetización longitudinal.	38
Imagen 2. 14. Magnetización circular.	38
Imagen 2. 15. Magnetización local.	39
Imagen 2. 16. Equipo de medición de ultrasonidos.	41
Imagen 2. 17. Palpador angular.	41
Imagen 2. 18. Falta de fusión vista en la radiografía de una soldadura.	43
Imagen 2. 19. Inspección por ultrasonidos Phased Array (PAUT).	45
Imagen 2. 20. Máquina de tomografía computarizada.	47
Imagen 3. 1. Constructos teóricos. Fuente: elaboración propia.	51
Imagen 3. 12. Representación gráfica del modelo de hipótesis y las partes que lo componen.	69
Imagen 4. 1. Modelo de dos constructos.	75
Imagen 5. 1. Población objetivo.	79
Imagen 5. 2. Elementos para el diseño de encuestas.	82
Imagen 5. 3. Hoja de Excel donde se desarrollaron las preguntas del cuestionario.	84
Imagen 5. 4. Vista del inicio del cuestionario.	85
Imagen 5. 5. Hoja de Excel que se obtiene de Google Formularios con todas las respuestas del cuestionario	87
Imagen 6. 1. Eliminación de la marca temporal en el Excel de datos.	91

Imagen 6. 2. Adecuación de las repuestas de las preguntas de control.....	92
Imagen 6. 3. Codificación de las preguntas.	92
Imagen 6. 4. Cálculo del promedio, desviación típica, valor mínimo y valor máximo de las respuestas por persona.....	93
Imagen 6. 5. Respuestas de una persona con varias preguntas sin responder.....	93
Imagen 6. 6. Aproximación de la respuesta de una pregunta sin contestar por aproximación a la media.	94
Imagen 6. 7. Hoja Excel de resultados adecuada para importar a SmartPLS.	95
Imagen 6. 8. Modelo de hipótesis dibujado en el programa SmartPLS.	97
Imagen 6. 9. Icono para calcular PLS-SEM algorithm.	98
Imagen 6. 10. Configuraciones que hay que marcar para calcular PLS-SEM algorithm.	99
Imagen 6. 11. Informe de resultados tras el cálculo PLS-SEM algorithm.....	100
Imagen 6. 13. Ejemplo de modelo reflectivo: relación entre constructo endógeno y sus indicadores.	101
Imagen 6. 14. Gráfico de barras de los valores AVE.....	103
Imagen 6. 15. Gráfico de barras de los valores Cronbach's Alpha.....	104
Imagen 6. 16. Gráfico de barras de los valores rho*a.....	104
Imagen 6. 17. Gráfico de barras de los valores rho*c.....	105
Imagen 6. 18 Ejemplo de modelo formativo: relación entre el indicador y su constructo formativo.	105
Imagen 6. 19. Herramienta para calcular Bootstraping.....	108
Imagen 6. 20. Menú de configuración para el cálculo Bootstraping.....	109
Imagen 6. 21. Valores p del proceso de bootstraping en la ventana de modelado.....	110
Imagen 7. 1. Valores sample mean (M) de los Total Effects.	120

Índice de tablas

Tabla 2. 1. Métodos no destructivos aplicados en la detección de defectos.	48
Tabla 3. 1. Duración de la formación de ICS.	52
Tabla 4. 1. Organización de los métodos multivariantes. Fuente: Hair, Hult, Ringle y Sarstedt (2017, p.2)	73
Tabla 5. 1. Encabezado de la tabla utilizada para clasificar las preguntas del cuestionario. ...	83
Tabla 6. 1. Número de iteraciones para la convergencia del algoritmo de PLS_SEM	100
Tabla 6. 4. Tabla de resultados de los Outer loadings para el cálculo PLS Algorithm.....	102
Tabla 6. 5. Valores para la fiabilidad y validez de los constructos.	103
Tabla 6. 6. Valores VIF de todos los indicadores.	106
Tabla 6. 7. Resultados de las cargas externas para el cálculo de Bootstrapping.....	107
Tabla 6. 8. Valores VIF del modelo interno o estructural.....	111
Tabla 6. 9. Valores medios de path coefficient, errores estándar, valores t, valores p y significancia.	112
Tabla 6. 10. Valores medios de total effects, errores estándar, valores t, valores p y significancia.	113
Tabla 6. 11. Valores R2 de los constructos formativos.....	113
Tabla 6. 12. Valores de f2 para las combinaciones de constructos endógenos y exógenos correspondientes.....	114
Tabla 6. 13. Valores para la fiabilidad y validez de los constructos.	115
Tabla 7. 1. Comparación de los efectos directos y totales que tienen los constructos exógenos sobre los endógenos.	121

Capítulo 1. Introducción

1.1. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo consiste en identificar una serie de factores que mejoren los resultados obtenidos en los procesos de inspección de construcciones soldadas realizadas en los astilleros, así como mejorar el propio proceso de soldadura. Una vez identificados los factores se propondrán medidas potenciadoras orientadas a mejorar los procesos de soldeo e inspección.

Los objetivos secundarios del presente trabajo son:

Conocer el estado del arte tanto de las técnicas de soldadura, como de los métodos de inspección de uniones soldadas, empleados en el sector naval.

Diseñar una encuesta como técnica de recopilación de datos. Para ello será necesario definir las preguntas adecuadas que nos permitan sacar la información necesaria, definir la población objeto de estudio y, posteriormente, enviar la encuesta a dicha población objetivo.

Crear un modelo de hipótesis, definiendo constructos teóricos (idea que se quiere comparar para crear una teoría) y relaciones entre ellos. De esta manera, se hacen hipótesis que, posteriormente, se analizarán para saber si se cumplen o no.

Conocer la metodología PLS-SEM con el fin de implementarla a través del programa estadístico SmartPLS y poder analizar las respuestas de las encuestas.

Utilizar el programa SmartPLS como herramienta para analizar las respuestas obtenidas de las encuestas y evaluar los resultados sacando conclusiones y relaciones entre constructos.

Proponer líneas futuras de investigación.



Imagen 1. 1. Esquema de los objetivos principal y secundarios.

(Fuente: elaboración propia)

1.2. Resumen de los capítulos

Con el fin de conseguir estos objetivos, se ha estructurado el presente trabajo en una serie de capítulos, los cuales pasan a resumirse a continuación:

En primer lugar, se estudia el estado del arte de la soldadura, haciendo un repaso de las uniones soldadas que se emplean en el sector naval, los tipos de defectos que aparecen en ellas, los ensayos de inspección para detectarlos y de las inspecciones en general.

En segundo lugar, se describe el modelo de hipótesis utilizado para el estudio. Se describen los diferentes constructos que lo forman y presenta el modelo gráfico.

En el capítulo 4 se explica la metodología PLS-SEM empleada para estudiar el modelo de hipótesis y sacar conclusiones. Se estudia qué son los modelos de ecuaciones estructurales, así como la modelización PLS y cómo representar gráficamente el método PLS.

A continuación, en el capítulo 5, se abarca la recopilación de datos para el estudio. Por un lado, se presenta a la población objeto de estudio y, por otro lado, se explica el proceso de recogida de información donde se describe el cuestionario utilizado.

Una vez terminado el proceso de recogida de datos, en el capítulo 6 se explica el proceso de obtención de resultados, es decir, la importación de los datos en el programa *SmartPLS*, la definición del modelo de hipótesis en el programa, así como el cálculo y obtención de los resultados.

Después, se analizan los resultados obtenidos y se ven las implicaciones para el sector naval.

En el capítulo 8, se disponen las conclusiones extraídas de todo el trabajo, comentando los resultados obtenidos y las problemáticas encontradas durante la realización del proyecto.

Finalmente, en el capítulo 9, se proponen líneas futuras de investigación.

1.3. Planificación del trabajo

La diferencia entre la planificación inicial y la planificación real de un proyecto radica en la discrepancia entre las expectativas y la realidad. Es por ello que, a continuación, se muestra la planificación inicial que se hizo del proyecto (Imagen 1) y la planificación real que se ha ido haciendo a lo largo del proyecto (Imagen 2). Destaca la gran diferencia en la duración del proyecto entre ambas, con unos 8 meses de diferencia entre ambos. Esto se debe a que antes de comenzar con el trabajo, se desconocían los grandes márgenes de tiempo asociados a la elaboración de la encuesta, a la recopilación de los datos, al estudio de la metodología aplicada y mucho más.

De ahí la importancia de llevar una planificación real, que se va actualizando cuando el proyecto está en marcha y se enfrenta a desafíos, imprevistos y cambios en el entorno.

Identificación de elementos de mejora en los resultados de las inspecciones de uniones soldadas del sector naval

Responsable del proyecto: FRANCISCO J. NAVARRO
Fecha de inicio del proyecto: 01/09/2022

Nombre de la tarea	Inicio	Fin	Días
PROYECTO	01/09/2022	17/07/2023	319
Encuesta	01/09/2022	02/01/2023	126
Bibliografía / Buscar información	01/09/2022	08/11/2022	69
Tabla de preguntas en excel	09/11/2022	05/12/2022	27
Encuesta en Google Form	06/12/2022	04/01/2023	30
Recopilación de datos	05/01/2023	12/04/2023	98
Enviar encuesta a la población objetivo	05/01/2023	05/02/2023	31
Recibir respuestas	12/01/2023	12/04/2023	91
Análisis de datos con PLS-SEM	13/04/2023	10/05/2023	28
Redactar memoria	01/09/2022	07/06/2023	280
Revisiones TFM	08/06/2023	30/06/2023	23
Preparar Defensa TFM	23/06/2023	16/07/2023	24
Defensa TFM	17/07/2023	17/07/2023	0

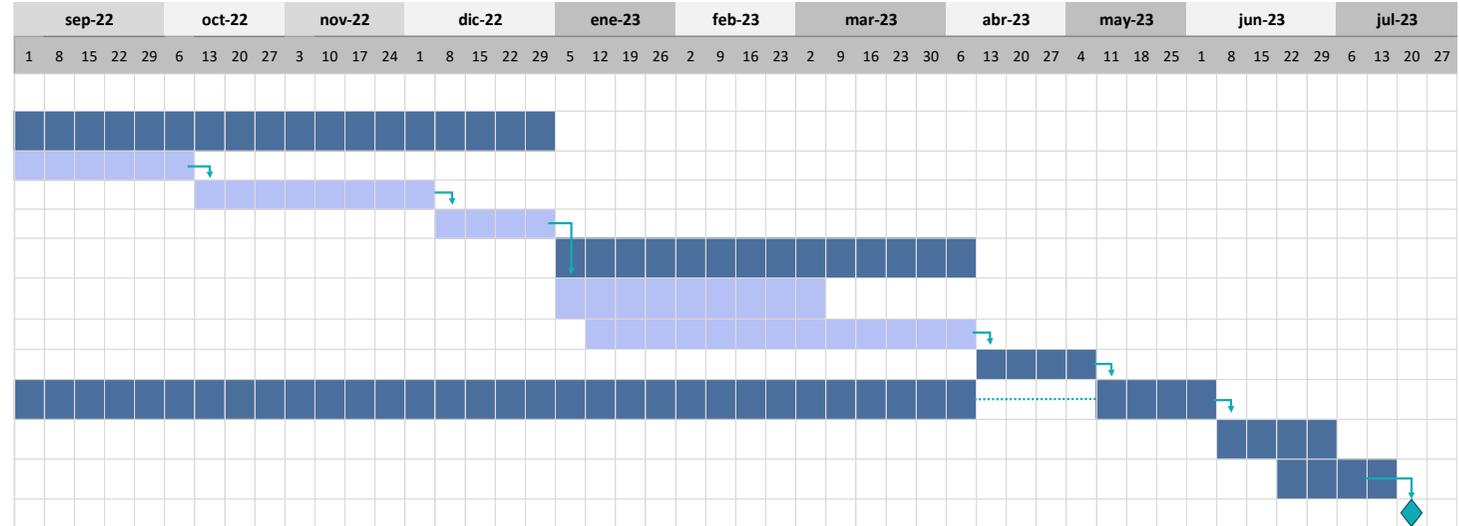


Imagen 1. 2. Planificación inicial del proyecto.

Fuente: elaboración propia.

Identificación de elementos de mejora en los resultados de las inspecciones de uniones soldadas del sector naval

Responsable del proyecto: FRANCISCO J. NAVARRO
 Fecha de inicio del proyecto: 01/09/2022

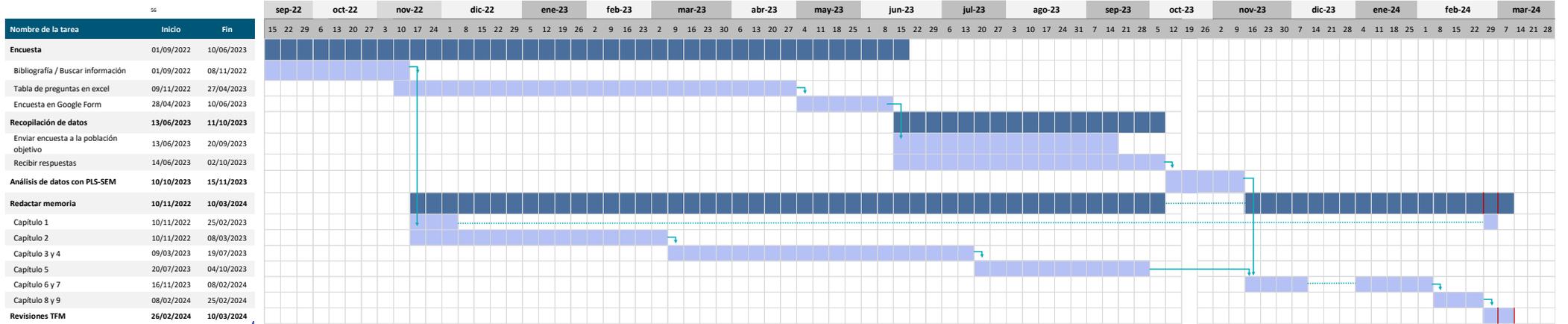


Imagen 1. 3. Avance real del proyecto.

Fuente: elaboración propia.

Capítulo 2. Estado del arte

2.1. Uniones soldadas

2.1.1. Soldadura por arco manual con electrodo revestido (SMAW)

Es un proceso de soldadura donde se funden los bordes de las piezas que se quieren unir. La energía con la que se funden los bordes sale del calor generado por el arco eléctrico generado entre el electrodo y la pieza. Este procedimiento es manual, y tanto la escoria como el gas que sale al fundirse el revestimiento del electrodo consumible protegen la soldadura.

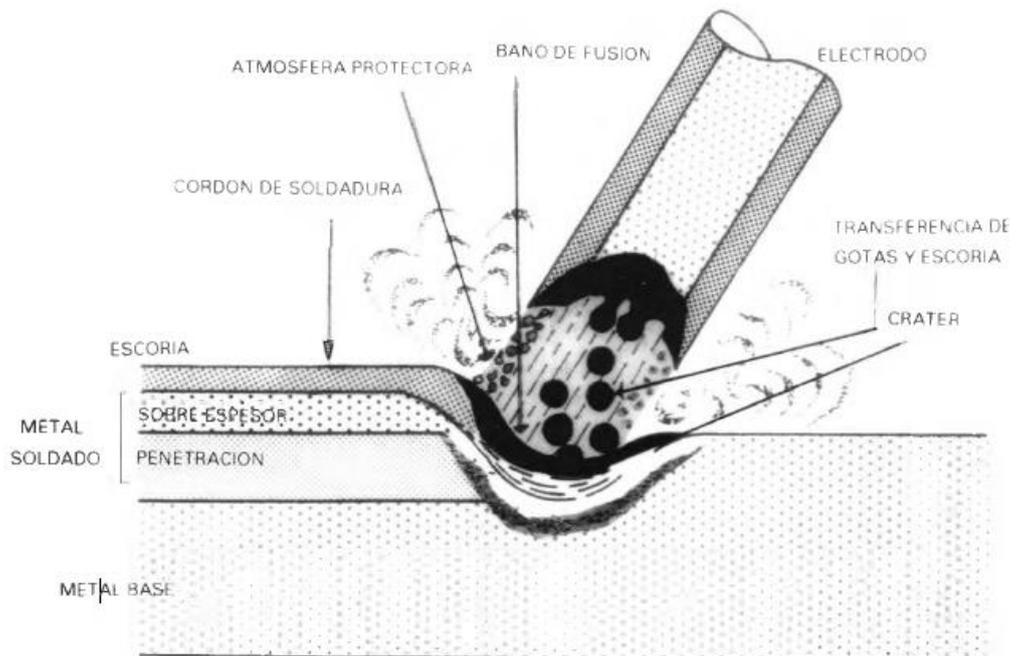


Imagen 2. 1. Procedimiento de soldadura por arco manual con electrodo revestido.

Fuente: [2]

La función principal del electrodo es aportar material al cordón de soldadura, y para ello, tiene que conducir la electricidad para que se produzca el arco eléctrico y proteger la soldadura. El revestimiento del electrodo consumible tiene como funciones:

- Cegar el arco eléctrico.
- Dar estabilidad al arco eléctrico.
- Evitar que el metal fundido se contamine.
- Mejorar las características mecánicas del metal.

Los revestimientos suelen tener una composición muy compleja, formada por sustancias orgánicas y minerales.

Existen diferentes tipos de electrodos, cada uno de ellos destinado a un tipo de soldadura concreta. Estos son:

- ❖ **Electrodos ácidos.** Para soldar aceros de resistencia menor a 48 kg/mm^2 , aunque actualmente se suelen usar más los de rutilo y básicos.
- ❖ **Electrodos celulósicos.** Se componen de celulosa y son muy usados para soldaduras de tuberías en posición vertical descendente, ya que, producen muy poca escoria y se manejan con facilidad.
- ❖ **Electrodos de rutilo.** Tienen poca sensibilidad a la humedad, son fáciles de encender, producen pocas salpicaduras y la escoria se elimina fácilmente, por ello dan una buena velocidad de soldeo. Se utilizan muchos en calderería, construcción naval y estructuras de acero.
- ❖ **Electrodos básicos.** Con ellos se obtienen mejores propiedades mecánicas de la unión resultante, gracias a que contienen sustancias básicas en su revestimiento. Son utilizados en estructuras metálicas, construcción naval y recipientes a presión. Pero, son electrodos muy higroscópicos, y un electrodo con humedad puede depositar un metal poco dúctil y propenso a fisurarse, por lo que, si cogen humedad, deben secarse según indique el fabricante.
- ❖ **Electrodo de gran rendimiento.** Son aquellos con un rendimiento gravimétrico mayor del 130%. Estos electrodos necesitan altas intensidades para conseguir fundir el material.

Además del electrodo y el tipo de revestimiento, existen variables que afectan al proceso de soldadura.

Corriente de soldeo

Normalmente se suele emplear una intensidad de soldeo entre 10 y 500 A, con tensiones entre 15 y 45 V. Suele emplearse corriente continua y polo positivo al electrodo, aunque también puede usarse polaridad directa o corriente alterna. Como la longitud del arco eléctrico es directamente proporcional a la tensión, esta suele ser baja, es decir, al aumentar la tensión también lo hace la longitud del arco.

Longitud del arco

La longitud del arco empleada dependerá del electrodo, posición de soldeo, diámetro. Normalmente, la longitud deberá ser igual al diámetro del electrodo, a excepción de cuando se use un electrodo básico, en ese caso, debe ser igual a la mitad del diámetro. Si el arco es muy corto, pueden producirse cortocircuitos, mientras que, si el arco es muy largo, se perderá intensidad y eficacia en la protección del arco y el metal.

Velocidad de desplazamiento

La velocidad de soldeo debe ser tal que el arco eléctrico vaya ligeramente adelantado al baño de fusión. A mayor velocidad de desplazamiento, menor es el diámetro del cordón, menor es la aportación de calor y antes se enfriará. Además, se producen mordeduras y se favorece la aparición de poros. Mientras que, con una velocidad baja de desplazamiento, el cordón será muy ancho y con poca penetración.

Las ventajas de este procedimiento de soldadura son las siguientes:

- Equipo de soldeo sencillo, barato y portátil.
- Menos sensible al viento que los procesos por arco con gas protector.
- Se puede aplicar a gran variedad de espesores.
- Aplicable a la mayoría de metales de uso normal.
- No necesita protección adicional de gases, ya que la proporciona el revestimiento.

Los inconvenientes de este procedimiento de soldadura son:

- Proceso relativamente lento.
- Precisa de gran habilidad por parte del soldador.
- No es aplicable a espesores menores de 2 mm.
- No es útil para metales de bajo punto de fusión como estaño, cinc y plomo.
- Aunque se puede soldar a espesores mayores de 2 mm, no es productivo en espesores mayores de 38 mm.

2.1.2. Soldadura por arco sumergido (SAW)

Es un proceso de soldadura donde se funden los bordes de las piezas a unir gracias a la energía aportada por un arco eléctrico. El arco se forma entre uno o varios electrodos desnudos. La protección de la soldadura se consigue con una capa de polvo fusible, llamado flux, que cubre el arco y la soldadura, de esta manera la aísla del exterior y favoreciendo una menor formación de humo. El electrodo es consumible, normalmente en forma de alambre, y se aporta de forma continua con un mecanismo apropiado.

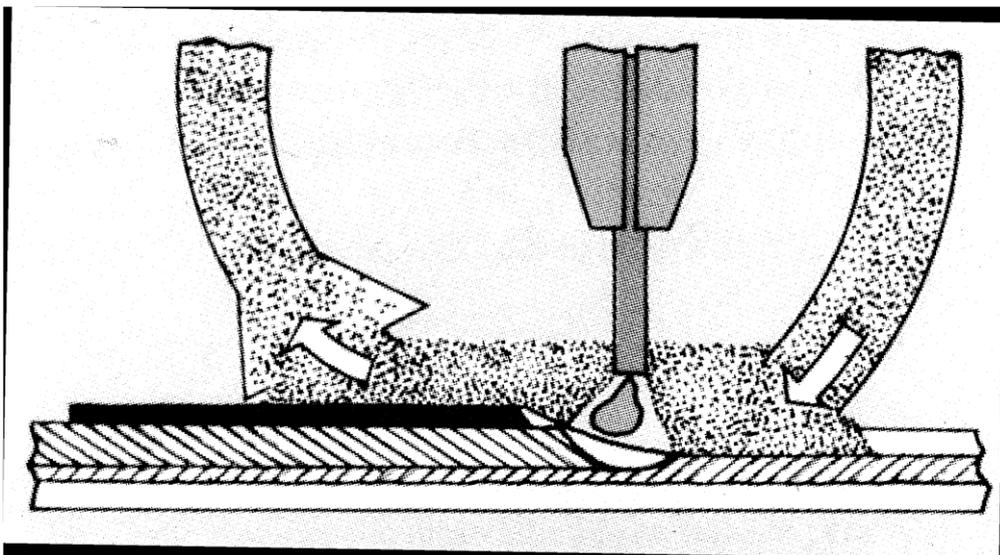


Imagen 2. 2. Procedimiento de soldadura por arco sumergido SAW. Fuente: [2]

Este procedimiento da la posibilidad de depositar grandes cantidades de metal de soldadura de gran calidad con un coste bajo. Generalmente, es un sistema totalmente automatizado y ofrece grandes rendimientos productivos. Para ello, se fija el aparato en su posición y la pieza a soldar en unos rodillos que permiten desplazarla a la velocidad que se quiera, mientras que se suministra el flux y el electrodo continuamente.

Esta soldadura tiene las siguientes características:

- Proceso mecanizado.
- Puede usarse un solo alambre, dos alambres en un mismo arco o dos alambres en diferentes arcos.
- Intensidad del proceso entre 100 y 3600 A.
- Tensión de 20 a 50 V.
- Velocidad de 250 a 3500 mm/minuto.

Se suelen recubrir de cobre los electrodos de acero, excepto en el caso de soldaduras para materiales resistentes a la corrosión o ciertas aplicaciones de la industria petroquímica o nuclear. Con el recubrimiento de cobre se consigue evitar la corrosión y mejorar el contacto eléctrico.

2.1.3. Soldadura por arco con gas protector y electrodo no consumible (GTAW-TIG)

Es un proceso de soldadura donde se funden los bordes del material gracias al calor aportado por un arco eléctrico, donde se utiliza un electrodo no consumible y gas protector. El gas inerte aportado desplaza el aire de la zona de la soldadura. El arco se produce entre el electrodo de tungsteno, que no se funde, y la pieza a soldar.

Esta soldadura se puede realizar con o sin aporte de material. Si no se aporta material, la propia fusión de los bordes de la pieza conforme la unión al solidificarse el baño. Si se aporta material, se hace a través de varillas que añaden su material al fundirse con el calor. La aportación de material puede ser manual o automática.

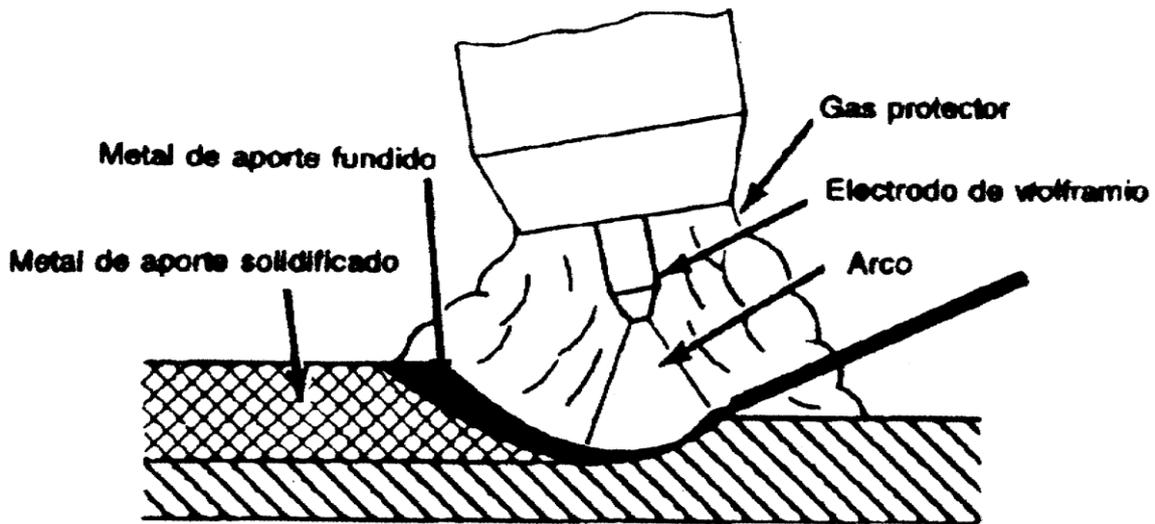


Imagen 2. 3. Procedimiento de soldadura GTAW-TIG.

Fuente: [4]

Algunas de las ventajas con las que cuenta esta soldadura son:

- Proceso adecuado para la mayoría de metales.
- Arco estable y concentrado.
- No produce proyecciones ni humos.
- Fundamentalmente manual, pero con posibilidad de automatizar.
- No produce escoria.

Mientras que, algunos de los inconvenientes son:

- No es económico en espesores menores de 10 mm.
- Tiene problemas en soldaduras al aire libre.
- Requiere de habilidad por parte del operario.

El gas protector empleado suele ser Argón, Helio y mezclas 75% He + 25% Ar. El Argón se caracteriza por tener una densidad elevada, baja conductividad térmica y baja energía de ionización. Mientras que el Helio se caracteriza por ser más ligero, tener una conductividad térmica elevada y una energía de ionización más elevada.

Los electrodos empleados son de tungsteno y de tungsteno aleado con torio o circonio y lantano, dependiendo de las temperaturas que tenga que soportar y los materiales a soldar. Las características de estos son:

- **Tungsteno puro:** funde a 3400°C y se usa para soldaduras de aluminio.
- **Tungsteno aleado con circonio:** funde a 3800°C y se emplea para soldaduras de aluminio y magnesio.
- **Tungsteno aleado con torio:** funde a 4000°C y se usa para soldar aceros al carbono de baja aleación, inoxidable, cobre, etcétera.

Con la soldadura TIG pueden soldarse todas las aleaciones, es por ello que se suele emplear para metales complicados de soldar, como magnesio, aluminio y aceros de cuproníquel. Es idóneo para la industria química, petrolífera y nuclear.

2.1.4. Soldadura por arco con gas protector y electrodo consumible (GMAW)

En este tipo de soldadura se funden los bordes de las piezas a unir mediante el calor suministrado por un arco eléctrico, que se produce entre la pieza y el electrodo consumible que se aporta de forma continua. El baño de fusión se protege de la atmósfera gracias a la aportación de un gas activo (MAG) o inerte (MIG). Además, la velocidad con la que sale el hilo consumible puede regularse con este proceso.

La Imagen 2.3 representa el procedimiento MIG/MAG y cada una de sus partes son:

- (1) boquilla, (2) Boquilla de contacto con corriente, (3) Gas de protección, (4) Electrodo tubular, (5) Flux del electrodo, (6) Longitud libre de varilla, (7) Arco eléctrico, (8) Baño de fusión, (9) Escoria líquida, (10) Metal de soldadura sólido, (11) Escoria solidificada, (12) Cordón de soldadura.

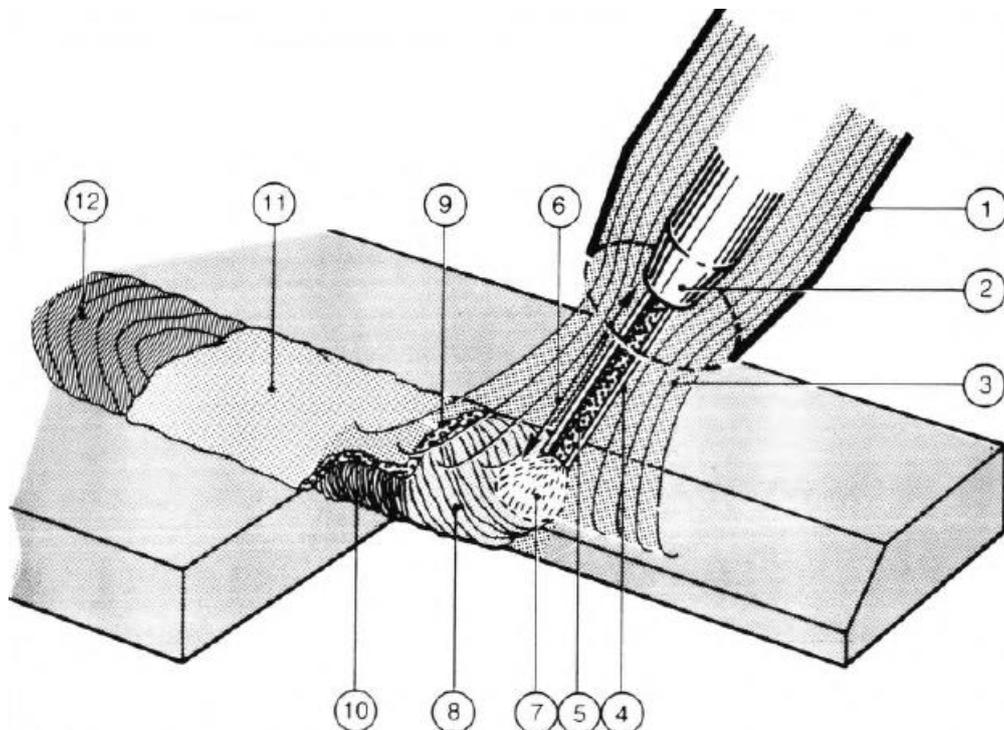


Imagen 2. 4. Procedimiento de soldadura MIG/MAG. Fuente: [2]

Es una soldadura fácilmente adaptable a su uso con robot, ya que permite trabajar de forma semiautomática y automática. Permite soldar todos los metales y aleaciones empleados en la actualidad, siempre y cuando se elijan los consumibles y gas de protección óptimos.

Para la soldadura MIG (Metal Inert Gas) se utiliza como gas de protección inerte *argón puro* para metales como aluminio, cobre, níquel y titanio, y *argón con oxígeno* (hasta un 5%) para el acero. Al usar mezclas de gases activos como el oxígeno en pequeña proporción, se mejora la penetración.

Por otro lado, la soldadura MAG (Metal Active Gas), se emplea mayoritariamente para los aceros al carbono y con poca aleación, siendo usados como gases de protección el dióxido de carbono, el oxígeno, argón y mezclas de argón y dióxido de carbono.

El dióxido de carbono tiene el inconveniente de que solo sirve para soldar piezas de acero, y al usarse como gas principal, genera muchos poros en los cordones debido al oxígeno. Si embargo, el dióxido de carbono puro se usa mucho en astilleros debido a que se consiguen resultados buenos y tiene menores costes.

Por lo general, se emplea corriente continua con polaridad inversa, consiguiendo mayor temperatura en el electrodo facilitando así la fusión.

Con la soldadura MIG es posible soldar todos los metales y aleaciones, mientras que el procedimiento MAG se usará para aceros y sus aleaciones. La aplicabilidad de este procedimiento es total y tiene las siguientes ventajas:

- Permite soldar en todas las posiciones, algo que no era posible con la soldadura por arco sumergido.
- Se puede soldar todos los metales y aleaciones que se comercializan.
- Pueden soldarse largos cordones sin necesidad de parar.
- Es un método limpio ya que no genera escoria.
- Se obtienen velocidades de soldeo mayores que con el proceso manual con electrodo revestido.

Los inconvenientes que limitan su uso son:

- Es más complejo soldar piezas de difícil acceso que con electrodo revestido, ya que la pistola tiene que estar a una distancia de unos 20 mm como máximo para asegurar la protección del gas.
- El equipo empleado es más complejo que el de la soldadura por electrodo revestido.
- El viento puede arrastrar el gas protector por lo que la soldadura debe emplearse en sitios protegidos y no al aire libre.

2.1.5. Soldadura por resistencia (ERW)

En esta soldadura el calor aportado para fundir los bordes de las piezas procede de una corriente eléctrica debido al efecto Joule que, junto con una presión mecánica de las piezas, se consigue la unión de las mismas. En este proceso, no hay aporte de material. A causa de la resistencia que opone la unión al paso de la corriente, se produce una gran cantidad de calor localizado, que ablanda las superficies y gracias a la presión se unen las piezas.

Los electrodos son los que suministran la corriente necesaria a la vez que ejercen presión sobre la pieza. Estos suelen estar refrigerados durante poco tiempo para evitar que se fundan, y son de cobre o aleación de cobre.

El proceso consta de las siguientes fases:

- 1) *Periodo de presión.* Los electrodos ejercen la presión necesaria sobre las piezas a unir.
- 2) *Periodo de soldeo.* Se funde un botón de soldadura en la interfase de las chapas debido a la corriente que circula. Se mantiene la presión.
- 3) *Periodo de mantenimiento.* Se para la corriente y el botón de soldadura fundida se solidifica debido a la presión.
- 4) *Periodo de separación.* Se va reduciendo la presión poco a poco y el electrodo se retira.

2.2. Tipos de defectos en las uniones soldadas

Se definen como *defectos de soldadura* a aquellas irregularidades o anomalías existentes en la unión soldada. Estos defectos se originan principalmente por causas como:

- Una inadecuada preparación de las piezas a unir.
- Una mala ejecución del proceso de soldadura.
- Insuficiente soldabilidad del metal base.
- Un metal de aportación inadecuado.

Los defectos más comunes que pueden aparecer en las construcciones soldadas son:

- Grietas.
- Cavidades.
- Inclusiones sólidas.
- Falta de fusión o penetración.
- Defectos de forma.

2.2.1. Grietas

Son discontinuidades del material que se originan por una rotura local debida a tensiones no absorbidas por el metal base. Hay varios tipos de grietas:

- 1) Microgrietas, que tienen dimensiones microscópicas.
- 2) Grietas longitudinales, cuando su dirección es paralela al eje del cordón de soldadura.
- 3) Grietas transversales, cuando su dirección es perpendicular al eje del cordón de soldadura.
- 4) Fisuras radiales, suelen ser aisladas con un punto en común.
- 5) Fisuras discontinuas.
- 6) Fisuras ramificadas.

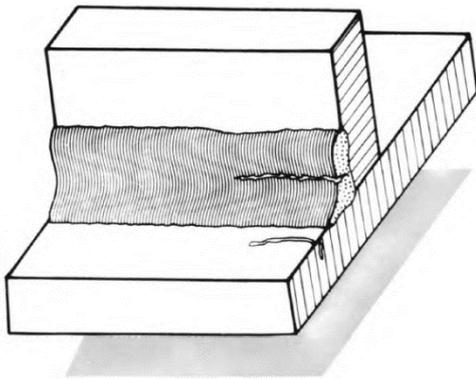


Imagen 2. 6. Fisura longitudinal.

Fuente: [2]

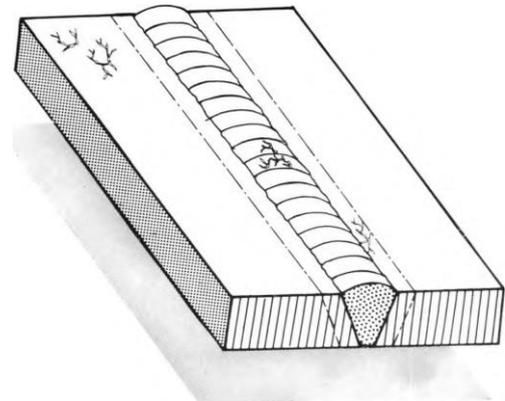


Imagen 2. 5. Fisura ramificada.

Fuente: [2]

Estas grietas pueden aparecer tanto en el metal base, como en la zona afectada térmicamente o el metal fundido.

Algunas causas de aparición de estas fisuras son:

- Elevada intensidad en la soldadura.
- Inadecuada secuencia.
- Falta de material de aportación, metal base en mal estado o con suciedad.
- Enfriamiento rápido de la soldadura.
- El fenómeno se intensifica por la presencia de mordeduras, penetración parcial y otras entallas superficiales.

2.2.2. Cavidades

Las cavidades son poros más o menos grandes generados por inclusiones gaseosas. Pueden ser de varios tipos:

- 1) Poros vermiculares, son cavidades alargadas producidas por la salida de un gas.
- 2) Porosidad uniforme, suelen ser poros esferoidales dispersados de manera regular por el cordón.
- 3) Rechupes, se forman al contraerse el metal cuando se solidifica.
- 4) Rechupes de cráter, son cavidades que aparecen al final del cordón de soldadura por no haberse eliminado en la pasada anterior.
- 5) Microporosidad.

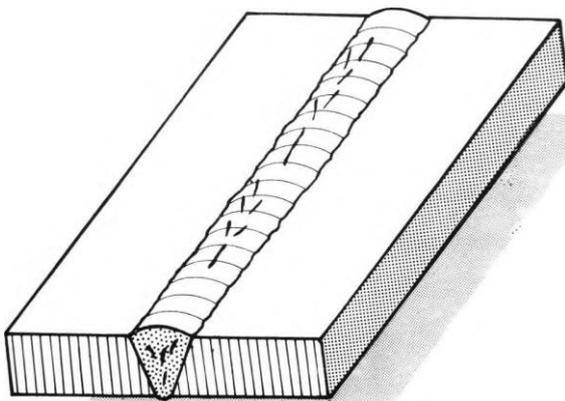


Imagen 2. 8. Poros vermiculares.

Fuente: [2]

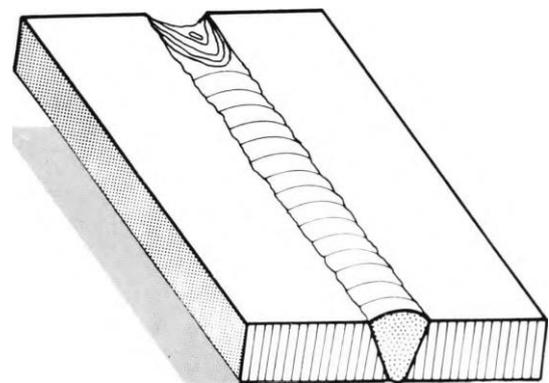


Imagen 2. 7. Rechupe de cráter.

Fuente: [2]

2.2.3. Inclusiones sólidas

Son restos sólidos que han quedado atrapados en el metal fundido. Algunas de estas inclusiones sólidas son:

- 1) Escoria, proveniente de restos del revestimiento del electrodo fundido que se han solidificado en el metal fundido.
- 2) Residuos de flux, que quedaron atrapados.
- 3) Inclusiones de óxido, que queda atrapado en el metal fundido al solidificarse.
- 4) Partículas metálicas, atrapadas por el metal fundido.

5) Película de óxido, producida por falta de protección.

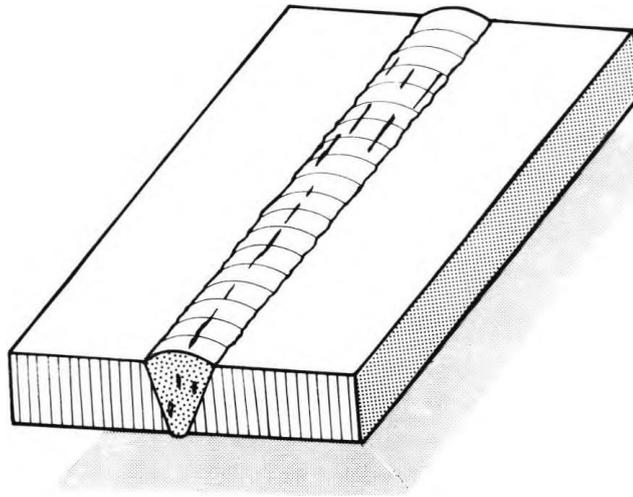


Imagen 2. 9. Inclusiones de flux

Algunas causas de estas inclusiones son:

- Deficiente limpieza entre cordones.
- Debidas a la presencia de mordeduras o superficies irregulares en pasadas previas.
- Usar electrodos deteriorados.

2.2.4. Falta de fusión o penetración

La falta de fusión consiste en la falta de unión entre el metal aportado y el base, o bien, entre cordones y en la raíz de la soldadura.

Algunas causas de la falta de fusión cordón – metal base:

- Parámetros inadecuados de soldeo (baja intensidad, velocidad excesiva).
- Incorrecta posición del electrodo.
- Inadecuada preparación de bordes (talón de raíz muy grande).

Algunas causas de la falta de fusión entre cordones y en raíz:

- Parámetros inadecuados de soldeo (baja intensidad, velocidad excesiva).
- Incorrecta posición del electrodo.
- Inadecuada preparación de bordes (talón de raíz muy grande).

La falta de penetración consiste en la falta de material fundido entre pasadas o en los bordes de la unión.

Algunas causas de la falta de penetración:

- Parámetros inadecuados de soldeo (baja intensidad, velocidad excesiva).
- Incorrecta posición del electrodo.
- Inadecuada preparación de bordes (talón de raíz muy grande).

2.2.5. Defectos de forma

Entre los defectos de forma que se presentan en las soldaduras están los siguientes:

- 1) Mordeduras: surgen por la falta de metal de aportación y se dan en los bordes del cordón de soldadura. Las mordeduras pueden aparecer también en la raíz por la contracción del metal de soldadura.
- 2) Exceso de penetración: consiste en la acumulación del metal en la raíz de la soldadura.
- 3) Desalineación: cuando existe una diferencia de nivel entre dos piezas soldadas.
- 4) Deformación angular: cuando el ángulo entre las piezas soldadas unidas no coincide con el previsto.
- 5) Anchura irregular del cordón.
- 6) Hundimiento del metal depositado.
- 7) Proyecciones, que consisten en salpicaduras de metal fundido durante el proceso que quedan atrapadas en el metal fundido una vez solidificado. Se deben a una corriente de soldeo excesiva, consumibles contaminados que producen explosiones en el arco eléctrico o una selección inadecuada del gas de protección.

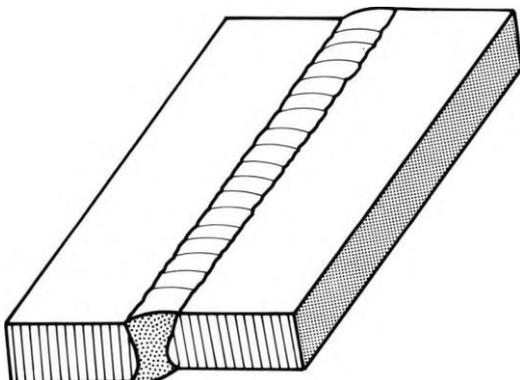


Imagen 2. 11. Desalineación de la soldadura

Fuente: [2]

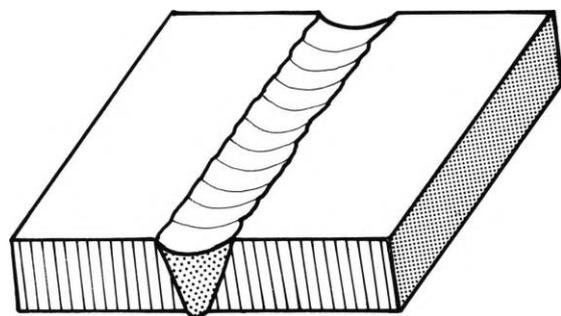


Imagen 2. 10. Exceso de penetración.

Fuente: [2]

2.3. Inspecciones de las uniones soldadas

El principal propósito de la inspección de Construcciones Soldadas es comprobar que los trabajos de soldadura realizados en una construcción, cumplen con las especificaciones marcadas en la documentación, normas y códigos que afectan a dichos trabajos, tanto los de orden particular como los de ámbito general. Para ello, es necesario elaborar un Plan de Inspección.

En primer lugar, el plan de inspección o plan de puntos de inspección tiene como objetivo controlar el proceso de fabricación, y no el de detectar productos no conformes. En este plan se definen los aspectos a controlar, los ensayos a realizar, la frecuencia de inspección, etcétera.

A continuación, se mencionan los principales puntos de inspección en soldadura:

Antes del soldeo

- Certificación de los soldadores.
- Especificación del procedimiento de soldeo.
- Identificación del metal base.
- Identificación de los consumibles.
- Preparación de los bordes de las uniones.
- Ensamblaje, posicionado y punteado.
- Buenas condiciones de trabajo para el soldeo.
- Buenas condiciones de los equipos.

Durante el soldeo

- Parámetros de soldeo.
- Temperatura de precalentamiento y entre pasadas.
- Limpieza y aspecto de las pasadas de soldadura.
- Secuencia de soldeo.
- Manejo correcto de los consumibles.
- Control de las deformaciones.

Después del soldeo

- Inspección visual.
- Ensayos no destructivos.
- Forma, aspecto y dimensiones de la soldadura.
- Registrar y evaluar los resultados tras la soldadura.

En el plan de inspección es necesario asignar un código para identificar los elementos en todo momento. Por ejemplo, se puede marcar sobre el equipo o elemento con una pegatina o marca de rotulador y, al mismo tiempo, se traslada el estado de la inspección a la documentación haciendo referencia a la marca del equipo.

Por último, para controlar el estado de la inspección, es recomendable clasificar los productos en producto conforme si no presenta defectos y producto no conforme si los presenta.

2.4. Ensayos de inspección de soldadura

El objetivo principal de los ensayos de inspección de soldadura es adquirir conocimientos prácticos acerca del comportamiento de un material en diversas circunstancias, asegurando su idoneidad para resistir las distintas tensiones a las que estará expuesto.

Durante los procesos de soldadura, los materiales experimentan deformaciones térmicas que pueden afectar su estructura o generar tensiones internas capaces de debilitar la integridad de la pieza. Existe, además, la posibilidad de que surjan defectos imperceptibles en las uniones soldadas que comprometan la resistencia de la estructura. Para llevar a cabo la inspección de construcciones soldadas, se emplean dos tipos de ensayos: los no destructivos, que no causan daño al material evaluado, y los ensayos destructivos realizados en muestras soldadas, con el fin de evaluar tanto el metal depositado como la unión en sí. Sin embargo, el presente trabajo se centra en las inspecciones de soldadura llevadas a cabo por medio de métodos no destructivos que son los métodos que se emplean en el día a día tanto en la reparación como en la nueva construcción naval. Es por ello que, a continuación, se van a detallar los ensayos no destructivos más empleados en la actualidad para inspeccionar soldaduras.

Los ensayos no destructivos permiten inspeccionar las uniones soldadas en obra sin deteriorar o afectar a la estructura del material. Los más utilizados en el sector naval son los siguientes:

- Inspección visual.
- Inspección por líquidos penetrantes.
- Inspección por partículas magnéticas.
- Inspección por ultrasonidos.
- Inspección por rayos x o gamma.

Los ensayos no destructivos también se utilizan como parte del mantenimiento preventivo de construcciones soldadas, con el fin de evitar accidentes. A continuación, se describirán cada uno de estos ensayos por separado.

Cuando se quieran realizar ensayos no destructivos, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- 1) Que el método y la técnica sea el adecuado. Para ello, se debe considerar el tipo de material y la forma de la pieza a ensayar.
- 2) Obtención de indicaciones o resultados. No siempre las indicaciones obtenidas se relacionan con defectos sino con el método de ensayo empleado.
- 3) Interpretación de los resultados. Deben buscarse relaciones entre las indicaciones y sus características.
- 4) Evaluación de las indicaciones. Aquí se decide si un defecto es rechazable o, por el contrario, es una propiedad del material.

2.4.1. Inspección visual

La inspección visual es el método no destructivo más simple y rentable. Cuando se lleva a cabo de manera precisa, puede prevenir errores y defectos, lo que a su vez ahorra tiempo y dinero en comparación con otras pruebas más costosas. Además, se utilizan instrumentos ópticos como herramientas auxiliares para ampliar posibles imperfecciones que son invisibles a simple vista y permiten examinar áreas de difícil acceso. La inspección visual realizada por personal experimentado puede lograr lo siguiente:

- Identificar materiales que no cumplen con las especificaciones.
- Reducir costos al corregir defectos durante el proceso de fabricación y evitar rechazos posteriores a la finalización del trabajo.
- Minimizar la necesidad de pruebas posteriores.

La inspección visual requiere una serie de comprobaciones antes, durante y después del proceso de soldadura. En todos los casos, es esencial asegurarse de que la zona de inspección cuente con una iluminación adecuada y esté limpia. Las etapas clave de la inspección visual son las siguientes:

Antes de la soldadura: se realizan revisiones de materiales, se buscan posibles fisuras y defectos, se miden las aberturas y raíces en la preparación de los bordes, se evalúa la calidad del material de entrada y su almacenamiento.

Durante la soldadura: se supervisa la temperatura de precalentamiento, la temperatura entre pasadas, se busca la aparición de grietas en la raíz, se verifica la calidad de los materiales de aporte y los gases de protección, se ajustan los parámetros de soldadura, se mantiene la limpieza entre pasadas del cordón de soldadura y se verifica la cualificación de los soldadores.

Después de la soldadura: se lleva a cabo una revisión en busca de posibles imperfecciones que puedan haber surgido, se miden las dimensiones de las gargantas y los lados en soldaduras en ángulo, y se controlan los sobre espesores en las uniones a tope.

Al concluir la inspección visual, se elabora un informe detallado que incluye todas las incidencias, defectos, su ubicación en el plano y toda la información pertinente para abordar estas deficiencias.

2.4.2. Líquidos penetrantes

El ensayo de líquidos penetrantes se utiliza para detectar defectos superficiales en materiales ferrosos y no ferrosos que sean no porosos. Este método implica la aplicación de un líquido penetrante en la superficie de la pieza que se desea evaluar. El líquido se introduce en las cavidades existentes por capilaridad. Luego, se elimina el exceso de penetrante y se aplica un revelador para extraer el líquido atrapado en los defectos, dejando marcas visibles en la superficie de la pieza inspeccionada.

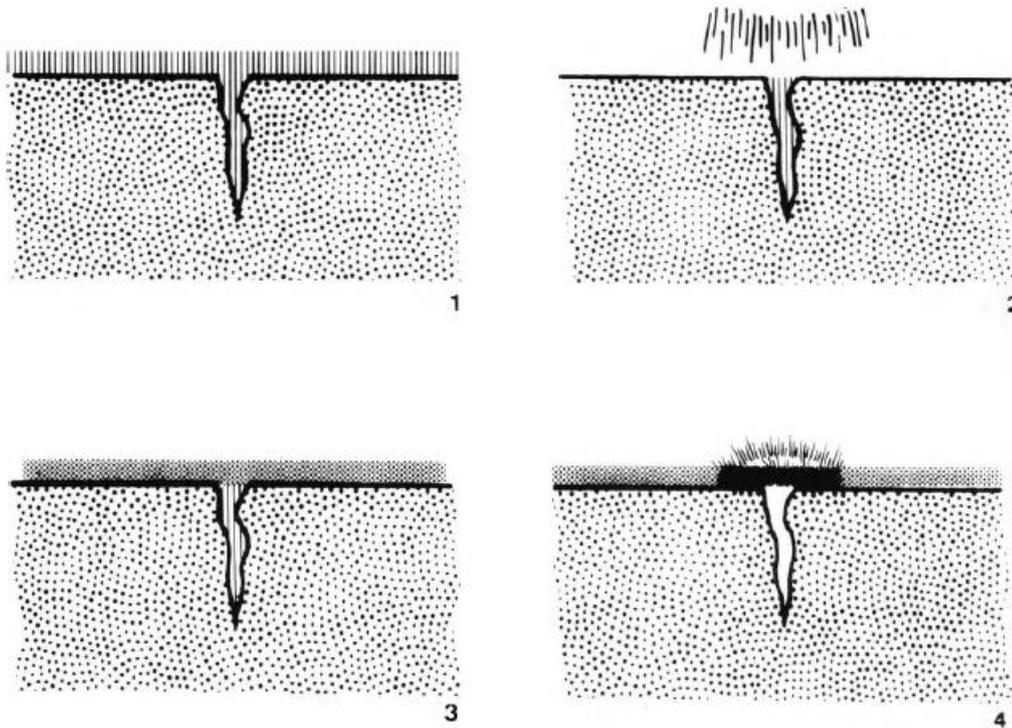


Imagen 2. 12. Fundamento del método de líquidos penetrantes.

Fuente: [2]

A continuación, se detallan los pasos necesarios para llevar a cabo el ensayo de líquidos penetrantes:

1. Preparación de Superficies:

Se debe eliminar cualquier contaminación que pueda impedir que el penetrante alcance los defectos. Esto implica la limpieza y el secado de la pieza a inspeccionar. Se utilizan métodos como el cepillado para eliminar óxido e incrustaciones, así como disolventes para eliminar aceite y grasa. El vapor desengrasante es especialmente eficaz para limpiar las grietas y otras imperfecciones superficiales.

2. Aplicación del Penetrante:

La pieza de trabajo se impregna con el penetrante, permitiendo que este alcance todas las imperfecciones. El tiempo de penetración necesario dependerá del material de la pieza y el tipo de defectos que se esperen.

3. Eliminación del Penetrante Excesivo:

Tras el tiempo de penetración, se debe retirar cualquier residuo de penetrante de la superficie de la pieza de trabajo. Una limpieza deficiente puede dar lugar a interpretaciones erróneas, mientras que una limpieza excesiva podría eliminar el penetrante de los defectos. Para algunos penetrantes, se usa agua caliente para lavar, pero en el caso de penetrantes fluorescentes, se debe emplear luz ultravioleta para asegurar que no queden restos. Si la pieza no puede lavarse, se permite el secado completo antes de volver a aplicar el penetrante.

4. Secado:

Antes de aplicar el revelador, la pieza debe secarse mediante un paño limpio, evaporación o aire comprimido a temperatura ambiente. Cuando se usan reveladores líquidos a base de disolvente, no se requiere secado adicional. Sin embargo, el secado es crucial cuando se emplea un revelador seco.

5. Revelado:

Si se utiliza revelador seco, este se esparce uniformemente sobre la superficie de la pieza de trabajo después del secado para evitar que se adhiera a la superficie. Es importante que el revelador sea compatible con el penetrante utilizado. Si se emplea un revelador húmedo, se aplica uniformemente después de retirar el exceso de penetrante y secar la pieza. El tiempo de revelado debe ser suficiente para que las indicaciones sean claramente visibles, pero no demasiado largo, ya que podría modificar las indicaciones al permitir que el penetrante interior se filtre hacia afuera.

6. Inspección:

La inspección requiere una buena iluminación, ya sea natural o artificial, para observar penetrantes coloreados. También es esencial evitar reflejos y prevenir la fatiga visual. En el caso de penetrantes fluorescentes, se necesita una luz negra para la inspección y se deben tomar precauciones para evitar la fatiga visual y permitir que la vista se adapte a la oscuridad.

7. Registro de Indicaciones:

La documentación de los defectos se logra mejor mediante fotografías. Cuando se usan penetrantes coloreados, no hay problemas. Sin embargo, con penetrantes fluorescentes, se debe utilizar un filtro que absorba la radiación UV y capture solo la luz visible para obtener contrastes claros entre las indicaciones y el fondo.

2.4.3. Partículas magnéticas

El método de inspección con partículas magnéticas es uno de los pioneros entre las técnicas de ensayos no destructivos. Se basa en el efecto de un campo magnético específico sobre partículas metálicas finas. La orientación del defecto con respecto al campo magnético es crucial para obtener resultados precisos, siendo óptimo cuando el campo magnético es perpendicular al posible defecto. Se destaca que este método es recomendable para detectar defectos superficiales o cercanos a la superficie del material bajo inspección.

La magnetización de la pieza se logra al exponerla a un campo magnético que alinee las líneas magnéticas con la dirección de la pieza. Esto puede realizarse mediante un imán o al pasar corriente eléctrica a través de la pieza o mediante una bobina con corriente eléctrica. A continuación, se describen tres métodos comunes de magnetización de piezas:

- 1) **Magnetización Longitudinal:** Este método muestra defectos superficiales perpendiculares al eje de la pieza. Consiste en un campo magnético que rodea la pieza.

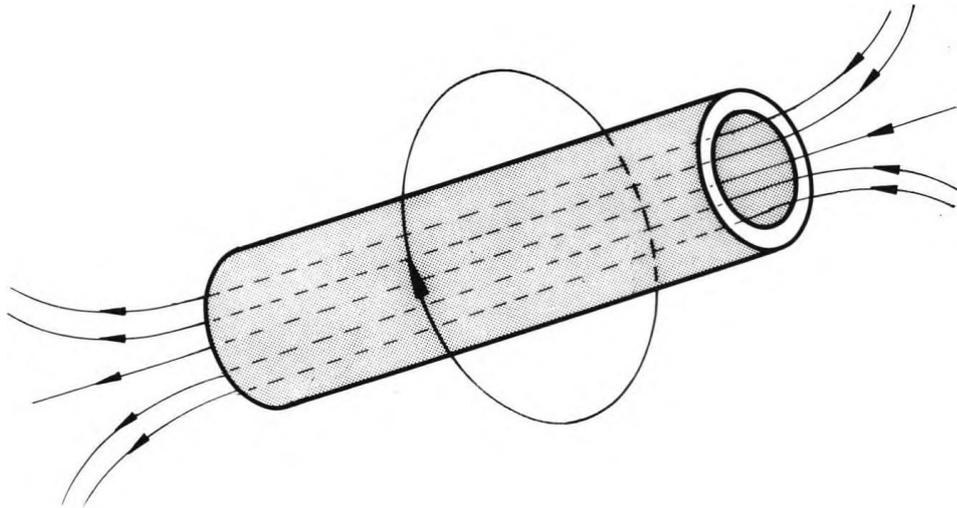


Imagen 2. 13. Magnetización longitudinal.

Fuente: [2]

- 2) **Magnetización Circular:** Este enfoque es adecuado para piezas de tamaño pequeño a mediano, ya que la intensidad del campo magnético necesaria depende del tamaño de la pieza. Implica la circulación de corriente eléctrica a través de dos placas ubicadas en los extremos de la pieza para crear un campo magnético con líneas perpendiculares al eje de la pieza.

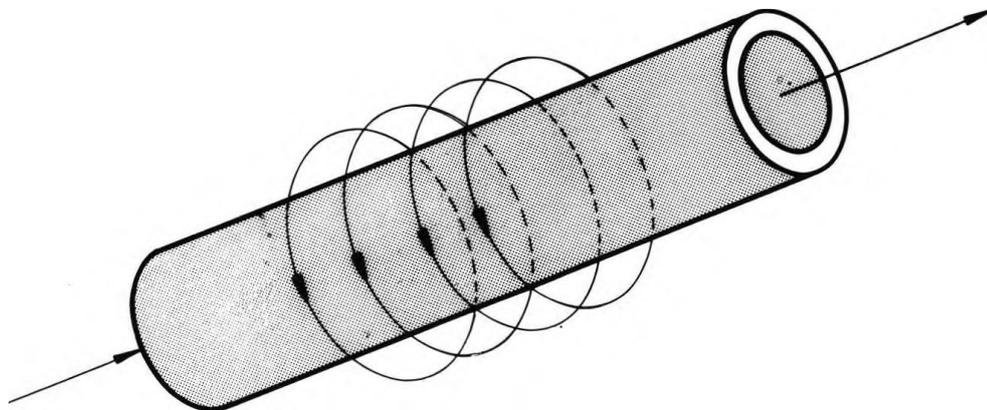


Imagen 2. 14. Magnetización circular.

Fuente: [2]

- 3) **Magnetización Local:** Este método utiliza un yugo magnético que genera corriente eléctrica entre sus extremos para magnetizar una zona específica. Es útil para la inspección de áreas locales en piezas grandes.

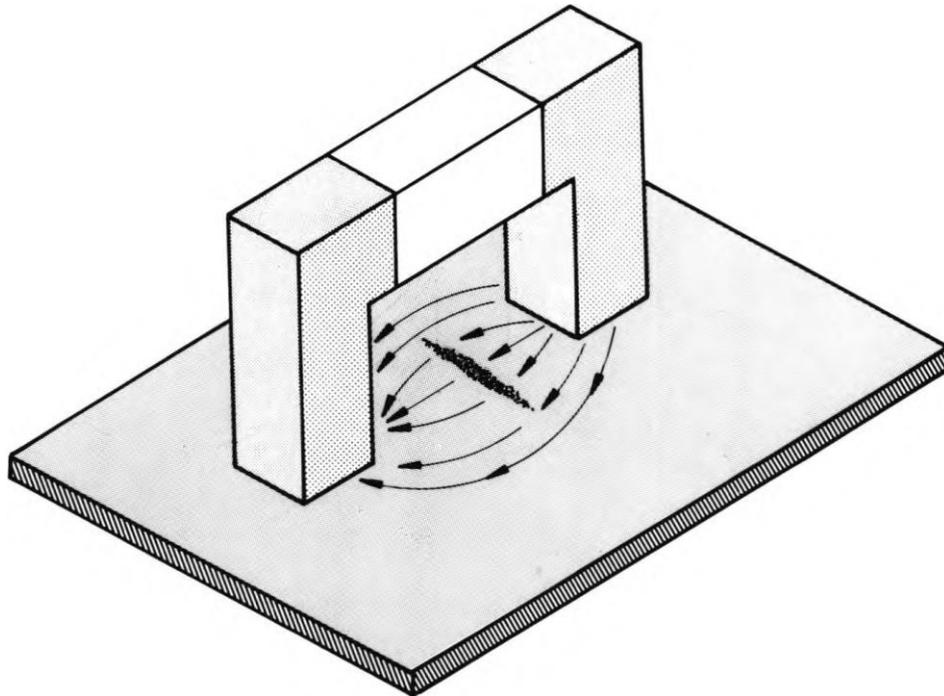


Imagen 2. 15. Magnetización local.

Fuente: [2]

La detección de defectos superficiales o subsuperficiales depende del tipo de corriente eléctrica utilizada. Dos tipos de corriente comunes son:

- La **corriente alterna**, efectiva para detectar defectos pequeños cerca de la superficie, hasta aproximadamente 2 mm de profundidad.
- La **corriente continua**, adecuada para detectar defectos más profundos, de hasta 8 mm de profundidad, pero solo cuando los defectos tienen un tamaño apreciable. Esta corriente es eficaz en ensayos con partículas magnéticas en seco.

Los pasos para llevar a cabo un ensayo con partículas magnéticas son los siguientes:

1. Limpiar la zona a inspeccionar con un limpiador en aerosol.
2. Magnetizar la pieza.
3. Aplicar partículas magnéticas sobre la pieza o sumergirla en un baño si se usa el método en húmedo, mientras la pieza sigue magnetizada.
4. Desmagnetizar y observar la alineación de las partículas para identificar defectos.
5. Llevar a cabo una segunda inspección, magnetizando en una dirección perpendicular a la anterior, repitiendo los pasos anteriores.

La técnica de partículas magnéticas es ampliamente utilizada en la inspección de soldaduras, ya que puede detectar grietas superficiales de hasta 0.4 micras. La magnetización de la pieza puede persistir por un tiempo después del ensayo, por lo que es importante desmagnetizar la pieza. Esto se puede lograr introduciendo la pieza en el campo magnético de una bobina y alejándola del núcleo hasta que el campo se anule o disminuyendo progresivamente la intensidad del campo mediante un dispositivo.

2.4.4. Ultrasonidos

Los ultrasonidos, al igual que las ondas sónicas, son ondas acústicas con la diferencia de que su campo de frecuencia está por encima del rango audible. Gracias a los fenómenos que estas ondas provocan en los sólidos se aprovechan para gran número de aplicaciones técnicas en la industria. En este caso, dentro de la industria metalúrgica, se usan para el control de productos de fundición, forjados, medición de espesores o inspección de soldaduras.

Generalmente, las ondas ultrasónicas se propagan por todos los medios en los que haya átomos que vibren. Aunque, puede ocurrir que, en algunos materiales, esa energía vibratoria se convierta en calor, y por lo tanto las ondas no se propaguen.

La inspección por ultrasonidos consiste en impulsar un sonido por un cuerpo, de manera que lo atraviese y se reciba el eco. De esta manera, se puede interpretar las variaciones que haya sufrido, evaluando así los defectos o discontinuidades, a partir de este eco. Para la inspección, se puede emitir el sonido desde una de las caras del cuerpo y recibirla en la cara opuesta, o bien emitir y recibir el sonido en la misma cara. Para realizar la emisión y recepción de las ondas ultrasónicas es necesario un emisor y un receptor basado en la propiedad de los materiales piezoeléctricos. El efecto piezoeléctrico consiste en la deformación que sufre un determinado material cuando se aplica una presión en su superficie, apareciendo una carga eléctrica que produce una diferencia de potencial entre sus caras; y a la inversa, si al mismo material se le aplica una diferencia de potencial, este se deformará produciendo ondas de presión. El efecto piezoeléctrico se produce en algunos materiales como el cristal de cuarzo, el sulfato de litio o el titanio de bario. Para realizar la inspección mediante ultrasonidos es necesario introducir el sonido que produce el cristal a través del material. Para ello, se usa un acoplamiento acústico que tiene como función eliminar el aire y con el que se suele aplicar aceite o grasa en función de la rugosidad del material.

Algunas características de los ultrasonidos en la inspección de uniones soldadas son:

- A mayor espesor de las piezas a inspeccionar, mayor detectabilidad mediante el uso de ultrasonido que por ejemplo usando rayos X.
- Los ultrasonidos ofrecen una mejor localización de las discontinuidades como grietas y defectos laminares, mientras que con rayos X es casi imposible.
- Generalmente, con menores espesores, las inclusiones pequeñas se detectan mejor mediante rayos X que con ultrasonidos.
- La falta de fusión es fácilmente detectable mediante los ultrasonidos.
- En la mayoría de casos, utilizar ultrasonidos es mucho más barato que rayos X.

- Mientras que con rayos X, se consigue instantáneamente un documento a escala real, con ultrasonidos se consigue el eco que producen los defectos en pantalla.

Las principales partes de un equipo de ultrasonidos son el palpador, la pantalla, los mandos de calibración y control y las conexiones de alimentación eléctrica, aunque, hoy día hay muchos equipos portátiles que no llevan alimentación eléctrica.



Imagen 2. 16. Equipo de medición de ultrasonidos.

Fuente: [26]

En la pantalla se pueden ver las ondas emitidas y los ecos recibidos. Los mandos de calibración y control sirven para incrementar la velocidad a la que se emiten las ondas, cambiar la escala, hacer zoom en una zona, elegir la frecuencia, etcétera.

En la inspección de construcciones soldadas los palpadores más utilizados son los angulares, que permiten la inspección desde el lateral del cordón de soldadura, con lo que evita la superficie rugosa del cordón y las proyecciones, localizando de manera más fácil las irregularidades como poros, inclusiones o fisuras.

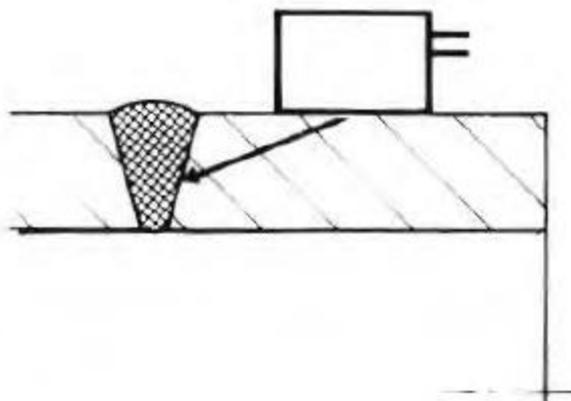


Imagen 2. 17. Palpador angular. Fuente: [2]

Por otro lado, para que se puedan reconocer en la pantalla los defectos, es necesario que el tamaño de grano de la soldadura sea menor que la mitad de longitud de onda del palpador, en caso contrario los ecos se dispersarán en la pantalla en forma de hierba.

La inspección por ultrasonidos es el mejor método para detectar la falta de fusión en cordones de soldadura, puesto que con los palpadores angulares se pueden emitir las ondas perpendicularmente a los ángulos de los bordes de la unión, visualizándose claramente el eco en la pantalla en caso de falta de fusión, y el resto de métodos de inspección no detectan este defecto tan claramente.

Siempre que se vaya a realizar una inspección, es necesario tener una serie de información antes de comenzar el trabajo:

- El material de la pieza a inspeccionar, ya que dependiendo de este el tipo de grano será distinto y será más o menos fácil encontrar los defectos.
- El espesor de la pieza, para saber qué tipo de palpador utilizar y si es posible realizar la inspección.
- El tipo de junta ayudará a interpretar las discontinuidades.
- El procedimiento de soldadura empleado, con ello se puede saber qué defectos se pueden encontrar.

2.4.5. Radiografías

La inspección por radiografía consiste en emitir fotones de alta energía que atraviesan el metal hasta llegar a un detector (film fotográfico) situado detrás de la pieza a inspeccionar y sobre el cual queda impresa la zona radiada. Toda irregularidad de la pieza se representa como una zona más oscura o más clara en el detector. Mediante la interpretación del detector se localizan los defectos de las soldaduras, se averigua de qué tipo son y por qué se han producido.

Es una de las técnicas que ofrece mayor seguridad para localizar defectos de soldadura, ya que, se pueden apreciar poros muy pequeños y fisuras de poco espesor, regulando la intensidad de radiación adecuadamente. Además, tiene como ventaja que se obtiene directamente una fotografía del defecto y su localización.

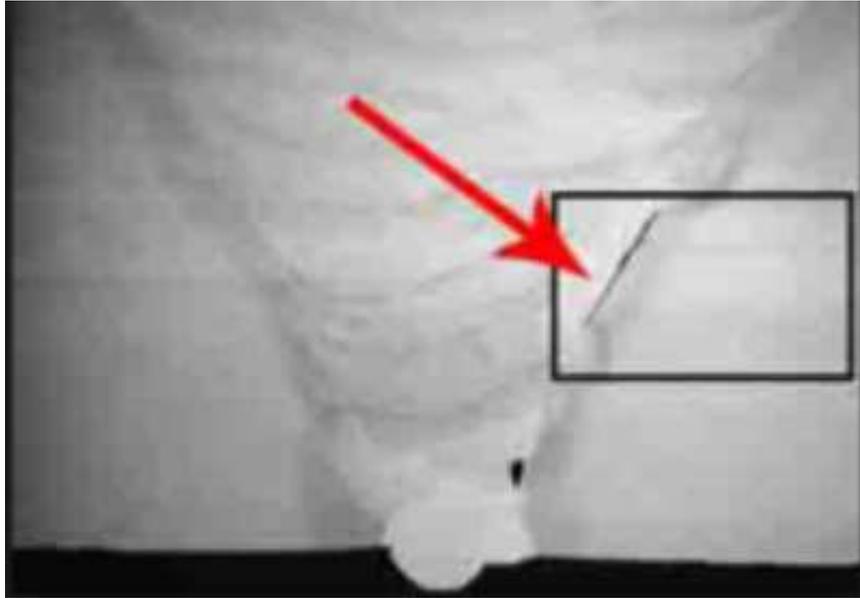


Imagen 2. 18. Falta de fusión vista en la radiografía de una soldadura.

Fuente: [28]

Existen algunos defectos como la falta de fusión, que este método no los detecta muy bien, por lo que se debe complementar con otros métodos como ultrasonidos, cuando se espere que se pueden dar estos defectos.

Tras la radiografía, los defectos de la pieza, pasan de estar en tres dimensiones a visualizarse en dos dimensiones sobre el film fotográfico. El coeficiente de absorción es un factor a tener en cuenta, este disminuye con la energía de radiación y aumenta con el número atómico del material a estudiar, por lo que, la intensidad de radiación se tiene que incrementar a medida que el espesor aumente y el material tenga mayor absorción.

Como ventaja destaca que permite inspeccionar la pieza interiormente y no solo superficialmente. El equipo de inspección no requiere de corriente eléctrica, ni refrigeración. Además, con la radiografía se obtiene una lectura directa de los defectos, no como en los ultrasonidos, donde hay que interpretar el eco de las ondas y deducir el defecto.

La mayor limitación que tiene este método es el peligro de radiación, la técnica debe ser realizada por personal autorizado y, además, las instalaciones y máquinas deben estar autorizadas y ser controladas periódicamente. Los factores que influyen en la cantidad de radiación que una persona recibe se resumen en los siguientes:

- La absorción de los medios que haya entre la fuente y el cuerpo de la persona.
- La distancia a la fuente.
- El tiempo de exposición.
- La potencia de radiación.

Las partes del cuerpo humano más sensibles a la radiación son la piel, los ojos, las gónadas. La dosis permitida en rem a una determinada edad N se calcula como sigue:

$$D = 5 \cdot (N - 18),$$

donde se admite 18 años la edad mínima para trabajar con isótopos. La dosis acumulada en piel no ha de exceder de 8 rem en 13 semanas consecutivas o 0,6 rem a la semana.

La mejor manera de evitar demasiada radiación es aplicando correctamente las medidas de protección correspondientes. Estas medidas tienen como finalidad proteger tanto al operario como a personas ajenas. Las medidas de protección clásicas son:

- Protección con blindajes.
- Mediante una distancia de seguridad.
- Protección por tiempo.

Durante la inspección el supervisor u operador tendrá un radiómetro de lectura directa o de alarma sonora.

2.4.6. Mejoras actuales en los métodos de inspección

Los métodos de inspección de soldadura han evolucionado a lo largo de los años con avances tecnológicos que permiten una evaluación más precisa y eficiente de las soldaduras. Algunos de los nuevos métodos de inspección de soldadura incluyen:

Inspección por ultrasonido Phased Array (PAUT)

La inspección por ultrasonido phased array (PAUT) es una técnica avanzada de inspección no destructiva que utiliza múltiples elementos de ultrasonido para evaluar la calidad de las soldaduras y detectar defectos en materiales. Esta técnica es ampliamente utilizada en diversas industrias, como la construcción naval, la aeroespacial, la petroquímica y la fabricación de equipos de presión, debido a su capacidad para proporcionar resultados precisos y detallados.

A continuación, te explicaré cómo funciona la inspección por ultrasonido phased array:

1) *Generación de ultrasonido*: Se utilizan transductores o sondas que emiten pulsos de ultrasonido hacia la superficie de la soldadura. Los transductores son capaces de generar haces de ultrasonido en diferentes ángulos y direcciones.

2) *Recepción de señales*: Después de que los pulsos de ultrasonido viajan a través del material y pueden reflejarse en las interfaces internas, como defectos o bordes de la soldadura. Estas señales reflejadas son recogidas por los mismos transductores.

3) *Proceso de datos*: Los datos recopilados se procesan electrónicamente mediante un equipo de inspección. En la inspección por ultrasonido phased array, la electrónica controla el tiempo y la amplitud de los pulsos ultrasónicos de manera que se puedan formar haces de ultrasonido en múltiples ángulos y direcciones. Esto permite explorar la soldadura desde diferentes perspectivas.

4) *Imagen en tiempo real*: La información procesada se presenta en tiempo real en forma de una imagen en una pantalla. Esto permite a los inspectores visualizar la soldadura y los posibles defectos en tiempo real, lo que facilita la toma de decisiones durante la inspección.

Las ventajas de la inspección por ultrasonido phased array incluyen:

- Mayor flexibilidad: La capacidad para variar los ángulos y las direcciones de los haces ultrasónicos permite una inspección más detallada y precisa de la soldadura.
- Detección de múltiples defectos: Puede identificar defectos como grietas, porosidades, inclusiones y falta de fusión con alta precisión.
- Rapidez: La inspección por ultrasonido phased array es generalmente más rápida que otros métodos, lo que es especialmente beneficioso en la producción industrial.
- Menos dependencia del operador: La tecnología ofrece la capacidad de guardar datos y realizar análisis posterior, lo que disminuye la dependencia de la habilidad del operador en tiempo real.
- Registro de datos digital: Los resultados se pueden almacenar y documentar de manera digital para su posterior revisión y análisis.



Imagen 2. 19. Inspección por ultrasonidos Phased Array (PAUT).

Fuente: [28]

En resumen, la inspección por ultrasonido phased array es una técnica avanzada y poderosa para evaluar la calidad de las soldaduras y detectar defectos en materiales. Proporciona una evaluación tridimensional detallada de las soldaduras y es ampliamente utilizada en industrias donde la integridad de las soldaduras es crítica.

Inspección por Tomografía Computarizada (CT)

La Inspección por Tomografía Computarizada (CT, por sus siglas en inglés, Computed Tomography) es una técnica avanzada de inspección no destructiva que utiliza rayos X o radiación gamma para obtener imágenes tridimensionales de la estructura interna de un objeto o material. Esta técnica es altamente eficaz para evaluar la calidad de las soldaduras y detectar defectos internos en piezas metálicas, compuestas, cerámicas y otros materiales.

A continuación, explicaré cómo funciona la Inspección por Tomografía Computarizada:

- 1) Generación de rayos X o radiación gamma: Se generan rayos X o radiación gamma mediante una fuente de radiación. Estos rayos son dirigidos hacia la pieza o el objeto que se está inspeccionando.
- 2) Detección de rayos X: En el lado opuesto de la pieza, se encuentra un detector que captura los rayos X o radiación gamma que atraviesan el material. La cantidad de radiación detectada depende de la densidad y la composición del material atravesado.
- 3) Rotación de la pieza: Para obtener una imagen tridimensional, la pieza se coloca en un dispositivo giratorio, que gira alrededor de su eje. Durante la rotación, se adquieren múltiples proyecciones desde diferentes ángulos.
- 4) Procesamiento de datos: Los datos recopilados se procesan mediante un ordenador para reconstruir una imagen tridimensional de la estructura interna de la pieza. Esto se logra utilizando algoritmos de tomografía computarizada que toman en cuenta las diferencias en la atenuación de los rayos X o radiación gamma a medida que atraviesan la pieza desde múltiples ángulos.
- 5) Visualización: La imagen tridimensional resultante muestra la estructura interna de la pieza con una alta resolución y permite la identificación de defectos, tales como grietas, inclusiones, porosidades y otros problemas de calidad.

Las ventajas de la Inspección por Tomografía Computarizada incluyen:

- Imágenes en 3D: Proporciona una representación tridimensional detallada de la pieza o soldadura, lo que permite una evaluación completa y precisa de la calidad.
- Detección de defectos internos: Es eficaz para detectar defectos ocultos en el interior del material, lo que puede ser especialmente importante en aplicaciones críticas, como la industria aeroespacial y nuclear.
- No destructiva: No daña la pieza inspeccionada, lo que es esencial en aplicaciones donde se requiere la integridad del material.

- Capacidad de análisis avanzado: Permite mediciones precisas de dimensiones, densidades y posiciones de los defectos, lo que es útil para la evaluación cuantitativa de la calidad de las soldaduras y otros componentes.

La Inspección por Tomografía Computarizada es ampliamente utilizada en la industria para evaluar la calidad de las soldaduras, así como en la investigación y desarrollo de nuevos materiales y componentes. Su capacidad para proporcionar imágenes 3D detalladas y detectar defectos internos la convierte en una herramienta valiosa en la garantía de calidad y la seguridad de diversos productos y aplicaciones.



Imagen 2. 20. Máquina de tomografía computarizada

A continuación, la tabla 2.1 presenta una comparativa de los ensayos no destructivos aplicados en cada caso para la detección de defectos.

Tabla 2. 1. Métodos no destructivos aplicados en la detección de defectos.

MÉTODO DE DETECCIÓN	DEFECTO	DESCRIPCIÓN
Inspección visual	Poros	Detectables aquellos situados en la superficie del cordón de soldadura
	Inclusiones sólidas	Detectables aquellas situadas sobre el cordón de soldadura
	Falta de fusión y de penetración	Falta de fusión: depresión entre el metal base y el cordón. Falta de penetración: depresión en el lado contrario al soldado.
	Defectos de forma	Mordeduras, rugosidades, exceso de sobre espesor, proyecciones, etcétera.
Líquidos penetrantes	Fisuras	Pueden ser indicaciones lineales continuas o intermitentes. El brillo y extensión de la indicación determinará
	Poros	Se revelan como pequeños puntos aislados o en grupos.
	Inclusiones sólidas	No es posible su detección, a no ser que provoquen una abertura que llegue hasta la superficie del cordón de soldadura.
Partículas magnéticas	Fisuras	Solo para fisuras superficiales y subsuperficiales.
	Poros	No es un método adecuado, ya que las indicaciones estarían mal definidas.
	Inclusiones sólidas	Para un buen resultado se necesita un campo magnético de gran intensidad.
	Falta de fusión y penetración	Falta de fusión: las partículas se acumulan en el borde de la soldadura Falta de penetración: poca adherencia y bordes poco definidos.
Ultrasonidos	Fisuras	Se puede decir que cuando el eco que da el defecto tiene mucha altura y es muy estrecho, hay una grieta.
	Poros	Un poro es localizable desde cualquier lado del cordón. Se obtiene un eco de pequeño tamaño.
	Inclusiones sólidas	Pueden ser detectadas desde cualquier lado del cordón. Si la escoria es fina, el eco se puede confundir con el de la falta de penetración.
	Falta de fusión y penetración	Falta de fusión: su eco se obtiene solo desde un lado del cordón. Falta de penetración: detectable desde cualquier lado del cordón.
Radiografías	Fisuras	Aparecerán como una línea oscura, ondulada intermitente o bifurcada.
	Poros	Se verán como pequeñas manchas de contornos regulares.
	Inclusiones sólidas	Se ven como líneas oscuras, alargadas y paralelas al eje del cordón.
	Falta de fusión y penetración	Falta de fusión: se ve una línea oscura. Mejor detectarlo por ultrasonidos. Falta de penetración: aparecerá una línea estrecha, irregular, rectilínea y paralela al eje central del cordón.
	Defectos de forma	Exceso de penetración: se ve banda irregular de color claro. Falta de metal aporte: se ve una banda recta y oscura en los bordes. Mordeduras: se ven bandas oscuras a ambos lados del cordón.

Fuente: elaboración propia

Capítulo 3. Modelo de hipótesis

3.1. Constructos. Descripción.

En teoría, un constructo es una idea, concepto o representación mental de un hecho u objeto. Sin embargo, un constructo también puede entenderse como una teoría, de ahí que se use la expresión “constructo teórico” en investigaciones cualitativas con el fin de formar una teoría. Por lo que un constructo es algo más que una figura o representación gráfica, sino que es un concepto creado para resolver un problema científico.

En el presente trabajo, los constructos desarrollados son los correspondientes a los círculos en la figura del modelo de hipótesis que son “Formación”, “Condiciones de trabajo”, “Digitalización de procesos”, “Resultados uniones” y “Resultados inspecciones”. Los constructos teóricos pueden ser exógenos o endógenos, actuando los primeros como variables predictoras de los segundos, es decir, el constructo exógeno hace de variable independiente mientras que el endógeno es la variable dependiente.

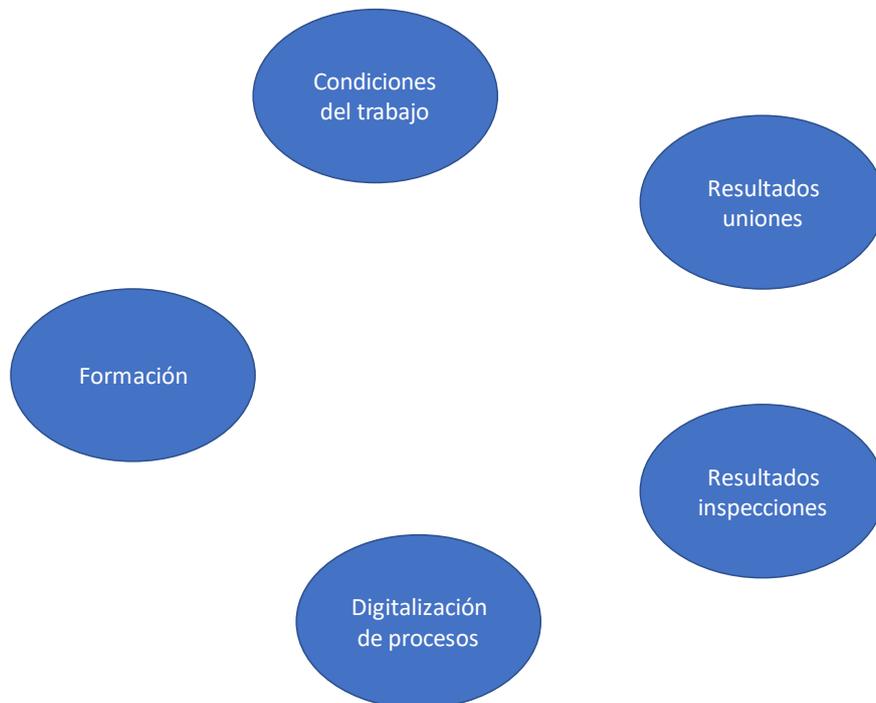


Imagen 3. 1. Constructos teóricos. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se describen un poco más en profundidad cada uno de los constructos teóricos y qué es lo que se pretende conocer de cada uno de ellos.

3.1.1. Formación del inspector y soldador

3.1.1.1. Formación del inspector

El Inspector de Construcciones Soldadas (ICS) es responsable de verificar que todas las actividades de inspección relacionadas con el soldeo, establecidas en su nivel de cualificación, son realizadas de acuerdo con los requisitos establecidos. La norma UNE 14618:2017 especifica los requisitos para la cualificación y certificación de los Inspectores de Construcciones Soldadas, ICS, siendo independiente del tipo de construcción soldada. Entre los requisitos a satisfacer para optar al examen que permite la certificación como Inspector de Construcciones Soldadas (ICS) se encuentra el tener un mínimo de agudeza visual, experiencia profesional y una determinada formación específica.

Existen tres niveles de Inspector de Construcciones Soldadas, nivel I, II y III. Para obtener la certificación pertinente, se deberá realizar una formación cuya duración depende del nivel.

Tabla 3. 1. Duración de la formación de ICS.

Nivel	1	2	2 (desde 1)	3	3 (desde 2)
Duración	40	60	60	80	20

Fuente: elaboración propia

Entre los conocimientos que debe adquirir el alumno para la certificación de Inspector de Construcciones Soldadas, se encuentran:

- Ciencia e ingeniería de los materiales
- Procesos de conformado y unión
- Métodos de inspección y ensayos
- Defectos de las uniones soldadas
- Control de calidad
- Seguridad e higiene

Además de los conocimientos técnicos, se exigen unos requisitos en cuanto a la titulación académica que debe tener el candidato. Estos requisitos son los siguientes:

- ICS NIVEL I: Para acceso a la certificación de este nivel, la norma UNE 14618:2017 permite candidatos sin titulación académica relacionada con el sector del metal. Por tanto, los requisitos mínimos de entrada al curso nivel 1 serán titulación básica equivalente a FP1, técnico auxiliar, técnico, ESO, Bachiller o EQF nivel 3, sin necesidad de vinculación con el sector del metal.

- ICS NIVEL II: Para acceso a este curso se debe haber realizado antes la formación del nivel 1.
- ICS NIVEL III: Para acceso a este curso se debe haber realizado antes la formación del nivel 2.

Además, para este nivel 3, la norma UNE 14618:2017 exige una titulación académica media en el sector del metal, entendiéndose por tal una titulación equivalente a FP2, técnico especialista, técnico, o EQF nivel 4, en especialidades relacionadas con el metal; o una titulación académica completa en el sector del metal, entendiéndose por tal una titulación equivalente al grado, ingeniero, licenciado, diplomado o EQF nivel 5, en especialidades relacionadas con el metal.

Por otro lado, las tareas y responsabilidades llevadas a cabo por los inspectores de uniones soldadas dependerán del nivel de certificación obtenida.

Tareas del Inspector de Construcciones Soldadas de nivel I

- 1) Comprobar que los consumibles para la soldadura están de acuerdo con las especificaciones de la empresa y las recomendaciones del fabricante.
- 2) Identificar los materiales, así como, comprobar que su almacenamiento y trazabilidad es adecuado con la norma aplicable.
- 3) Verificar que las certificaciones de los soldadores son adecuadas a los requisitos de la soldadura y se han realizado conforme a la norma pertinente.
- 4) Comprobar que la preparación de bordes está según especifica el procedimiento de soldadura.
- 5) Verificar que los equipos a utilizar son los adecuados para el material base y consumibles, así como, el estado de los mismos.
- 6) Controlar los parámetros, temperatura de precalentamiento y temperatura entre pasadas.
- 7) Comprobar que la soldadura esté acorde a las especificaciones.
- 8) Realizar inspección visual de la soldadura registrando las anomalías encontradas.
- 9) Realizar informes de inspección.

Tareas del Inspector de Construcciones Soldadas de nivel II

- 1) Entrenar, instruir y supervisar a los inspectores de nivel I.
- 2) Comprobar que las *Welding Procedure Specification (WPS)* se corresponden con los registros de cualificación de los procedimientos (*WPQR*).

- 3) Cualificar a los soldadores, así como, los operadores y procedimientos de soldeo empleados.
- 4) Saber interpretar cuáles son los requisitos de inspección.
- 5) Comprobar durante el proceso de soldadura que se cumplen los procedimientos de control de calidad.
- 6) Evaluar los resultados ensayos de producción en las construcciones soldadas.
- 7) Dar el visto bueno a procedimiento especiales en caso de necesidad como cordones de revenido.
- 8) Comprobar la cualificación del personal de ensayos no destructivos.
- 9) Validar cualquier tratamiento térmico posterior a la soldadura.
- 10) Mantener archivados adecuadamente todos los documentos referentes a la soldadura.
- 11) Preparación de informes de inspección.

Tareas del Inspector de Construcciones Soldadas de nivel III

- 1) Realizar las funciones equivalentes a los niveles I y II.
- 2) Entrenar, instruir y supervisar a los inspectores de nivel I y II.
- 3) Estudiar los planos y documentos de fabricación para declarar su conformidad con los documentos del contrato en lo que respecta a posición, diseño y dimensiones de construcciones soldadas.
- 4) Preparación o evaluación de planes de inspección y procedimientos.
- 5) Evaluación de los procedimientos de control de calidad relacionados con el soldeo.
- 6) Supervisión de los informes de inspección y END sobre soldadura.
- 7) Analizar factores que puedan influir en la aparición de defectos en las soldaduras.
- 8) Registrar los ensayos, controles e inspecciones del proyecto.
- 9) Preparación de informes de inspección.

3.1.1.2. Formación del soldador

En lo que a la formación del soldador se refiere, llegar a ser soldador es relativamente sencillo, se deberá realizar el Curso técnico de soldador. Se trata de una formación tanto práctica como teórica, en la que no se exige titulación académica. La duración de este curso suele rondar las 150 horas, aunque puede variar en función de la academia.

Para trabajar como soldador, además de este curso, es habitual tener varias especializaciones, las cuales ofrecen al soldador optar a más puestos de trabajo. Algunas de estas especializaciones son:

- Especialista en soldadura por TIG
- Especialista en soldadura por MIG/MAG
- Oxicorte
- Corte por plasma
- Especialista en soldadura por arco eléctrico, en general
- Especialista en soldadura por resistencia eléctrica
- Especialista en soldadura de tubería y recipientes de alta presión
- Especialista en soldadura de estructuras metálicas pesadas

Las funciones de un soldador varían dependiendo de la especialidad de cada uno, ya que, como se ha mencionado anteriormente, existen distintos tipos de soldadores y soldadura. Las funciones básicas de un soldador son las siguientes:

- Preparación y adecuación de material y lugar de trabajo.
- Selección y comprobación del buen estado de las soldaduras.
- Unión de chapas metálicas y diferentes elementos de trabajo.
- Analizar y comprender planos y diseños.
- Examinar las piezas metálicas a soldar.
- Utilizar las herramientas y técnicas necesarias para fundir y fusionar las piezas a soldar.
- Limpieza y conservación de los materiales de trabajo y soldaduras.
- Controles de calidad.
- Elaboración de presupuestos.

Por lo tanto, lo que se pretende a través de este constructo es conocer si, tanto los inspectores de uniones soldadas, como los soldadores en el sector naval, tienen la formación requerida para el trabajo que desempeñan, si la empresa les proporciona formación continua o si disponen de la experiencia necesaria para llevar a cabo ciertos tipos de trabajos.

3.1.2. Digitalización

Igual que ocurre en otros ámbitos, la soldadura está avanzando hacia la digitalización y automatización con máquinas. Esto implica la necesidad de desarrollar innovaciones para conseguir soldaduras mucho más precisas, incrementando la productividad y calidad de los resultados de las uniones soldadas. Los procesos automatizados implican una gran ayuda para reducir el riesgo de lesiones e incrementar la eficiencia.

Hoy día, ya existen máquinas y programas automáticos que están innovando la forma de realizar las soldaduras, aunque, aún queda mucho camino por avanzar. Es cierto, que estos procesos de soldadura requieren de una gran inversión inicial, tanto económica, como en formación. Sin embargo, los beneficios obtenidos pueden suponer un gran cambio.

La soldadura automatizada hace referencia a los distintos sistemas autónomos diseñados que contienen programas de inteligencia artificial. Esto no solo implica tener máquinas que ejecuten movimientos de forma automática, sino también, que sean capaces de desarrollar, por sí solas, patrones de trabajo como mejorar procesos, ajustar movimientos o incorporar nuevas técnicas.

En la actualidad se disponen de máquinas automáticas como soldaduras mediante robots, soldadura por puntos, máquinas de soldadura autónomas, soldadura con cabezal móvil o sistemas que emplean software para programar en línea.

Por lo general, el uso de máquinas automáticas en soldadura continúa en desarrollo hoy día. Los grandes incentivos de este desarrollo son conseguir una mayor eficiencia, calidad y seguridad en el trabajo. Como se comentó anteriormente, aunque resulte costoso invertir en sistemas de soldadura automatizados, se consiguen unas grandes ventajas a largo plazo: ventajas en la eficiencia, en calidad y en seguridad.

La digitalización en el sector naval puede ofrecer ventajas significativas en términos de eficiencia, calidad y gestión de datos. Aquí hay algunas formas en las que la digitalización podría estar presente en los procesos de soldadura en la industria naval:

- Diseño asistido por ordenador (CAD): El diseño de estructuras y componentes para embarcaciones se realiza a menudo con software de CAD, que permite la creación de modelos 3D detallados. Estos modelos se pueden utilizar para planificar y visualizar soldaduras antes de que se realicen.
- Planificación de la soldadura: La planificación de las soldaduras, incluida la selección de procedimientos de soldadura y la programación de robots o equipos de soldadura automatizados, puede realizarse con software de planificación que optimiza la secuencia de soldadura y minimiza el tiempo de inactividad.
- Soldadura automatizada: La automatización de la soldadura, incluidos robots y máquinas de soldar automatizadas, utiliza control digital para garantizar la precisión y consistencia en la soldadura. Los sistemas de soldadura automatizada pueden programarse y controlarse digitalmente.
- Inspección no destructiva (NDT): La inspección de soldaduras puede beneficiarse de técnicas digitales como la radiografía digital, la ultrasonografía y otros métodos NDT

digitales que permiten la adquisición y el análisis de datos de inspección de manera más eficiente.

- Gestión de datos y trazabilidad: Los datos relacionados con los procesos de soldadura, como parámetros de soldadura, inspecciones y registros de procedimiento de soldadura, pueden gestionarse de manera digital para un fácil acceso, seguimiento y trazabilidad.
- Realidad virtual y aumentada: La realidad virtual y aumentada se han utilizado para la formación y la visualización de procesos de soldadura, permitiendo a los operadores practicar y aprender de manera efectiva.
- Monitoreo en tiempo real: Los sensores y sistemas de monitoreo en tiempo real pueden utilizarse para supervisar los parámetros de soldadura y detectar desviaciones durante el proceso de soldadura.



Imagen 3. 2. Soldadura automatizada con robot.



Imagen 3. 3. Soldadura virtual para mejorar la práctica con la realidad aumentada

Fuente: [30]

Es importante tener en cuenta que la adopción de la digitalización puede variar según la inversión y las necesidades específicas de cada astillero o empresa naval. Por lo tanto, lo que se pretende a través de este constructo es conocer si la digitalización se está implementando en los procesos de soldadura e inspección en el sector naval.

3.1.3. Condiciones de trabajo

Se entiende por condiciones de trabajo cualquier aspecto del trabajo que pueda tener un impacto negativo en la salud de los trabajadores, incluyendo aspectos organizativos y de gestión del trabajo además de aspectos ambientales y técnicos.

En el trabajo se está en contacto con sustancias, materiales y máquinas peligrosas, exigencias físicas forzadas, daños ambientales y condiciones climáticas, etcétera.

Evitar la enfermedad y la muerte injustas es posible, ya que la mayor parte de los daños causados por el trabajo suelen ser evitables.

La Ley de Prevención de Riesgos Laborales define la condición de trabajo como “cualquier característica del mismo que pueda tener una influencia significativa en la generación de riesgos para la seguridad y la salud del trabajador”.

Esta definición incluye específicamente lo siguiente:

- Las características generales de lugar de trabajo, equipos, productos, instalaciones y demás herramientas presentes.
- La naturaleza de los agentes físicos, químicos y biológicos presentes en el lugar de trabajo.
- Procedimientos para el uso de los agentes antes mencionados que generan riesgos.
- Todas las demás características del puesto de trabajo, teniendo en cuenta las relativas a la organización y gestión, que afecten al grado de riesgo a que están expuestos los trabajadores.

Entre las distintas condiciones que se pueden presentar en el trabajo del día a día de un soldador o inspector, tienen gran importancia la iluminación de la zona de trabajo, el orden y limpieza de la zona de trabajo y la postura adoptada por el trabajador.

La iluminación es una parte esencial de la ergonomía en el puesto de trabajo. Aunque los seres humanos tienen una gran capacidad para adaptarse a diferentes calidades de luz, la falta de esta puede provocar un aumento de la fatiga visual, un menor rendimiento, un aumento de los errores cometidos y, a veces, incluso accidentes. Por lo tanto, es fundamental considerar un adecuado análisis de las características que deben disponer los sistemas de iluminación y adaptar las tareas a realizar.

El orden y limpieza en el lugar de trabajo tiene como finalidad evitar accidentes por golpes y caídas debido a un ambiente desordenado y sucio, zonas resbaladizas, objetos colocados fuera de su lugar. Un ambiente limpio y ordenado en el trabajo implica una mayor protección contra los accidentes y cuidado de la salud. Los beneficios de tener el lugar de trabajo limpio y ordenado son: disminuir el riesgo de accidentes, aprovechar más el espacio, mejorar el uso de los recursos disponibles, mejorar el rendimiento en el trabajo y reducir los defectos en las piezas.

La postura del trabajo tiene que ver con la posición que adopta el cuerpo del trabajador en su puesto de trabajo. Las posturas adoptadas durante el trabajo son los principales factores asociados a los trastornos musculoesqueléticos que pueden sufrir los trabajadores, originados por posturas forzadas y el tiempo que estas se mantienen. Así mismo, posturas inadecuadas pueden afectar a la calidad del trabajo debido a la fatiga física.



Imagen 3. 4. Limpieza manual del cordón de soldadura con cepillo de alambre.

Fuente:[31]

Por otro lado, existe una serie de riesgos para la salud del trabajador inherentes a los trabajos de soldadura y corte, los cuales se deben tratar de evitar poniendo todas las medidas que sean necesarias. Estos problemas o lesiones se pueden generar, desde una mala postura hasta la inhalación de humos dañinos. A continuación, se van a mencionar algunas enfermedades y daños a los que se está expuesto durante los trabajos de soldadura.

Relacionados con los humos de la soldadura, puede aparecer fiebre de humos generada por la exposición a gases como zinc, magnesio, cobre y óxido de cobre. Además, puede aparecer bronquitis, edema pulmonar y neumonía, referente a la presencia de líquido en los pulmones. También existe la presencia de náuseas, vómito, pérdida de apetito y asfixia por la inhalación de humos.

Relacionados con la luz y la exposición al calor, pueden aparecer daños en la retina y la córnea del ojo, así como el “ojo de arco” ocasionado por la luz ultravioleta que se manifiesta con la sensación de arena en el ojo, visión borrosa y dolor de cabeza. También es muy común el estrés térmico por calor e insolación.

Relacionados con posturas y posiciones, existen los desórdenes en la espalda como escoliosis y hernias de disco. Son muy comunes las lesiones de hombro y problemas en los tendones en los soldadores.



Imagen 3. 5. Soldador trabajando en una postura incómoda y a varios metros de altura con riesgo de caída sin arnés de seguridad. Fuente: [32]



Imagen 3. 6. Trabajo de soldadura sin la extracción de humos conveniente. Fuente: [32]

Por lo tanto, una vez analizadas las condiciones de trabajo se pueden presentar en los trabajos de soldadura e inspección en el sector naval, así como los riesgos que tienen asociados estos trabajos, el propósito de analizar este constructo es conocer si las condiciones de trabajo en este sector son las adecuadas y si pueden afectar al resto de constructos como son la calidad de las uniones soldadas o los resultados de las inspecciones de soldadura.

3.1.4. Resultados de la calidad de las uniones soldadas

La calidad en las uniones soldadas es de suma importancia por varias razones:

- Seguridad: Las uniones soldadas se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde la construcción de puentes y edificios hasta la fabricación de vehículos y equipos industriales. Si las soldaduras no son de alta calidad, pueden debilitarse con el tiempo o incluso fallar, lo que podría resultar en accidentes graves, lesiones o daños materiales.
- Durabilidad: Las uniones soldadas deben ser capaces de resistir tensiones, vibraciones, impactos y condiciones ambientales adversas a lo largo de su vida útil. Una soldadura de baja calidad puede agrietarse, corroerse o debilitarse con el tiempo, lo que afecta negativamente a la durabilidad de la estructura o el componente en el que se encuentra.
- Eficiencia y costos: Las soldaduras defectuosas pueden llevar a reparaciones y reemplazos costosos. Además, si una soldadura no cumple con las especificaciones de diseño, puede requerir retrabajo, lo que aumenta los costos de producción y retrasa los plazos de entrega.
- Rendimiento: En muchas aplicaciones, como la industria aeroespacial, automotriz o de la construcción, el rendimiento de las soldaduras es crítico. Las soldaduras de alta calidad aseguran que los componentes funcionen según lo previsto y mantengan su integridad estructural y funcional.
- Cumplimiento de estándares y regulaciones: En muchas industrias, existen normativas y estándares estrictos que regulan la calidad de las soldaduras, con el objetivo de garantizar la seguridad y la confiabilidad. El incumplimiento de estos estándares puede tener consecuencias legales y regulatorias.
- Inspección y mantenimiento: La calidad de las soldaduras influye en la facilidad de inspección y mantenimiento. Las soldaduras bien hechas suelen requerir menos esfuerzo y recursos para su inspección y mantenimiento a lo largo del tiempo.
- Integridad estructural: En aplicaciones críticas, como la construcción de puentes, rascacielos, presas o naves espaciales, la calidad de las soldaduras es esencial para garantizar la integridad estructural y la estabilidad de la infraestructura.

En resumen, la calidad en las uniones soldadas es fundamental para garantizar la seguridad, durabilidad, eficiencia y rendimiento de las estructuras y componentes en los que se utilizan. Además, cumple con los estándares y regulaciones aplicables, reduce los costos de mantenimiento y reparación, y asegura que los productos sean seguros y confiables.



Imagen 3. 7. Ejemplo de una soldadura con la calidad requerida. Fuente: [32]

Por otro lado, es importante saber también, cuándo una soldadura se considera de calidad. Una soldadura se considera de calidad cuando cumple con una serie de criterios y estándares predefinidos, que varían según la aplicación y los requisitos específicos del proyecto. Algunos de los factores clave que determinan la calidad de una soldadura son los siguientes:

- Cumplimiento de especificaciones: Una soldadura de calidad debe cumplir con las especificaciones de diseño y los estándares aplicables. Esto incluye la dimensión, la geometría, el tipo de material de aporte, la posición de la soldadura y otros parámetros establecidos en el plan de soldadura.
- Integridad estructural: La soldadura debe ser estructuralmente sólida y capaz de soportar las cargas y tensiones previstas en la aplicación sin debilitarse ni fallar. Debe estar libre de defectos críticos, como grietas, porosidades, inclusiones de escoria, falta de fusión, falta de penetración, entre otros.
- Aspecto visual: Aunque no es el único criterio, una soldadura de calidad debe tener un aspecto visual adecuado. Debe estar libre de defectos superficiales visibles, como grietas, inclusiones de escoria, porosidades excesivas, desalineación y deformaciones excesivas.
- Penetración adecuada: La soldadura debe tener una penetración adecuada en el material base para asegurar una unión sólida. La profundidad de penetración debe cumplir con las especificaciones del proyecto.
- Buena fusión: La soldadura debe asegurar una fusión adecuada entre el material de aporte y el material base, sin áreas de falta de fusión ni zonas frías.
- Resistencia mecánica: La soldadura debe ser capaz de resistir las fuerzas y tensiones esperadas en la aplicación. Esto se evalúa mediante ensayos mecánicos, como pruebas de tracción y flexión, que deben cumplir con las especificaciones de diseño.
- Pruebas no destructivas (NDT): Las pruebas no destructivas, como radiografía, ultrasonido, partículas magnéticas o inspección por líquidos penetrantes, deben mostrar que la soldadura no tiene defectos internos que puedan debilitarla o comprometer su integridad.

- **Cumplimiento de estándares y regulaciones:** La soldadura debe cumplir con las normativas y estándares aplicables en la industria o la jurisdicción en la que se utiliza.
- **Documentación adecuada:** La documentación de la soldadura, que incluye registros de procedimiento de soldadura y registros de inspección, debe estar completa y precisa.

En resumen, una soldadura de calidad es aquella que cumple con las especificaciones de diseño, es estructuralmente sólida, libre de defectos críticos, resiste las tensiones esperadas, cumple con estándares y regulaciones, y se documenta adecuadamente. La calidad de una soldadura es esencial para garantizar la seguridad, durabilidad y rendimiento de las estructuras y componentes en los que se utiliza.

3.1.5. Resultados de las inspecciones de soldadura

Los resultados de una inspección de soldadura pueden variar según los métodos y las técnicas de inspección utilizados. Estos resultados se presentan en forma de informes que proporcionan información detallada sobre la calidad de la soldadura. A continuación, se describen algunos de los posibles resultados de una inspección de soldadura:

Aprobado: Si la soldadura cumple con todas las especificaciones de diseño, estándares y normativas aplicables, se considera aprobada. Esto significa que la soldadura cumple con los criterios de calidad y es adecuada para su uso previsto.

Rechazado: Cuando se identifican defectos críticos o la soldadura no cumple con los requisitos especificados, se rechaza. En este caso, se requerirá reparación o retrabajo para corregir los defectos antes de que la soldadura sea aceptable.

Aceptable con limitaciones: En algunos casos, se pueden encontrar defectos menores o no críticos que no afectan significativamente la integridad de la soldadura. En tales situaciones, la soldadura puede ser aceptable con ciertas limitaciones o restricciones, como un tamaño máximo permitido para los defectos.

Los resultados de la inspección pueden mostrar la presencia de defectos, como grietas, porosidades, inclusiones de escoria, falta de fusión, falta de penetración u otros problemas. Estos defectos se describen en detalle en el informe de inspección y se pueden clasificar según su tipo, tamaño y ubicación. Además, si se identifican defectos, el informe de inspección puede incluir recomendaciones específicas para corregir los problemas. Esto podría implicar instrucciones sobre cómo llevar a cabo la reparación o el retrabajo necesario.

En algunos casos, los resultados de la inspección pueden sugerir la necesidad de pruebas o investigaciones adicionales para evaluar más a fondo la calidad de la soldadura. Esto podría incluir pruebas de carga, análisis metalúrgicos o inspecciones ultrasónicas más detalladas.

Los resultados de la inspección son esenciales para determinar si una soldadura es de calidad y cumple con los requisitos específicos del proyecto. Estos resultados también guían las decisiones sobre si la soldadura es aceptable o si se requiere reparación o retrabajo. La documentación precisa y detallada de los resultados de la inspección es fundamental para garantizar la integridad y la seguridad de las estructuras y componentes en los que se utilizan las soldaduras.



Imagen 3. 8. Medición del espesor de una soldadura en T con un calibre. Fuente: [33]

A continuación, se van a citar un ejemplo real en el que se ha llevado a cabo una incorrecta inspección de las uniones soldadas.

Ejemplo 1.

“En julio de 2012, casi nos perdimos donde casi tuvimos que reemplazar 5 millas de tubería después de que se descubrió que la tubería subterránea no cumplía con las especificaciones debido a soldaduras fuera de especificaciones e inspección radiográfica inadecuada. El cliente acordó no reemplazar toda la tubería si reparamos las soldaduras fuera de especificaciones, y si completamos una evaluación de ingeniería que incluyera una inspección aleatoria de otras 10 soldaduras, que se completó satisfactoriamente para su satisfacción. Las soldaduras estaban fuera de especificación porque no se usó la varilla de soldadura adecuada y las soldaduras no se inspeccionaron. Se utilizó la varilla de soldadura incorrecta porque el soldador no tenía claras las especificaciones, y pensó que la varilla utilizada cumpliría porque ya la había usado en un trabajo anterior. Las soldaduras no se inspeccionaron porque no se notificó a los inspectores de soldadura que estaban allí, esto fue debido a que el gerente del proyecto no creía que fuera necesario y estaba tratando de completar el trabajo rápidamente. Estaba tratando de completar el trabajo rápidamente porque se estaban acercando al final del proyecto y si terminaban antes de lo previsto, el equipo recibiría una bonificación. Por otro lado, **se llevó a cabo una inspección radiográfica inadecuada** por el uso de una película incorrecta y rayos X sobreexpuestos. Es decir, **se utilizó la película equivocada porque el técnico tenía varias películas disponibles para su uso y no sabía en qué película usar porque era nuevo en el trabajo y no había recibido mucha capacitación.** La falta de capacitación fue causada por el empleador de los técnicos pensando que estaba calificado y porque no tenían el personal disponible para entrenarlo o guiarlo. **Los rayos X estaban sobreexpuestos porque se utilizó un procedimiento de revelado incorrecto porque el técnico no tenía experiencia en esta área.**”

3.2. Presentación del modelo

El modelo de hipótesis desarrollado consta de un modelo interno o estructural que representa la relación entre los constructos (círculos) y de un modelo externo o de medida que muestra las relaciones existentes entre los indicadores (rectángulos) y los constructos. Los constructos o variables latentes están representados por círculos y los indicadores por rectángulos. Los constructos y las flechas entre ellos hacen referencia al modelo interno o estructural, mientras que los rectángulos y las flechas que causan el indicador o constructo son el modelo de medida.

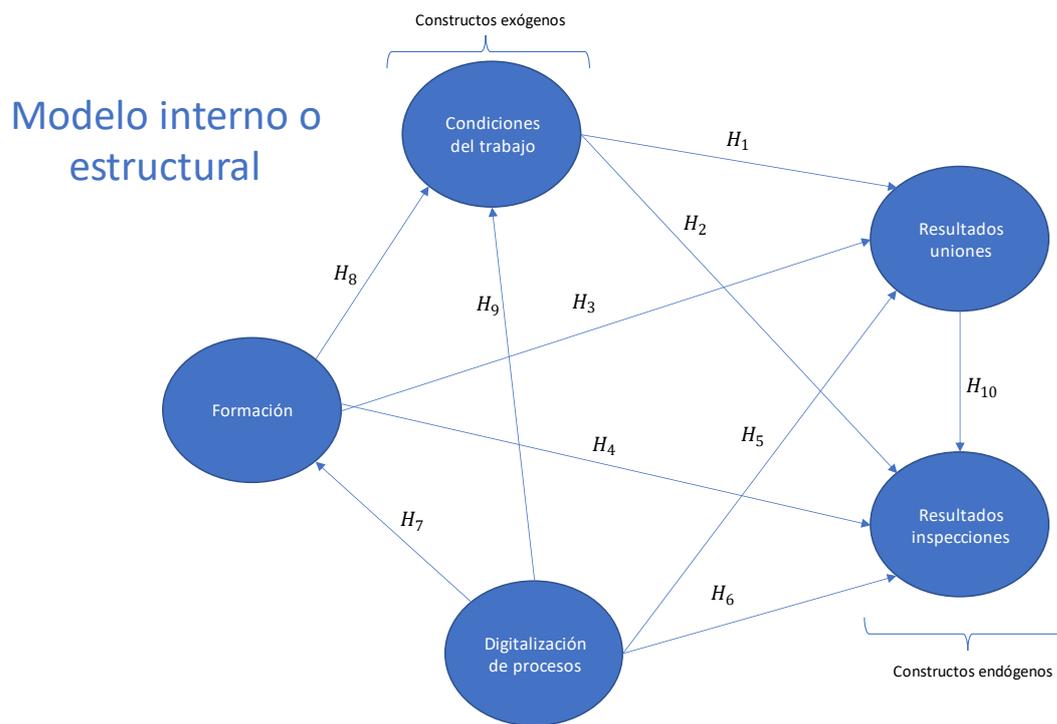


Imagen 3. 9. Modelo interno o estructural del modelo de hipótesis.

Fuente: elaboración propia.

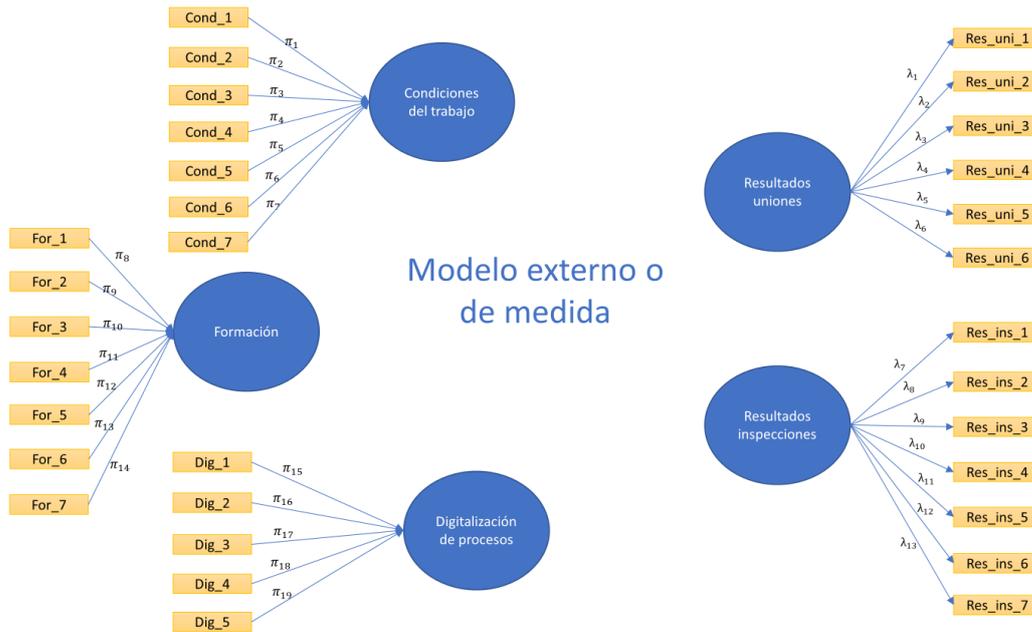


Imagen 3. 10. Modelo externo o de medida del modelo de hipótesis.

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, dentro del modelo externo se pueden distinguir modelos formativos y modelos reflectivos.

El modelo formativo (bloque formativo) está formado por constructos formativos e indicadores de medida, en el que estos son la causa o antecedente del constructo. La dirección de causalidad es de indicador observable a constructo, es decir, la flecha sale de la variable observable hacia el constructo. Los indicadores no son intercambiables, lo que quiere decir que, en este modelo, cada indicador representa un significado del constructo, y quitar un indicador supone que el constructo pierde parte de su significado.

El modelo reflectivo (bloque reflectivo) se considera un modelo de medida donde los indicadores del constructo son competitivos entre sí y representa manifestaciones del mismo. En este caso, la relación de causalidad va del constructo a los indicadores, es decir, la flecha va del constructo hacia sus indicadores, y un cambio en el constructo se verá reflejado en todos sus indicadores. Por lo tanto, la diferencia entre los dos enfoques, formativo y reflectivo, es la relación causal entre los indicadores y los constructos.

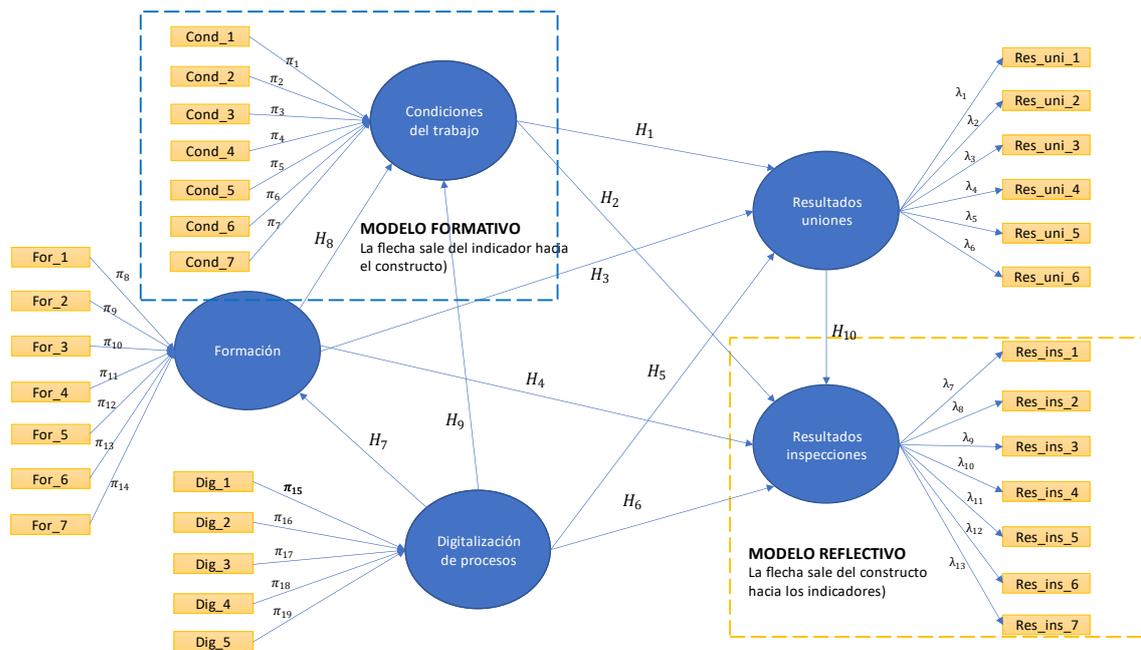


Imagen 3. 11. Modelos formativos y reflectivos.

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se describen algunos de los elementos que forman la representación gráfica del modelo:

- Los constructos o variables latentes están representados por círculos. Dentro de estos se puede distinguir los constructos exógenos que actúan como variables predictoras de constructos endógenos.
- Los indicadores o variables observables se representan como rectángulos. Se pueden distinguir dos tipos de indicadores. Los indicadores reflectivos que son expresados como una función del constructo, de tal modo que estos indicadores son manifestaciones del constructo. Por tanto, el constructo precede a los indicadores. Los indicadores formativos son aquellos que implican que la variable latente es expresada como función de los indicadores, es decir, los indicadores causan o preceden al constructo.
- Representaciones asimétricas. Son las relaciones unidireccionales entre variables. Se pueden interpretar como relaciones predictivas o casuales y se representan con flechas en una sola dirección. El esquema de flechas especifica la relación interna entre constructos (modelo interno o estructural) y las relaciones externas entre los indicadores y los constructos (modelo externo o de medida). A continuación, se muestran dos figuras que representan cómo estaría formado el modelo interno o estructural y el modelo de externo o de medida.
- Los bloques son el conjunto de flechas entre un constructo (círculo) y sus indicadores asociados (cuadrados). Pueden ser de dos tipos:
 - 1) Dirigidos internamente: situación que se da cuando existen indicadores formativos.
 - 2) Dirigidos externamente: se da cuando existen indicadores reflectivos y las flechas van del círculo a los cuadrados.

Como bien se ha comentado, existen dos tipos de constructos, los constructos exógenos o formativos son aquellos que actúan como variables predictoras de constructos endógenos o reflectivos. En nuestro modelo de hipótesis se tiene constructos que actúan como formativos, reflectivos y como ambos a la vez.

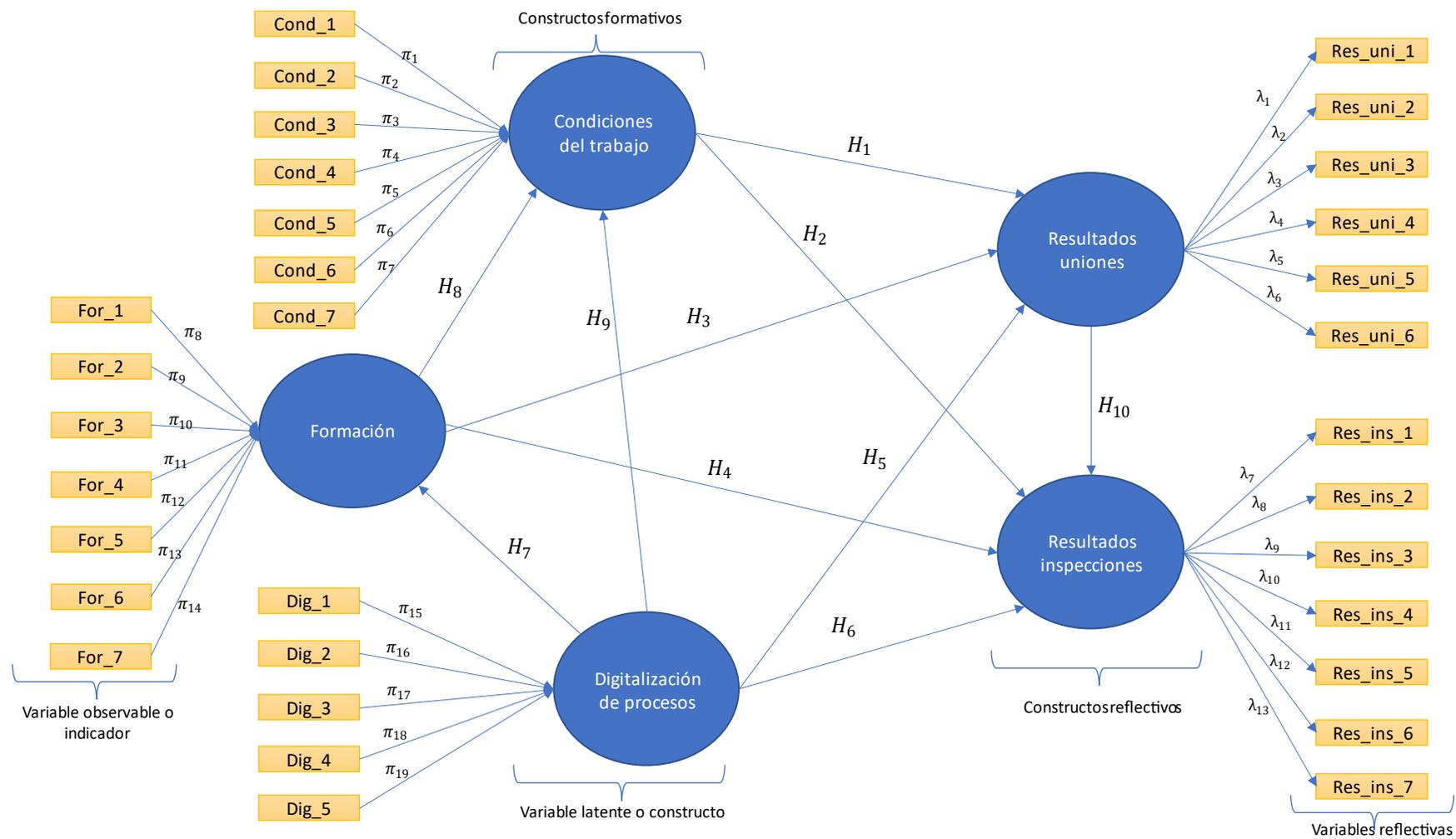


Imagen 3. 12. Representación gráfica del modelo de hipótesis y las partes que lo componen.

Fuente: elaboración propia.

Capítulo 4. Metodología PLS-SEM

4.1. Modelos de ecuaciones estructurales

Uno de los principales cometidos de las técnicas estadísticas multivariantes es aumentar el poder explicativo de la validación empírica de la teoría, o aumentar el conocimiento teórico donde este sea escaso. Los modelos de ecuaciones estructurales son una técnica de análisis de datos multivariante de segunda generación que dan una mayor confianza a la investigación gracias al uso de robustos y potentes softwares.

Su desarrollo significa un gran avance en la investigación empírica porque permitió probar al mismo tiempo una serie de dependencias entre variables independientes y dependientes.

Recientemente, los MEE se han convertido en los análisis multivariantes más importantes empleados en las ciencias sociales.

Se dice que estos modelos de ecuaciones estructurales son de segunda generación, llamándose así a aquellas técnicas que pretenden vincular los datos empíricos con la teoría, es decir, incorporan el conocimiento teórico dentro del análisis empírico.

Por otro lado, los MEE han surgido de la unión de la perspectiva econométrica, que se centra en la predicción, y del enfoque psicométrico, que modela conceptos como variables latentes (no observadas) que son derivadas de indicadores observables. Los científicos de ciencias sociales pueden ahora modelizar analíticamente caminos con variables latentes gracias a los MEE.

En general, los métodos MEE permiten lo siguiente:

- Modelizar el error de medida, es decir, el grado en que una variable que se puede medir (indicador) no describe perfectamente la variable de interés.
- Aportar constructos abstractos y que no se puedan observar.
- Modelizar relaciones entre múltiples variables predictoras y criterios.
- Combinar y comparar conocimientos previos y suposiciones con datos empíricos.

Existen dos tipos de técnicas estadísticas que pueden llevar a cabo los análisis que los MEE desarrollan:

Métodos basados en covarianzas (MBC), se recomiendan para contrastar teorías, pruebas de hipótesis o en el diseño de nuevas teorías, partiendo de la teoría y de investigaciones previas. Estos métodos son desarrollados a partir de programas estadísticos como *LISREL*, *EQS*, *AMOS*, *Sepath* y *Ramona*.

Enfoque de mínimos cuadrados parciales o *Partial Least Squares*, basado en el análisis de la varianza, que puede ser utilizado por medio de programas como *LV-PLS*, *PLS-SEM* y *PLS-Graph*.

Los dos enfoques difieren en los objetivos del análisis, los supuestos estadísticos en los que se basa el análisis y la naturaleza de las estadísticas apropiadas proporcionadas.

En el análisis de estructuras de covarianza (CB), se debe considerar la teoría e investigaciones previas, las cuales deben ser el punto de partida para tales modelos. En situaciones prácticas, una revisión bibliográfica del tema de investigación permitirá obtener un modelo teórico a partir del cual se podrá precisar el dominio de los conceptos analíticos y sus relaciones. Además, la teoría permitirá estructurar los ítems de los constructos establecidos en el modelo teórico. Además, una característica esencial de este método es el cumplimiento de los supuestos estadísticos, como la normalidad de los datos y el tamaño de la muestra, por lo que se considera una técnica SEM paramétrica.

El segundo método se refiere al método PLS, basado en el análisis de varianza, el cual implica un método de modelado más flexible, ya que no requiere supuestos paramétricos estrictos, principalmente en cuanto a la distribución de los datos. El modelado de ecuaciones estructurales usando mínimos cuadrados parciales (PLS) no requiere las condiciones exigidas para el modelado de ecuaciones estructurales de covarianza tradicional (CB) respecto a las distribuciones estadísticas, es decir, usan pruebas no paramétricas. Además, la modelización PLS persigue la predicción de las variables dependientes. Esto se traduce en intentar incrementar el valor R^2 de las variables dependientes. Los PLS se usan más para aplicaciones predictivas y desarrollo de la teoría.

Los métodos multivariantes de primera y segunda generación se clasifican de la siguiente forma:

Tabla 4. 1. Organización de los métodos multivariantes. Fuente: Hair, Hult, Ringle y Sarstedt (2017, p.2)

Técnica	Exploratorio (predictivas)	Confirmatorio (explicativa)
Técnicas de primera generación	Análisis de conglomerados	Análisis de varianza
	Análisis factorial exploratorio	Regresión logística
	Escalamiento multidimensional	Regresión múltiple
		Análisis factorial confirmatorio
Técnicas de segunda generación	PLS-SEM	CB-SEM

4.2. La modelización PLS y su representación gráfica

4.2.1. Modelización PLS

Las ciencias sociales se apoyan, cada vez más, en herramientas estadísticas sofisticadas. Esto permite utilizar modelos complejos mediante el uso de técnicas con la modelación de ecuaciones estructurales (*Structural Equation Modeling, SEM*) que permite realizar regresiones múltiples entre variables latentes. Conceptualmente, el propósito es plasmar en un modelo cómo los factores internos y externos afectan al índice de competitividad, teniendo en cuenta la forma en que las variables pueden estar interrelacionadas.

En base a los resultados obtenidos, se construye un modelo para ver Interrelaciones entre variables, en este caso utilizando la técnica PLS, una Técnicas de modelado de ecuaciones estructurales que se centran en la maximización varianza de la variable dependiente explicada por las variables independientes (Loehlin, 1998).

El PLS, siendo una técnica SEM, es un método que asume que cada constructo juega el papel de un concepto teórico que es representado por sus indicadores y las relaciones entre constructos deben ser establecidas, teniendo en cuenta el conocimiento previo (teoría) del fenómeno bajo análisis. La técnica PLS se basa en un algoritmo iterativo en el cual los parámetros son calculados por una serie de regresiones *Least Squares* y el término *Partial* se debe a que el procedimiento iterativo involucra separar los parámetros en vez de estimarlos de forma simultánea.

El PLS es capaz de manejar modelos muy complejos con una gran cantidad de constructos e interrelaciones, además, permite trabajar con pequeñas muestras, y hace suposiciones menos estrictas sobre la distribución de los datos, pudiendo trabajar con datos nominales, ordinales o de intervalo. Además, se ha demostrado que los métodos matemáticos del PLS son muy robustos y rigurosos. En resumen, el PLS puede ser una herramienta potente debido a los requisitos mínimos en escalas de medición, tamaño de muestra, y distribuciones residuales.

La modelización flexible (PLS) tiene la capacidad de ser usada adecuadamente incluso cuando se dan algunas de las siguientes circunstancias:

Condiciones teóricas

Las relaciones entre los constructos teóricos no están bien fundadas.

Algunas de las relaciones entre los constructos son conjeturas.

Condiciones de medida

Las variables no son del todo fiables.

Algunas de las variables tienen varios niveles de medida.

Condiciones de distribución

La información viene de distribuciones no conocidas.

Condiciones prácticas

Se modelan muchas variables latentes.

Hay pocos casos o bien demasiados.

4.2.2. Representación gráfica del método PLS

Las descripciones gráficas nos proporcionan una representación de la relación entre las variables. El primer paso que deben dar los investigadores en los estudios de PLS es especificar explícitamente el modelo estructural (modelo interno) y la relación entre los indicadores y los constructos (modelo externo). Para este primer paso, hacer un monograma es de gran ayuda.

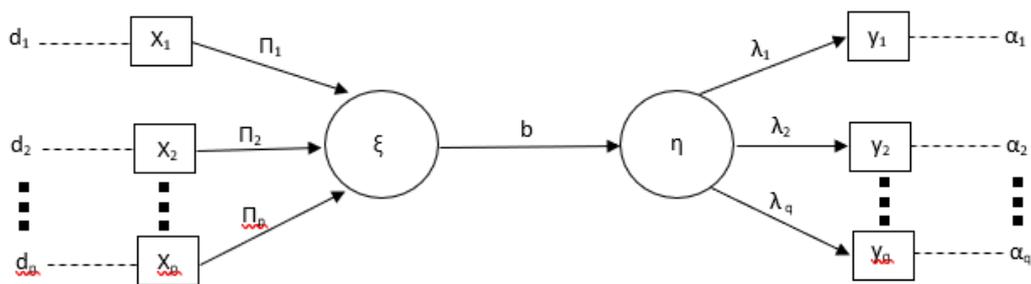


Imagen 4. 1. Modelo de dos constructos.

Fuente: elaboración propia

Según el modelo de constructos de la imagen anterior, se definen las siguientes variables:

- ξ : constructo exógeno.
- η : constructo endógeno.
- X : indicadores, variables formativas.
- y : indicadores, variables reflectivas.
- π : pesos de regresión.
- d : residuos de las regresiones.
- λ : cargas.
- α : términos de error.
- b : coeficiente de regresión simple entre constructos.

Los términos básicos empleados en las representaciones gráficas son:

Constructo teórico o variable no observable. Este se representa en el diagrama mediante un círculo. Hay dos tipos de constructos, los exógenos que son las variables predictoras o causales, es decir, es la variable independiente, y los constructos endógenos, la variable dependiente.

Indicadores o variables observables. Se representan gráficamente por cuadrados. Se pueden distinguir dos tipos básicos de indicadores: indicadores reflectivos, donde las variables observables son una función del constructo y representan manifestaciones de este. Y los indicadores formativos, donde el constructo se expresa en función de las variables manifiestas, es decir, los indicadores preceden al constructo.

Relaciones asimétricas. Son relaciones de una sola dirección entre variables. Se pueden interpretar como relaciones “causales” o predictivas, representadas gráficamente por flechas con una sola dirección. Cuando una flecha apunta a una variable, representa la predicción de la varianza de esa variable.

Bloque. Este nombre hace referencia al conjunto de flechas entre los círculos (constructos) y sus cuadrados asociados (indicadores). Los bloques pueden ser: orientados

internamente, esto sucede cuando los indicadores formativos están presentes y la flecha apunta del cuadrado al círculo. O bien, dirigidos externamente, es el caso de los indicadores reflectivos con flechas que apuntan desde el círculo hacia el cuadrado.

Capítulo 5. Técnicas de recopilación de datos

5.1. Población objeto de estudio

La soldadura está presente en gran variedad de sectores industriales, sin embargo, la forma de trabajar y los procesos empleados pueden ser muy distintos en función del producto final. Este estudio se va a limitar a las inspecciones de soldadura en el sector naval y, por tanto, afectará a todos los profesionales implicados en el antes, durante y después de las inspecciones de soldadura.

Se ha eliminado de la población objeto aquellos profesionales de la soldadura que no han trabajado para el ámbito naval, así como aquellos con escasa experiencia. Además, no se ha limitado la población a personas exclusivamente con la misma formación o que tienen el mismo puesto de trabajo.

Por esta razón, la población objeto de estudio han sido soldadores, inspectores de construcciones soldadas, ingenieros internacionales de soldadura, jefes de obra, supervisores de trabajos mecánicos y jefes de producción. Teniendo todos ellos en común un conocimiento y experiencia en trabajos de soldadura del sector naval.

Con el fin de asegurar que la encuesta es resuelta únicamente por profesionales del sector se envía el cuestionario directamente a los expertos en la temática. Además, se evita poner la encuesta en abierto en redes sociales para garantizar que la responde gente experta, ya que, sino la podría responder alguien ajeno a la población objetivo.

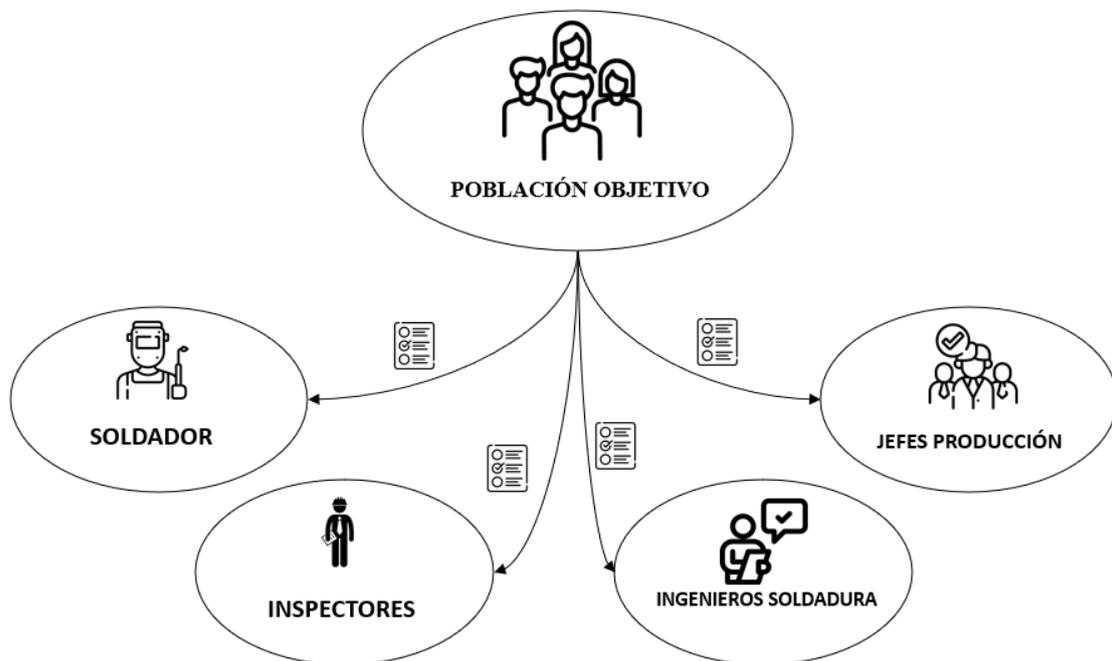


Imagen 5. 1. Población objetivo.

Fuente: elaboración propia.

5.2. Recogida de información

5.2.1. Proceso de recogida de datos

La información necesaria para el estudio se ha reunido a través de una encuesta diseñada en “Formularios de Google”, la cual se ha hecho llegar al usuario final mediante un link que se enviaba a través de correo electrónico o directamente a su teléfono móvil. Se trata de una encuesta anónima lo cual beneficia a los resultados ya que los encuestados suelen responder de una manera más sincera.

Una de las ventajas de utilizar la herramienta “Formularios de Google” como herramienta para crear el cuestionario es que todas las respuestas se van guardando automáticamente en una tabla Excel asociada al cuestionario. Por lo tanto, todas las respuestas que se recogían llegaban en tiempo real y se almacenaban sin necesidad de hacer nada. Además, como se ha comentado previamente, el hecho de enviar la encuesta directamente al usuario, asegura una gran fiabilidad y calidad en la obtención de los resultados, ya que, solo responderán la encuesta expertos del sector.

Por otro lado, la principal desventaja del proceso de recogida de datos es encontrar y enviar la encuesta a una población objetivo tan específica como son los profesionales de la soldadura en el sector naval. Aunque parezca que pueda haber muchos, no es así, y encontrar un gran número de expertos, hacerle llegar el cuestionario y que lo respondan, ha sido sin duda bastante difícil de conseguir.

El periodo de recogida de información tuvo lugar entre los meses de junio y octubre de 2023. El proceso se realizó de la siguiente manera, primero, se contactó telefónicamente con todos los conocidos que trabajasen en empresas mecánicas del sector naval (soldadores, inspectores y jefes de obra) y se les envió el cuestionario para que lo contestaran, tanto ellos, como los compañeros de trabajo también expertos en la materia. De esta manera se podía llegar a casi todos los profesionales de cada una de estas empresas. Todos estos contactos se han conseguido gracias a que el autor de este proyecto trabaja en un astillero de reparaciones y cuenta con conocidos en el sector de la soldadura. Por su parte, el codirector de este TFM conoce a un gran número de inspectores de soldadura a los cuales le hizo llegar la encuesta mediante correo electrónico, lo cual, fue de gran ayuda. Por último, se recurrió a contactar mediante teléfono y correo electrónico a otras empresas del sector localizadas por todo el país, para después invitar a algunos de sus empleados a rellenar la encuesta. Esto fue necesario para aumentar la población objetivo ya que solo con los conocidos dicha población era escasa.

El cuestionario fue previamente revisado por profesionales de la Universidad Politécnica de Cartagena y, aunque no se detectaron problemas importantes, sí que se introdujeron mejoras que facilitaban la comprensión del mismo.

5.2.2. Descripción del cuestionario

Se puede definir el cuestionario como un entorno físico empleado para recopilar información sobre los encuestados, que dispone de una estructura de preguntas y espacios para las respuestas, con informaciones extra que sirva de guía para completarlo.

Uno de los pasos más importantes en el diseño de la encuesta es el de elaborar el cuestionario ya que, el adecuado diseño de las preguntas condicionará los resultados obtenidos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que no hay unas reglas que puedan garantizar la elaboración de un cuestionario eficaz y eficiente. Esto implica que las técnicas para la creación de un cuestionario efectivo son aprendidas por el propio investigador mediante su propia experiencia de donde deducirá algunas reglas que puedan ser útiles a la hora de diseñar el cuestionario.

5.2.2.1 Orden y diseño

Un tema de gran relevancia es el orden en el que se colocan las preguntas. En esta encuesta se ha empleado una serie de pautas aceptadas que son las siguientes:

- Comenzar la encuesta con un mensaje breve de presentación, dónde se diga quién realiza la encuesta y se presenten los objetivos de la misma, motivando al encuestado con la importancia de su participación.
- Seguir un orden lógico en las preguntas del cuestionario de manera que el encuestado no tenga que estar pensando por el cambio en la temática de la pregunta. Las preguntas de un mismo tema se presentarán juntas, ya que si se colocan de forma desordenadas pueden ser una fuente de error.
- Las preguntas clave o de mayor importancia para la investigación se deben colocar en la mitad de la encuesta, de forma que la persona que contesta no esté demasiado cansada, pero se le haya despertado el interés con las primeras preguntas.
- En el final de la encuesta, introducir algunas preguntas más sencillas de responder para liberar la tensión del encuestado.
- Es importante terminar con un agradecimiento por la colaboración prestada.

Una opción que no se ha contemplado es la de poner de manera aleatoria las preguntas de la encuesta, sin embargo, esto es totalmente desaconsejable, ya que podría tener efectos negativos como que el cuestionario pareciera caótico y resultara más difícil de contestar a los encuestados al tener que cambiar de un tema a otro constantemente.

Otro aspecto importante en la elaboración del cuestionario es el diseño del mismo. Un formato inadecuado podría ocasionar errores a la hora de contestar las preguntas. En nuestro caso, se ha hecho uso de “Formularios de Google” que nos ofrece un formato sencillo y adecuado para este tipo de encuestas, facilitando tanto la visualización de las preguntas como el registro de las respuestas.

A continuación, la *Imagen 5.2* muestra algunos de los elementos a tener en cuenta para el diseño de encuestas.



Imagen 5. 2. Elementos para el diseño de encuestas.

Fuente: elaboración propia.

5.2.2.2. Características de las preguntas

Las preguntas del cuestionario se dividen en dos tipos:

- Preguntas de control: sirven para identificar el perfil de la persona que realiza la encuesta. Son preguntas sobre su sexo, edad, formación, experiencia profesional, etcétera. Son preguntas abiertas por lo que se le solicita a la persona que formule su respuesta.
- Preguntas de escala lineal: se solicita a la persona que escoja una respuesta con valor de uno a cinco, teniendo estos valores un carácter negativo o positivo para la pregunta formulada.

Todas las preguntas del cuestionario han sido redactadas en base a las siguientes características:

- Lenguaje entendible. La finalidad es que todas las preguntas sean fácilmente comprensibles para todos los usuarios. Al tratarse de una encuesta técnica orientada a un grupo de profesionales, las preguntas contienen lenguaje técnico en el ámbito de la soldadura, pero no debe de haber problema ya que van dirigidas a un público concreto.
- Deben ser lo más cortas posibles. Los textos largos pueden aburrir y confundir al encuestado, por lo que, cuanto más corta sea la pregunta mejor.

- Tienen que ser neutras. Las preguntas no pueden relacionar constructos de hipótesis entre sí. Las relaciones entre constructos las hará el programa PLS-SEM cuando se analicen.
- Evitar preguntas ambiguas.
- Las preguntas se formulan de forma personal y directa hacia el encuestado, evitando generalizaciones.
- Evitar preguntas que requieran cálculos.
- La lectura de las preguntas debe inducir a colaborar con la encuesta.

Las preguntas del cuestionario se han extraído a partir del estudio y lectura de diversas fuentes. Se ha hecho una recopilación de información previa acerca de los temas a tratar con el fin de poder redactar las preguntas de manera adecuada y que tengan sentido en la investigación. Esto incluye la consulta a expertos y revisión de bibliografía de artículos, publicaciones y otras encuestas.

5.2.2.3. *Elaboración del cuestionario.*

Como se ha comentado anteriormente, la tarea de elaborar un cuestionario es tan compleja que podría hablarse de que se trata de un arte más que una técnica, ya que no existen pautas que te indiquen como hacerlo, sino que es necesario emplear el sentido común, tener experiencia y recopilar información de otros trabajos. La elaboración del cuestionario es vital para el desarrollo de la investigación ya que es relevante en la calidad de la misma. Si el cuestionario se diseñara mal y las preguntas no fueran adecuadas, proporcionaría errores en la interpretación de los resultados. Mientras que, si el cuestionario se diseña bien, asegurará una recogida de información adecuada.

El proceso de elaboración del cuestionario ha sido el siguiente:

- 1) Se crea una hoja Excel con la finalidad de ir redactando las preguntas, clasificándolas por constructos y donde se obtendrá el listado final. A cada pregunta se le asigna una posición/ítem, se clasifica según el constructo al que pertenece, se da una justificación para la pregunta propuesta y se le asigna un código.

Tabla 5. 1. Encabezado de la tabla utilizada para clasificar las preguntas del cuestionario.

ITEM	PREGUNTA	CONSTRUCTO	JUSTIFICACIÓN	CÓDIGO

Fuente: elaboración propia.

- 2) Antes de empezar a diseñar el cuestionario, se recopila la mayor información posible sobre el tema objeto de estudio, ya que esta información condicionará el diseño.
- 3) Se proponen preguntas y se incorporan a la hoja Excel.

ITEM	PREGUNTA	CONSTRUCTO	ORIGEN/JUSTIFICACIÓN PREGUNTA	Código	
A	SEXO	Pregunta de control	Pregunta de control		
B	EDAD	Pregunta de control	Pregunta de control		
C	Formación (Curso soldador, ICS, IWI, Ingeniería, etcétera).	Pregunta de control	Pregunta de control		
D	Puesto de trabajo relacionado con la soldadura (Soldador, Supervisor, Inspector, Jefe de producción, Jefe)	Pregunta de control	Pregunta de control		
E	¿Cuántos años de experiencia profesional tiene trabajando en el ámbito de la soldadura?	Pregunta de control	Pregunta de control		
7	¿Hace uso de los EPI's necesarios para realizar su trabajo?	Condiciones de trabajo	La idea con esta pregunta es relacionar el vestir los EPIs con los resultados de las uniones soldadas, y sacar alguna conclusión de que llevar los EPIs que a veces son incómodos, influyen en los resultados.	Cond_7	Actualizada según tutoría
8	¿Dispone de procedimientos escritos para realizar la inspección de la soldadura?	Resultados de las inspecciones soldadas/ Calidad de la inspección	Carrillo Olivares, F. y Lopez Torres, F. Soldadura, corte e inspección de obra soldada.	Res_ins_1	Actualizada según tutoría
9	Antes de empezar con la soldadura, ¿se verifica: - Validez de los certificados de cualificación de los soldadores - Idoneidad de la especificación del procedimiento de soldeo - Identificación de consumibles de soldeo - Preparación de las uniones - Idoneidad de las condiciones de trabajo - Idoneidad y condiciones de los equipos?	Resultados de las inspecciones soldadas/ Calidad de la inspección	ICS 3. Tema 8. Control de calidad	Res_ins_2	Actualizada según tutoría
10	Durante la soldadura, ¿se verifican los factores: - Parámetros de soldeo - Temperatura de precalentamiento, temperatura entre pasadas - Limpieza de los cordones y pasadas del metal - Resanado de la raíz - Secuencia de soldeo - Control de deformaciones?	Resultados de las inspecciones soldadas/ Calidad de la inspección	ICS 3. Tema 8. Control de calidad	Res_ins_3	Actualizada según tutoría
15	¿Dispone (o disponía) usted de la formación necesaria para su puesto de trabajo?	Formación del inspector/soldador	la certificación deberá realizar una formación específica, cuya duración dependerá del nivel de certificación. Section IX ASME (Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators)	For_1	
16	¿Recibe formación por parte de su empresa?	Formación del soldador	Carrillo Olivares, F. y Lopez Torres, F. Soldadura, corte e inspección de obra soldada. Capítulo 23. Calificación standard para soldadores.	For_2	
17	¿Considera que está adecuadamente cualificado para realizar su trabajo?	Formación del soldador	Carrillo Olivares, F. y Lopez Torres, F. Soldadura, corte e inspección de obra soldada. Capítulo 23. Calificación standard para soldadores.	For_3	
22	¿La calidad de la soldadura obtenida normalmente en los trabajos es la adecuada?	Resultados de las uniones soldadas/ Calidad de la soldadura	ICS 3. Tema 8. Control de calidad.	Res_uni_1	
26	¿Se obtiene el aspecto y dimensiones deseado de las soldaduras?	Resultados de las uniones soldadas/ Calidad de la soldadura	ICS 3. Tema 8. Control de calidad.	Res_uni_5	Nueva
27	¿Se terminan los trabajos con la calidad requerida en fecha?	Resultados de las uniones soldadas/ Calidad de la soldadura	ICS 3. Tema 8. Control de calidad.	Res_uni_6	Actualizada según tutoría

Imagen 5. 3. Hoja de Excel donde se desarrollaron las preguntas del cuestionario.

Fuente: elaboración propia.

- 4) Se hace el ejercicio personal de preguntarse ¿están bien formuladas las preguntas?, ¿son entendibles las preguntas para el usuario final?, ¿la respuesta a esta pregunta proporcionaría una información útil?
- 5) Revisión y actualización de las preguntas.
- 6) Se enseña y se discuten las preguntas con los directores del trabajo.
- 7) Revisión y actualización de las preguntas.
- 8) Se repiten los pasos 4, 5, 6 y 7 hasta conseguir el listado de preguntas definitivo.

Una vez que se tiene definido el listado de preguntas, el siguiente paso es diseñar la encuesta utilizando la herramienta “Formularios de Google”, el cual se enviará al usuario final. Para el diseño del cuestionario de Google se siguen las siguientes pautas:

- 1) Acceder a “Formularios de Google” desde el navegador.
- 2) Seleccionar formulario en blanco o alguna plantilla. En este caso, se ha elegido un formulario en blanco.

- 3) Agregar “Título” y “Descripción” al formulario. Definir la primera pregunta.
 - Aquí se puede elegir el tipo de respuesta: respuesta corta, respuesta lineal, varias opciones, etcétera.
 - Se puede marcar si se quiere que la pregunta sea obligatoria.
- 4) Añadir nueva pregunta. Se repite el paso tres para cada pregunta nueva.
- 5) Finalizadas las preguntas, se puede elegir un color y estilo para la encuesta.
- 6) En configuración se puede:
 - Previsualizar la encuesta.
 - Recopilar los e-mails que responden a las encuestas.
 - Seleccionar que no se pueda responder dos veces la misma encuesta.
 - Permitir que los usuarios vean un resumen de las respuestas.
 - Poner un mensaje al finalizar
- 7) Enviar la encuesta. Se puede hacer a través de correo electrónico y mediante un enlace que se copia y se le puede enviar al usuario final.

Soldadura e inspección en el sector naval

Se trata de una encuesta de cinco minutos cuyo objetivo es detectar posibles mejoras en la inspección y procesos de soldadura en el sector naval, mediante el análisis de las respuestas obtenidas. Para ello, la deben responder personas relacionadas con el mundo de la soldadura en el sector naval (soldadores, inspectores, supervisores, jefes de producción).
Por favor, responda las preguntas en base a su propia experiencia. Si actualmente no ejerce como profesional del sector, responda en base a su experiencia previa. Es imprescindible que responda a todas las preguntas.

Muchísimas gracias por su colaboración.

Sexo *

Masculino

Femenino

Edad *

Texto de respuesta corta

Formación (Curso soldador, ICS, IWI, Ingeniería, etcétera). *

Texto de respuesta corta

Imagen 5. 4. Vista del inicio del cuestionario.

Fuente: Cuestionarios de Google.

En el Anexo I de este trabajo se presenta el cuestionario utilizado para la recopilación de la información.

Después de enviar la encuesta a todos los participantes, ahora solo queda aguardar a que respondan. Las respuestas se recopilan automáticamente y se almacenan en una hoja de cálculo Excel, lista para su descarga en cualquier momento. Con este paso, se da por finalizado el proceso de recogida de información.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Marca temporal	Sexo	Edad	Formación (Curso sold	Puesto de trabajo relac	¿Cuántos años de exp	¿Se respetan los tiempo	¿Crees que está bien r	¿Considera que el ord	¿Considera que el gra	¿Suele realizar los tra
2	6/14/2023 21:50:49	Femenino	25	Ingeniería naval	Jefa de producción	1	3	4	2	5	:
3	6/16/2023 0:31:08	Femenino	46	Ingeniería	Inspector	20	4	4	3	4	:
4	6/16/2023 8:57:03	Masculino	52	Ingeniería	Supervisor	5	4	4	4	5	:
5	6/16/2023 12:10:03	Masculino	40	Profesor técnico de so	Inspector	17	5	4	4	4	:
6	6/17/2023 16:08:50	Masculino	42	Soldadura	Jefe de obra	24	5	2	4	5	:
7	6/19/2023 6:56:35	Masculino	31	Ingeniería e ICS	Supervisor/Inspector	6	4	3	2	2	!
8	6/19/2023 8:58:12	Masculino	36	Curso soldador	Soldador	6	4	1	3	5	:
9	6/19/2023 10:17:20	Masculino	50	Soldador	Operario	10	4	3	3	4	:
10	6/19/2023 16:06:29	Masculino	33	ICS ingeniería	Inspector	2	4	2	4	3	:
11	6/20/2023 14:07:04	Masculino	35	Fp soldadura y caldere	Jefe de equipo	17	5	1	3	5	:
12	6/20/2023 14:07:10	Masculino	39	Sin titulación	Calderero/soldador	22	4	2	3	3	:
13	6/20/2023 14:08:32	Masculino	25	Ciclo grado medio de s	Soldador	6	5	5	5	3	!
14	6/20/2023 14:08:49	Masculino	43	END	Inspector	13	2	4	2	3	:
15	6/20/2023 14:22:07	Masculino	34	Ciclo grado medio	Soldador	9	3	1	4	3	:
16	6/20/2023 14:22:11	Masculino	42	Sin formación académ	Calderero	27	5	3	3	3	:
17	6/20/2023 14:43:25	Masculino	53	Curso de soldadura	Soldador	36	3	1	1	1	:
18	6/20/2023 14:44:43	Masculino	45	Si	Soldador	20	5	4	4	5	:
19	6/20/2023 14:49:22	Masculino	36	Ingeniero Naval	Inspector de soldadura	12	3	2	3	4	:
20	6/20/2023 15:07:45	Masculino	25	Ciclo medio soldadura	Soldador	5	3	2	3	3	:
21	6/20/2023 15:08:08	Masculino	28	Coordinador de soldad	Coordinador de soldad	9 años	1	1	1	1	:
22	6/20/2023 15:42:26	Masculino	24	Curso soldador	Soldador	4	2	1	3	3	:
23	6/20/2023 15:53:37	Masculino	36	Curso soldadura	Soldador	5	5	3	3	5	!
24	6/20/2023 21:38:28	Masculino	33	Grado medio de soldac	Oficial 1	16	5	1	2	2	:
25	6/20/2023 22:00:08	Masculino	26	Ingeniero industrial me	Técnico de producción	1	5	3	3	3	:

Imagen 5. 5. Hoja de Excel que se obtiene de Google Formularios con todas las respuestas del cuestionario

Fuente: elaboración propia.

Capítulo 6. Resultados

6.1. Adecuación de los datos para SmartPLS

Para integrar los resultados de la encuesta en el programa Smart-PLS, es esencial ajustar los valores obtenidos. La hoja de Excel generada por Google Formularios presenta los datos en un formato que el programa no puede interpretar directamente. Por lo tanto, el primer paso consiste en modificar los datos para que puedan ser importados correctamente. SmartPLS 4 admite la importación de datos desde varios formatos de archivo, como Microsoft Excel (.xls o .xlsx), en nuestro caso. El único aspecto al que se debe prestar atención es que la primera fila contenga los nombres de las variables en formato de texto y, de lo contrario, solo valores numéricos (sin texto ni caracteres especiales; tampoco valores numéricos en formato científico, por ejemplo, 10 E-7).

La hoja de Excel de datos se dispone de manera que las columnas son las preguntas de la encuesta y en cada fila se presentan las respuestas de cada encuestado.

A continuación, se describen las principales modificaciones que se le han hecho a la hoja de Excel para adecuar los datos:

- 1) Se elimina la marca temporal. La hora a la que cada persona realizó la encuesta no aporta nada para el estudio.

	A	B	C	D	E	
1	Marca temporal	Sexo	Edad	Formación (Curso s	Puesto de trabajo re	¿Cuán
2	6/14/2023 21:50:49	Femenino		25 Ingeniería naval	Jefa de producción	
4	6/16/2023 8:57:03	Masculino		52 Ingeniería	Supervisor	
7	6/19/2023 6:56:35	Masculino		31 Ingeniería e ICS	Supervisor/Inspector	
8	6/19/2023 8:58:12	Masculino		36 Curso soldador	Soldador	
9	6/19/2023 10:17:20	Masculino		50 Soldador	Operario	
10	6/19/2023 16:06:29	Masculino		33 ICS ingeniería	Inspector	
13	6/20/2023 14:08:32	Masculino		25 Ciclo grado medio de s	Soldador	
15	6/20/2023 14:22:07	Masculino		34 Ciclo grado medio	Soldador	
20	6/20/2023 15:07:45	Masculino		25 Ciclo medio soldadura	Soldador	
22	6/20/2023 15:42:26	Masculino		24 Curso soldador	Soldador	
23	6/20/2023 15:53:37	Masculino		36 Curso soldadura	Soldador	
25	6/20/2023 22:00:08	Masculino		26 Ingeniero industrial me	Técnico de producción	
29	6/20/2023 22:34:46	Masculino		34 Curso soldador	Calderero	
31	6/21/2023 5:56:50	Masculino		26 Ingeniería superior	Jefe de buque	
32	6/21/2023 13:38:49	Masculino		25 Ingeniería naval	Jefe de obra	
33	6/23/2023 14:24:12	Masculino		31 Ingeniería	Otros	

Imagen 6. 1. Eliminación de la marca temporal en el Excel de datos.

Fuente: elaboración propia.

2) Las preguntas cuyas respuestas son de tipo respuesta corta se adecuan de la siguiente manera:

ITEM	PREGUNTA	CONSTRUCTO	ADECUACIÓN NUMÉRICA
A	SEXO	Pregunta de control	Masculino= 1 Femenino= 2
B	EDAD	Pregunta de control	<=30= 1 30<z<50= 2 >=50= 3
C	Formación (Curso soldador, ICS)	Pregunta de control	Curso soldadura/FP soldadura= 1 ICS= 2 Ingeniería/IWE= 3 Ingeniería+ICS= 4
D	Puesto de trabajo relacionado con	Pregunta de control	Soldador/Oficiales/Jefes de equipo= 1 Inspector/Supervisor/ICS= 2 Jefe de obra/producción= 3
E	¿Cuántos años de experiencia p	Pregunta de control	<=5 = 1 5<z<20 = 2 >=20 = 3

Imagen 6. 2. Adecuación de las repuestas de las preguntas de control.

Fuente: elaboración propia.

3) Se cambia el encabezado de las preguntas por su código correspondiente según la Imagen 6.3. (Foto del Excel donde se ven los ítems de cada pregunta)

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Sexo	Sexo	Edad	Formación (Curso s	Puesto de trabajo re	Cuántos años de e	Se respetan los tie	Crees que está bie	Considera que el c	Considera que el c
Femenino	25	Ingeniería naval	Jefa de producción	1	3	4	2	5	
Masculino	52	Ingeniería	Supervisor	5	4	4	4	5	
Masculino	31	Ingeniería e ICS	Supervisor/Inspector	6	4	3	2	2	
Masculino	36	Curso soldador	Soldador	6	4	1	3	5	
Masculino	50	Soldador	Operario	10	4	1	3	4	
Masculino	33	ICS ingeniería	Inspector	2	4	2	4	3	
Masculino	25	Ciclo grado medio de	Soldador	6	5	5	5	3	
Masculino	34	Ciclo grado medio	Soldador	9	3	1	4	3	
Masculino	25	Ciclo medio soldadura	Soldador	5	3	2	3	3	
Masculino	24	Curso soldador	Soldador	4	2	1	3	3	

ITEM	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	2	3	3	3	2	3	4	4	2				
2	2	2	3	3	2	3	4	4	3				
3	1	3	3	2	1	4	4	4	4				
4	1	2	3	2	2	5	4	4	4				
5	1	2	1	1	3	5	2	4	2				
6	1	2	4	2	2	4	3	2	4				
7	1	2	1	1	2	4	1	3	3				
8	1	3	1	1	2	4	3	3	3				
9	1	2	4	2	1	4	2	4	4				
10	1	2	1	1	2	5	1	3	3				
11	1	2	1	1	3	4	2	3	3				
12	1	1	1	1	2	5	5	5	5				
13	1	2	2	2	2	2	4	2	2				
14	1	2	1	1	2	3	1	4	4				
15	1	2	1	1	3	5	3	3	3				
16	1	3	1	1	3	3	1	1	1				
17	1	2	1	1	3	5	4	4	4				

Imagen 6. 3. Codificación de las preguntas.

Fuente: elaboración propia.

4) Se calcula el promedio, la desviación típica, el mínimo y el máximo por filas, de todas las respuestas de cada encuestado. Pero solo de las preguntas que se han contestado con valores de 1 a 5. La finalidad de esto es ver que no hay personas que han contestado todo con 5 o todo con un 1. De igual manera, la desviación típica debe ser mayor de 0,5, para descartar aquellas personas que hayan respondido a la mayoría de las preguntas con la misma respuesta. Sin embargo, no se detecta nada raro que implique eliminar alguna respuesta de la lista de datos.

A	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
ITEM	PROMEDIO	DESV. TÍPICA	MIN	MAX	F	G	Cond_1	Cond_2	Cond_3	Cond_4	Cond_5
1	3,3	1,59	1	5	3	4	2	5	2	3	5
2	3,7	1,07	1	5	4	4	3	4	2	3	4
3	3,9	0,89	1	5	4	4	4	5	3	3	4
4	4,3	0,72	3	5	5	4	4	4	4	4	5
5	3,7	1,09	1	5	5	2	4	5	4	3	3
6	2,8	1,26	1	5	4	3	2	2	5	2	5
7	3,0	1,53	1	5	4	1	3	5	2	1	3
8	3,9	1,06	1	5	4	3	3	4	4	3	5
9	3,1	1,31	1	5	4	2	4	3	4	3	4
10	3,4	1,28	1	5	5	1	3	5	4	2	3
11	3,5	0,93	1	5	4	2	3	3	2	4	4
12	4,7	0,68	3	5	5	5	5	3	5	4	5
13	3,5	1,28	1	5	2	4	2	3	2	2	4
14	3,5	1,28	1	5	3	1	4	3	4	2	3
15	2,7	1,26	1	5	5	3	3	3	2	1	3
16	1,9	1,39	1	5	3	1	1	1	3	1	3
17	3,4	1,43	1	5	5	4	4	5	2	1	4
18	3,9	1,00	1	5	3	2	3	4	3	3	5
19	2,9	0,95	1	4	3	2	3	3	3	2	4
20	2,0	1,34	1	5	1	1	1	1	2	1	1
21	3,4	1,31	1	5	2	1	3	3	3	2	4
22	4,1	1,11	1	5	5	3	3	5	5	5	4
23	3,4	1,46	1	5	5	1	2	2	4	5	4
24	3,4	1,05	2	5	5	3	3	3	4	3	4
25	4,2	1,48	1	5	5	3	5	5	5	5	5
26	4,5	0,99	1	5	5	5	5	5	5	5	5
27	3,6	1,31	1	5	2	1	3	3	4	2	4
28	4,1	0,81	2	5	4	1	4	4	4	4	4
29	3,4	0,95	1	5	2	1	3	5	3	3	4
30	3,4	1,43	1	5	2	1	4	5	2	2	4
31	3,1	1,23	1	5	4	4	4	5	3	2	5
32	3,4	0,99	1	5	4	4	4	3	4	3	4
33	2,8	1,26	1	5	4	3	2	2	5	2	5
34	3,6	1,54	1	5	3	1	4	5	3	3	5

Imagen 6. 4. Cálculo del promedio, desviación típica, valor mínimo y valor máximo de las respuestas por persona.

Fuente: elaboración propia.

5) Se detecta que hay algunas celdas en blanco, es decir, que hay alguna persona que ha dejado preguntas sin responder. Esto es un error, ya que, debió haber varias preguntas en la encuesta de “Formularios de Google” que no se marcaron como obligatorias y, por tanto, no obligaban al encuestado a responder si tenía dudas. Es muy importante identificar las posibles celdas en blanco que haya, ya que el programa no las entiende. Ante esta situación, se actúa de la siguiente manera:

- Cuando en una fila de respuestas (una persona), haya más de una celda vacía, se elimina ese ítem del cuestionario. En este caso, se encontró una persona que había dejado seis preguntas sin responder. Ante esta situación se elimina ese ítem.

X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
For_5	For_6	For_7	Dig_1	Dig_2	Dig_3	Dig_4	Dig_5	Res_ins_1	Res_ins_2
3	3	1	2	5	5	3	3	5	5
1	5	1	3	2	2	2	1	5	3
2	3	2	2	2	2	2	2	4	3
5	5	1	1	3	3	1	1	5	5
2	5	1	4	4	5	4	5	5	5
4	5	1	2	3	4	5	4	5	4
4	5	2	4	5	5	4	4	2	4
3	4	2	2	4	4	2	3	3	3
4	5	1	1	1	3	1	4	5	5
5	3	1	1	2	2	2	1	3	2
3	5	1	1	3	3	2	4	3	4
4	4	1	1	1	1	1	3	3	2
2	5	1	1	2	2	1	1	4	4
5	5	1	1	1	1	1	2	4	4
3	5	1	3	3	3	3	3	4	3
5	4	1	1	1	1	1	1	5	5
5	4	2	2	1	1	1	2	4	5
3	4	1	1	3	3	2	3	5	5
5	3	1	2	3	3	2	2	4	5
4	4	1	1	2	2	1	1	4	4
4	2	1	1	2	3	3	1	3	3
4	4	2	2	2	3	3	4	5	4
5	5	1	4	4	1	2	1	5	5

Imagen 6. 5. Respuestas de una persona con varias preguntas sin responder.

Fuente: elaboración propia.

- Cuando en una fila de respuestas (una persona), haya una celda vacía, se rellena la celda con la respuesta más parecida al promedio y se compara con la moda. De este caso, encontramos cuatro respuestas en blanco de cuatro personas diferentes.

Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI
For_6	For_7	Dig_1	Dig_2	Dig_3	Dig_4	Dig_5	Res_ins_1	Res_ins_2	Res_ins_3	Res_ins_4
4	2	3	3	3	3	3	5	5	5	5
5	1	3	3	3	2	2	5	5	5	5
4	1	1	1	1	1	1	5	5	5	4
5	1	1	1	1	1	5	5	4	3	3
4	1	2	1	1	2	3	5	5	4	4
5	1	1	1	2	4	5	1	3	4	4
4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	3
5	1	2	2	1	1	1	5	5	5	5
5	1	2	2	3	4	4	5	5	5	5
5	1	1	2	2	2	2	5	4	3	4
5	1	1	4	4	4	4	5	5	5	5
4	1	2	2	2	2	2	4	5	4	5
5	1	1	1	1	5	4	5	5	5	5
5	1	2	4	4	2	2	4	5	5	5
4	1	1	1	3	3	5	5	5	5	5
5	1	1	1	1	4	2	5	5	5	5
4	1	1	2	2	2	2	2	4	4	4
4	1	1	1	1	1	1	5	3	3	3
5	1	4	4	4	4	4	5	5	5	5
4	1	1	3	3	3	3	5	5	5	4
4	1	4	4	4	1	5	4	5	5	5
4	1	2	1	1	1	1	5	4	5	5
3	3	3	4	2	4	2	3	3	4	4
5	1	1	1	1	1	4	5	5	5	5
5	1	1	1	1	2	2	5	5	5	5
4	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4
5	1	1	1	1	3	3	5	5	5	4
5	1	3	3	2	4	3	5	5	5	5
4	1	1	1	1	1	1	5	5	5	4
5	1	3	3	3	3	3	5	5	5	5
5	1	2	4	4	1	1	5	5	5	4
3	1	1	1	1	1	2	5	5	5	5
5	1	4	3	2	1	3	5	5	5	4

Imagen 6. 6. Aproximación de la respuesta de una pregunta sin contestar por aproximación a la media.

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestra la Imagen 6.7 de cómo quedaría la hoja de datos Excel adecuada para importar al programa *SmartPLS*, con solo datos numéricos.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
ITEM	A	B	C	D	E	F	G	Cond_1	Cond_2	Cond_3
1	2	1	3	3	1	3	4	2	5	2
2	2	2	3	2	3	4	4	3	4	2
3	1	3	3	2	1	4	4	4	5	3
4	1	2	3	2	2	5	4	4	4	4
5	1	2	1	1	3	5	2	4	5	4
6	1	2	4	2	2	4	3	2	2	5
7	1	2	1	1	2	4	1	3	5	2
8	1	3	1	1	2	4	3	3	4	4
9	1	2	4	2	1	4	2	4	3	4
10	1	2	1	1	2	5	1	3	5	4
11	1	2	1	1	3	4	2	3	3	2
12	1	1	1	1	2	5	5	5	3	5
13	1	2	2	2	2	2	4	2	3	2
14	1	2	1	1	2	3	1	4	3	4
15	1	2	1	1	3	5	3	3	3	2
16	1	3	1	1	3	3	1	1	1	3
17	1	2	1	1	3	5	4	4	5	2
18	1	2	3	2	2	3	2	3	4	3
19	1	1	1	1	1	3	2	3	3	3
20	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2
21	1	1	1	1	1	2	1	3	3	3
22	1	2	1	1	1	5	3	3	5	5
23	1	2	1	1	2	5	1	2	2	4
24	1	1	3	3	1	5	3	3	3	4
25	1	2	1	1	3	5	3	5	5	5
26	1	2	1	1	3	5	5	5	5	5
27	1	3	1	1	3	2	1	3	3	4
28	1	2	1	1	2	4	4	4	4	4
29	1	1	1	1	2	2	1	3	5	3
30	1	1	3	3	1	2	1	4	5	2
31	1	1	3	3	1	4	4	4	5	3

Imagen 6. 7. Hoja Excel de resultados adecuada para importar a SmartPLS.

Fuente: elaboración propia.

6.2. Creación de un nuevo proyecto en *SmartPLS*

Para crear un nuevo proyecto, se ejecuta el programa Smart PLS y se utiliza la opción de “Nuevo Proyecto” en la barra de herramientas y se le asigna un nombre al proyecto. Después de crear el proyecto, aparece la ventana de “Espacio de Trabajo”. A continuación, se debe asignar un conjunto de datos al proyecto, para ello, importamos la base de datos Excel que se han preparado anteriormente y se abre una ventana que ofrece una visión general del conjunto de datos. Debajo de la barra de menú, aparece una lista con todas las variables y estadísticas descriptivas básicas (por ejemplo, media, mediana, mínimo y máximo de la escala).

Una vez importados los datos en *SmartPLS*, para crear el primer modelo, se hace “clic” derecho en el nombre del proyecto y se elige la opción Nuevo modelo PLS-SEM del cuadro de diálogo que se abre. *SmartPLS* abre ahora una nueva ventana que muestra la lista de indicadores a la izquierda y la ventana de Modelado a la derecha, donde se puede crear un modelo de ruta. Como iniciamos un nuevo proyecto (en lugar de trabajar con un proyecto guardado), la ventana de modelado está vacía. Entonces, se procede a dibujar el modelo en la ventana de modelado siguiendo los pasos siguientes:

- 1) **Se dibujan los constructos del modelo, que se representan como círculos.** Para ello, se selecciona “Variable Latente” en la barra de menú y se hace “clic” izquierdo en la ventana de Modelado. Se muestra un texto para introducir el nombre del primer constructo y se presiona “Enter”. Cada vez que se haga “clic” izquierdo en la ventana, aparece un nuevo cuadro de texto para ingresar el nuevo nombre del constructo. Los constructos creados son: “Formación”, “Condiciones de trabajo”, “Digitalización de procesos”, “Resultados uniones soldadas” y “Resultados inspecciones”.
- 2) Después, **se establecen las hipótesis,** representadas por las flechas que conectan los diferentes constructos entre sí. Para ello, se hace “clic” izquierdo en Conectar en la barra de menú. Luego, se hace “clic” izquierdo en un constructo exógeno (independiente) y se arrastra sobre el extremo endógeno (dependiente) objetivo. Ahora haz “clic” izquierdo en el constructo endógeno y se insertará una relación de ruta (flecha direccional).
- 3) A continuación, se debe **asignar indicadores a cada uno de los constructos.** En el lado izquierdo de la pantalla, hay una ventana de Indicadores que muestra todos los indicadores que están en el conjunto de datos junto con algunas estadísticas descriptivas básicas. Comenzamos arrastrando el primer indicador desde la ventana de Indicadores y soltándolo sobre el constructo en cuestión. Después de asignar un indicador a un constructo, aparecerá en la ventana de Modelado gráfico como un rectángulo amarillo adjunto al constructo. Asignar un indicador a un constructo también cambiará el color del constructo de rojo a azul.

Una vez seguido este proceso y haber asignado todos los indicadores a los constructos, ya se tendría dibujado el modelo de hipótesis en la “Ventana de modelado”, tal y como se puede ver en la *Imagen 6.8*.

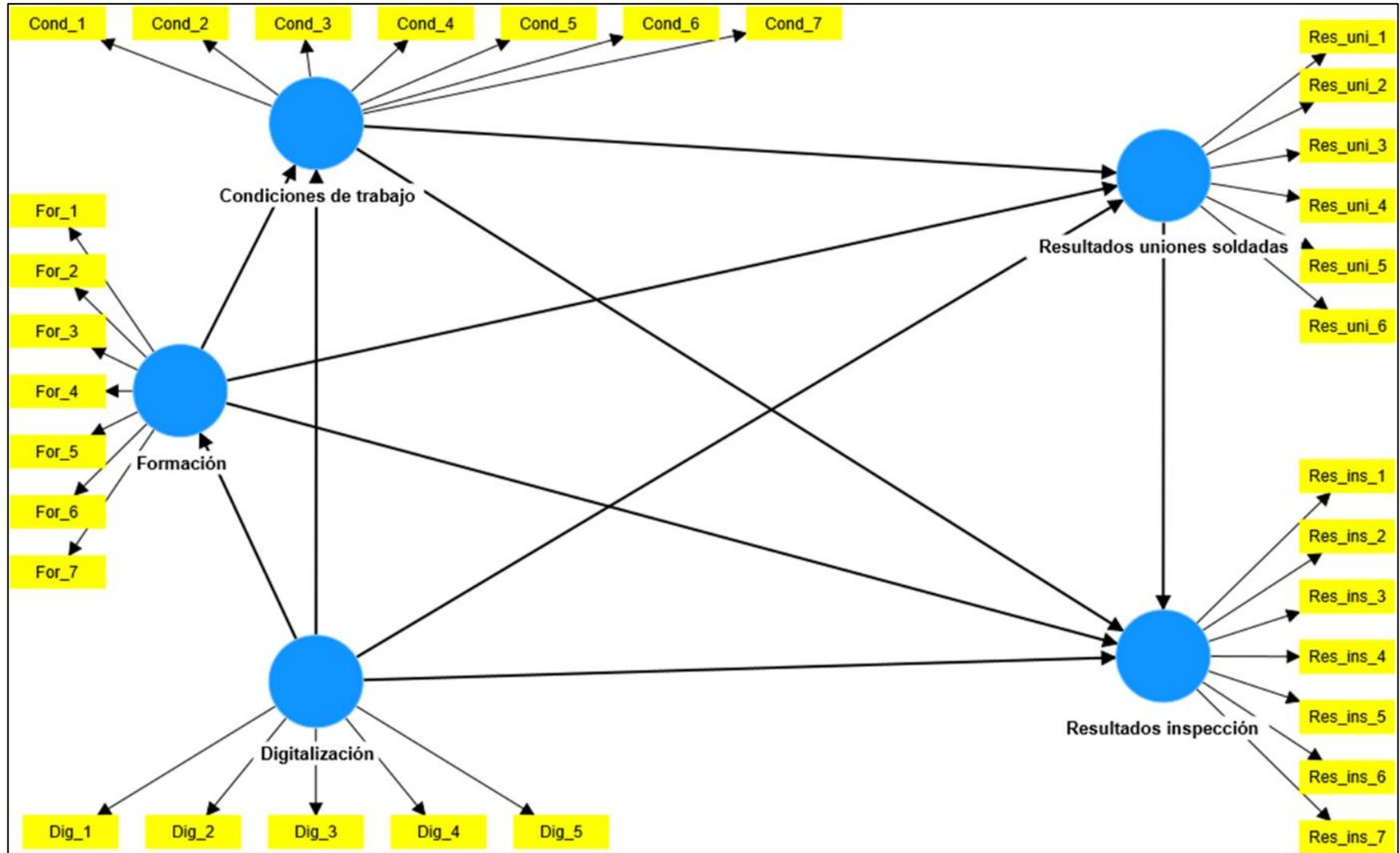


Imagen 6. 8. Modelo de hipótesis dibujado en el programa SmartPLS.

Fuente: elaboración propia.

6.3. Evaluación del modelo reflectivo. Cálculo de PLS-SEM Algoritmo.

Cálculo PLS-SEM Algorithm

Una vez creado el proyecto en *SmartPLS*, vamos al icono “**Calcular** → **Algoritmo PLS-SEM**”, que se encuentra en la parte superior de la pantalla de *SmartPLS*. Alternativamente, puede hacer “clic” izquierdo en el símbolo de la rueda en la barra de herramientas etiquetada Calcular, seguido de “PLS-SEM algorithm”.

Para todas las relaciones del modelo de medición, *SmartPLS* utiliza un valor predeterminado de 1.0 para inicializar el algoritmo PLS-SEM. En este ejemplo, se utiliza la configuración predeterminada.

Antes de iniciar la estimación del modelo, se marca la casilla “Abrir informe” en la esquina resultados inferior del cuadro de diálogo. A continuación, se hace “clic” en “**Iniciar cálculo**”. *SmartPLS* calcula el modelo para un número máximo de 3,000 iteraciones y un criterio de detención de 1.0E-7 (es decir, 0.0000001). Estos ajustes no se pueden cambiar en *SmartPLS*.

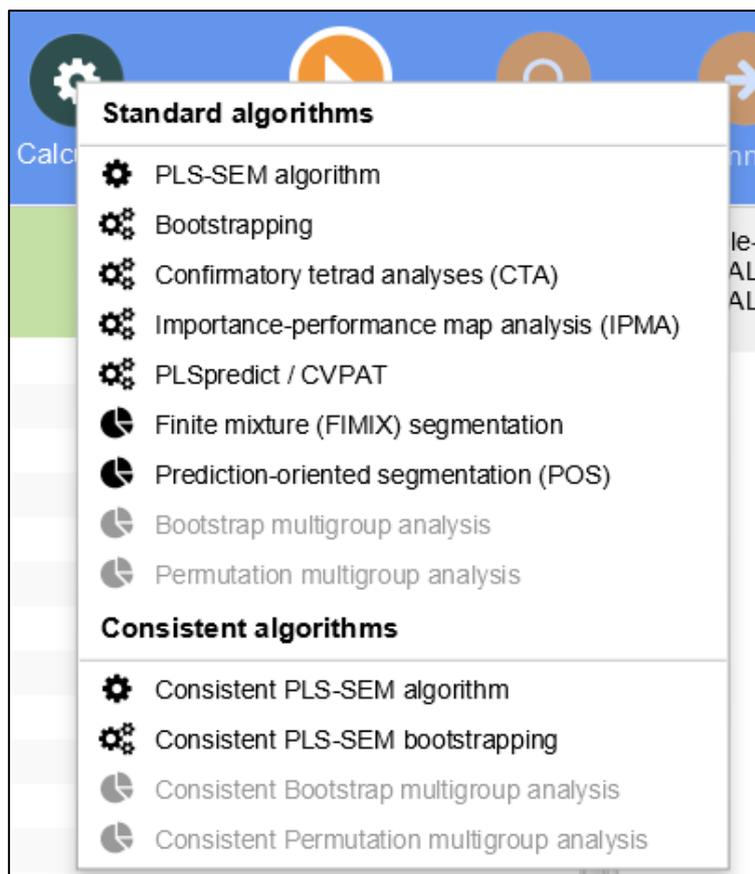


Imagen 6. 9. Icono para calcular PLS-SEM algorithm.

Fuente: elaboración propia

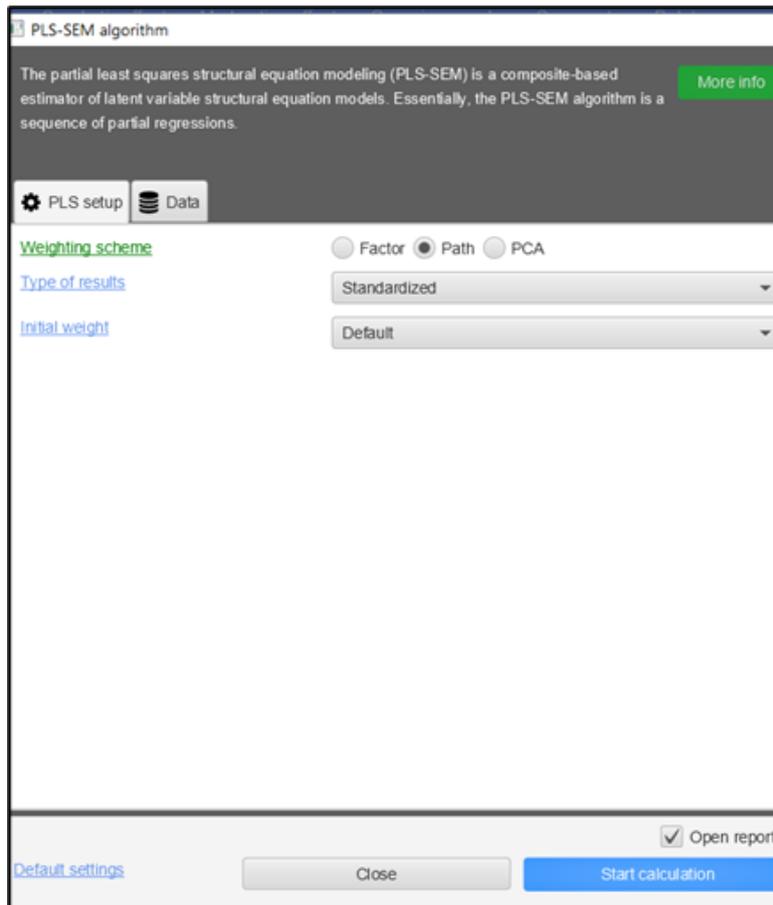


Imagen 6. 10. Configuraciones que hay que marcar para calcular PLS-SEM algorithm.

Fuente: elaboración propia.

Después de la convergencia, SmartPLS abre el informe predeterminado, que muestra la salida gráfica con las estimaciones del modelo en la ventana principal. El lado izquierdo de la ventana muestra una lista de diferentes resultados, clasificados en cinco categorías:

1. Graphical
2. Final results
3. Quality criteria
4. Algorithm
5. Model and data

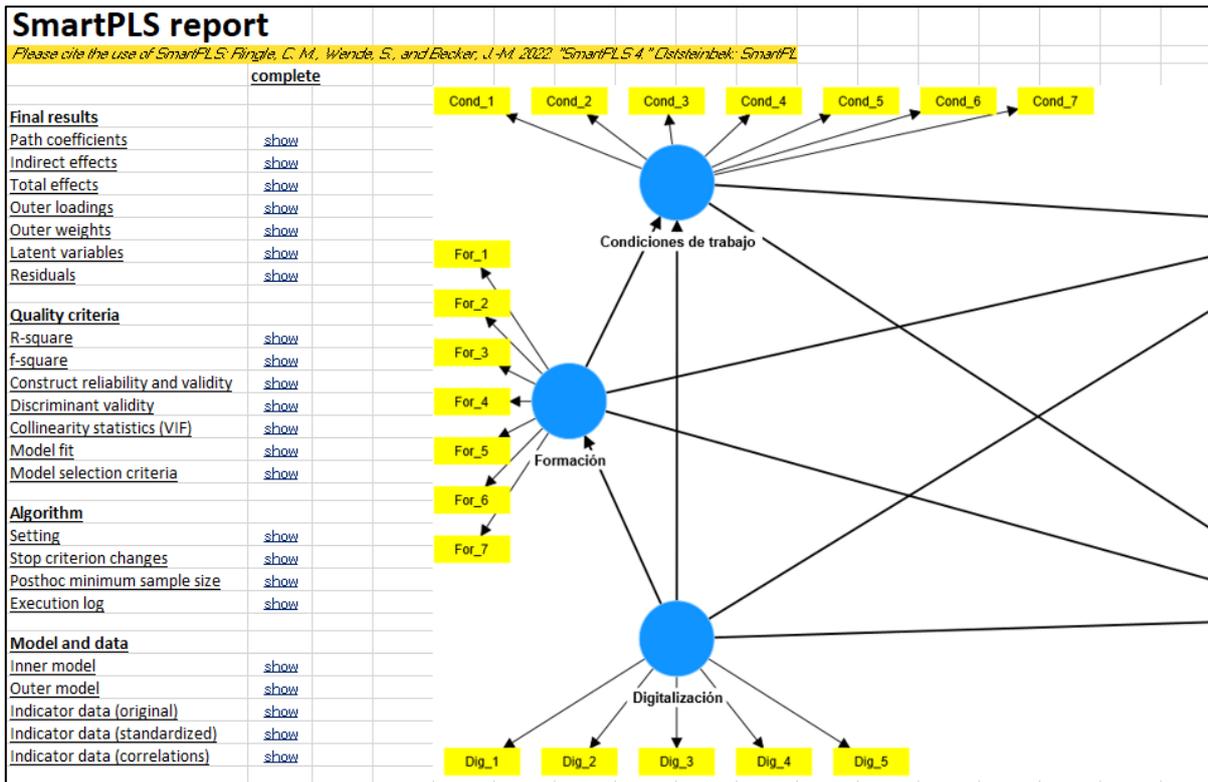


Imagen 6. 11. Informe de resultados tras el cálculo PLS-SEM algorithm

Fuente: elaboración propia.

Antes de analizar los resultados, es necesario verificar rápidamente si el algoritmo ha convergido (es decir, si se alcanzó el criterio de parada del algoritmo y no el número máximo de iteraciones). Para hacerlo, vamos a **Algorithm → Stop criterion changes**. Aquí, se puede ver el número de iteraciones que ejecutó el algoritmo PLS-SEM. Si el algoritmo PLS-SEM no converge en menos de 3.000 iteraciones (configuración predeterminada en el software), significa que no pudo encontrar una solución estable. Este tipo de situación casi nunca ocurre, pero si sucede, puede haber problemas con los datos que deben ser revisados cuidadosamente. En nuestro caso, la convergencia ha tenido lugar en la novena iteración.

Tabla 6. 1. Número de iteraciones para la convergencia del algoritmo de PLS_SEM

	Cond_1	Cond_2	Cond_3	Cond_4	Cond_5	Cond_6	Cond_7	Dig_1	Dig_2	Dig_3
Iteration 0	,230	,230	,230	,230	,230	,230	,230	,257	,257	,257
Iteration 1	,317	,081	,203	,241	,244	,190	,267	,190	,289	,306
Iteration 2	,311	,087	,215	,231	,250	,196	,255	,194	,299	,310
Iteration 3	,311	,086	,216	,230	,252	,196	,253	,193	,300	,311
Iteration 4	,311	,085	,216	,230	,253	,196	,253	,193	,300	,311
Iteration 5	,311	,085	,216	,230	,253	,196	,253	,193	,300	,311
Iteration 6	,311	,085	,216	,230	,253	,196	,253	,193	,300	,311
Iteration 7	,311	,085	,216	,230	,253	,196	,253	,193	,300	,311
Iteration 8	,311	,085	,216	,230	,253	,196	,253	,193	,300	,311
Iteration 9	,311	,085	,216	,230	,253	,196	,253	,193	,300	,311

Evaluación del modelo de medición Reflectivo

Lo que se pretende en este apartado es evaluar la **relación entre los constructos endógenos y sus indicadores**, que juntos conforman el modelo de medición reflectivo. La evaluación de esta relación se hace fijándose en las **Outer loadings (cargas externas)**.

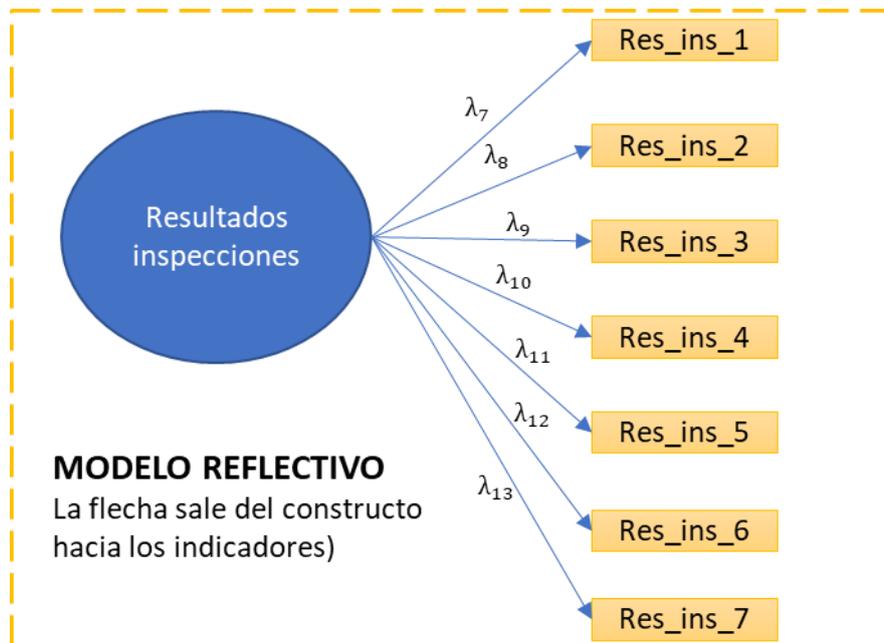


Imagen 6. 12. Ejemplo de modelo reflectivo: relación entre constructo endógeno y sus indicadores.

Fuente: elaboración propia.

Las **Outer loadings**, que se pueden ver en el informe de resultados en (*Final results* → *Outer loadings*), representan la carga externa que tienen los indicadores sobre su constructo, es decir, la influencia de los indicadores sobre los constructos.

Es importante señalar que SmartPLS siempre proporciona las Outer loadings para todos los constructos en el modelo de PLS, independientemente de si se mide de manera reflectiva o formativa. Por lo tanto, el informe de resultados en la Tabla 6.4 muestra los valores de Outer loadings, tanto para los constructos reflectivos como para los constructos formativos.

Para una evaluación del modelo de medición reflectivo, es decir, las relaciones de los constructos con sus indicadores, nos enfocamos únicamente en las Outer Loadings de los constructos.

La Tabla 6.4 muestra la **tabla de resultados para las cargas externas**, que se puede encontrar en "*Final results* → *Outer loadings*". Las cargas externas de los constructos que tienen valores por encima del valor umbral 0,708, aparecen en verde, y sugieren niveles suficientes de confiabilidad del indicador.

En las columnas de Resultados inspección y Resultados uniones soldadas, no todos los valores están por encima de 0,708, sin embargo, están muy cerca de dicho valor por lo que, se pueden considerar indicadores fiables. Excepto, el indicador Res_uni_3 que tiene un valor

negativo, lo que indica que no representa para nada a su constructo. La columna de “Digitalización” tiene todos sus valores muy próximos o por encima de 0,708 lo que significa que sus indicadores son bastante representativos. Y las columnas “Condiciones de trabajo” y “Formación” en general también, aunque tienen un par de valores más bajos, pero no es preocupante.

Tabla 6. 2. Tabla de resultados de los Outer loadings para el cálculo PLS Algorithm.

	Condiciones de trabajo	Digitalización	Formación	Resultados inspección	Resultados uniones soldadas
Cond_1	,801				
Cond_2	,339				
Cond_3	,635				
Cond_4	,696				
Cond_5	,673				
Cond_6	,659				
Cond_7	,494				
Dig_1		,644			
Dig_2		,878			
Dig_3		,882			
Dig_4		,792			
Dig_5		,687			
For_1			,629		
For_2			,833		
For_3			,665		
For_4			,826		
For_5			,405		
For_6			,581		
For_7			,339		
Res_ins_1				,682	
Res_ins_2				,810	
Res_ins_3				,851	
Res_ins_4				,836	
Res_ins_5				,633	
Res_ins_6				,597	
Res_ins_7				,750	
Res_uni_1					,763
Res_uni_2					,634
Res_uni_3					-,365
Res_uni_4					,738
Res_uni_5					,748
Res_uni_6					,628

Un paso importante en el examen de los resultados es verificar la validez convergente de las medidas (valores AVE) y la confiabilidad interna (es decir, los valores: “Cronbach’s Alpha”, “Composite reliability $\rho \cdot a$ y confiabilidad compuesta $\rho \cdot c$).

La evaluación de la validez convergente se basa en los valores de AVE, que se pueden acceder navegando a “*Quality criteria* → *Construct reliability and validity*” en el informe de resultados. SmartPLS ofrece la opción de mostrar los resultados mediante gráficos de barras (Figura 7) o en formato de matriz. En este ejemplo, los valores de AVE de Digitalización (0.613) y Resultados inspección (0.553) están por encima del nivel mínimo requerido de 0.50. Por lo que, las medidas de estos constructos reflexivos tienen niveles elevados de validez convergente. Mientras que, los constructos Formación (0,404), Condiciones del trabajo (0,397) y Resultados uniones soldadas (0,436) tienen valores de AVE más bajos, pero no significativamente.

Por su parte, todos los valores de “Cronbach’s Alpha”, “Composite reliability $\rho \cdot a$ ” y “Composite reliability $\rho \cdot c$ ” están por encima del valor umbral crítico 0,70. Excepto un valor de 0,666 de “Cronbach’s Alpha” que por su proximidad a 0,70 no tiene importancia alguna.

Tabla 6. 3. Valores para la fiabilidad y validez de los constructos.

	Cronbach's alpha	Composite reliability (rho_a)	Composite reliability (rho_c)	Average variance extracted (AVE)
Condiciones de trabajo	,735	,764	,814	,397
Digitalización	,839	,870	,886	,613
Formación	,738	,811	,814	,404
Resultados inspección	,860	,871	,895	,552
Resultados uniones soldadas	,666	,760	,745	,436

Fuente: elaboración propia.

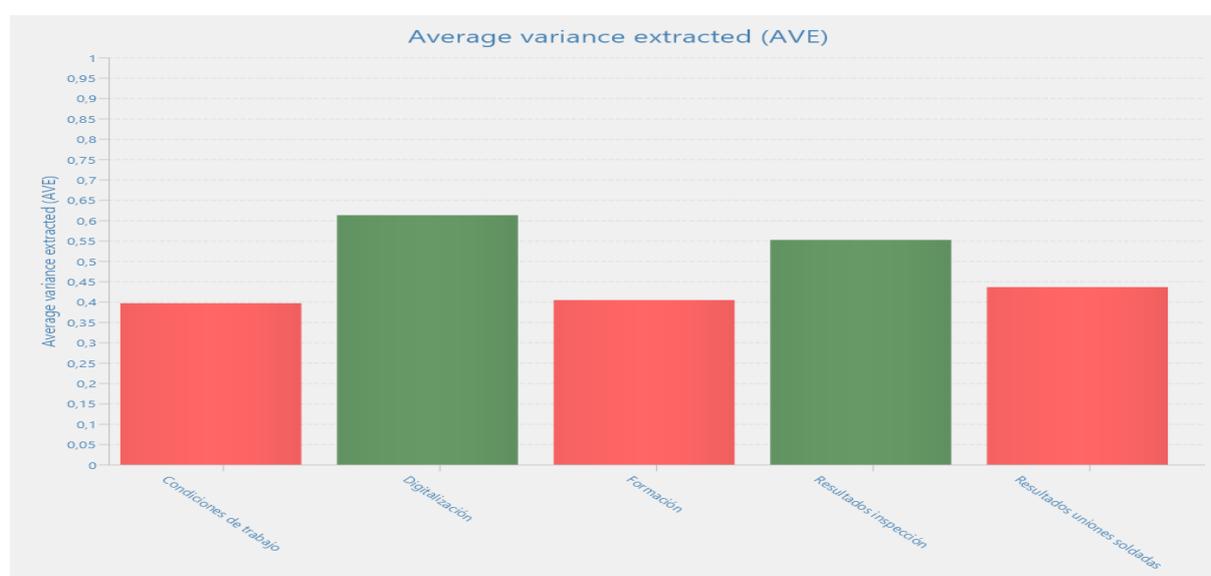


Imagen 6. 13. Gráfico de barras de los valores AVE

Fuente: SmartPLS



Imagen 6. 14. Gráfico de barras de los valores Cronbach's Alpha

Fuente: SmartPLS

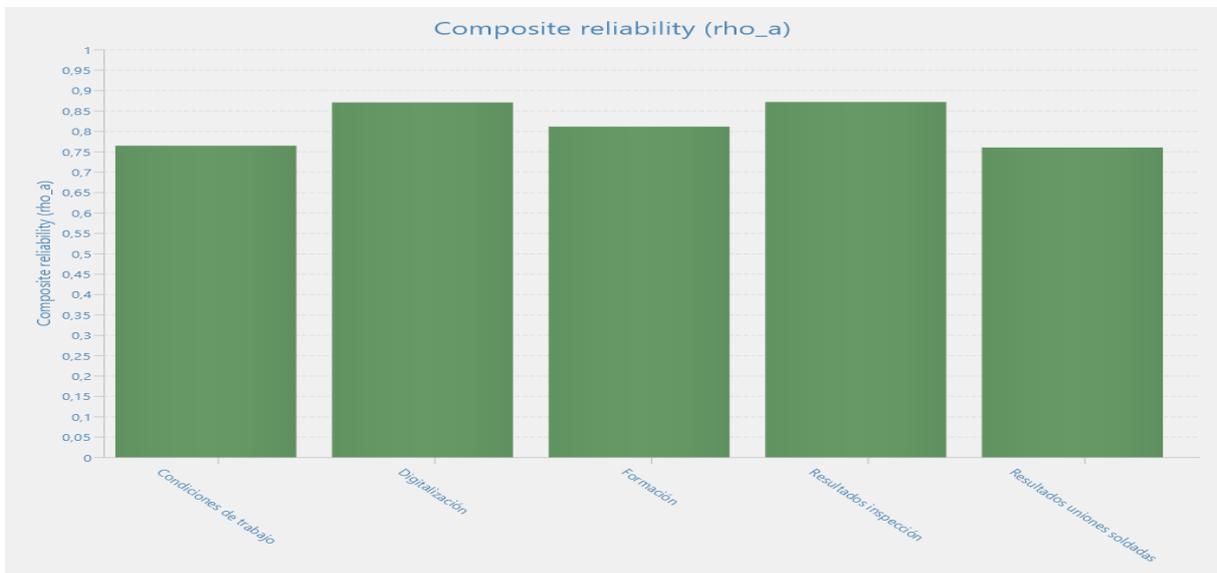


Imagen 6. 15. Gráfico de barras de los valores rho*a

Fuente: SmartPLS

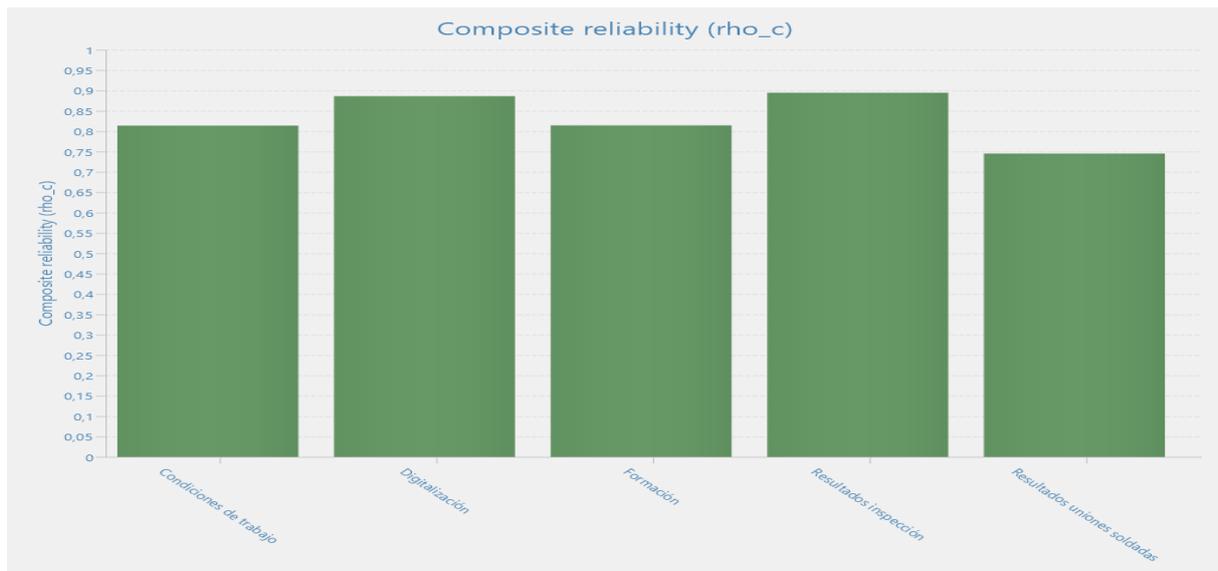


Imagen 6. 16. Gráfico de barras de los valores rho*c

Fuente: SmartPLS

6.4. Evaluación del modelo de medición Formativo

Lo que se pretende en este apartado es evaluar la **relación entre los constructos formativos y sus indicadores**, que juntos conforman el modelo de medición formativo.

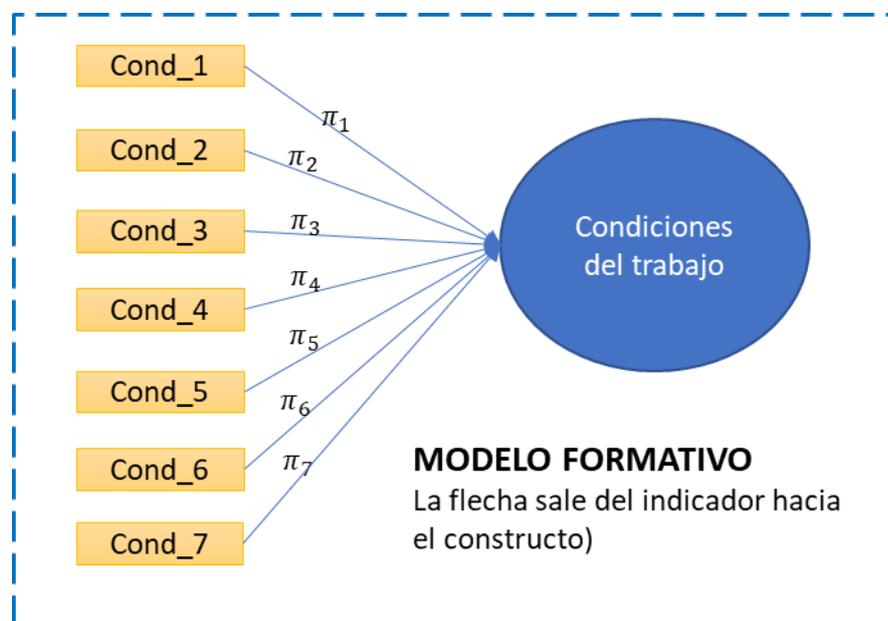


Imagen 6. 17 Ejemplo de modelo formativo: relación entre el indicador y su constructo formativo.

Fuente: elaboración propia.

Para evaluar las medidas formativas del modelo, se sigue el procedimiento de evaluación de modelos de medición formativos.

Primero, verificamos los modelos de medición formativa para la colinealidad de los indicadores observando los valores VIF de los indicadores formativos. Para ello, vamos a *Quality criteria* → *Collinearity statistics (VIF)* → *Outer model*. Hay que tener en cuenta que SmartPLS también proporciona valores VIF tanto para indicadores reflectivos, como formativos. Sin embargo, como esperaríamos altas correlaciones entre indicadores reflectivos, no interpretamos estos resultados, sino que nos enfocamos en los valores VIF de los indicadores formativos.

Según los resultados en la Tabla 6.6, *Dig_2* tiene el valor VIF más alto (3,663). Por lo tanto, los valores VIF están uniformemente por debajo del valor umbral de 5. Se concluye, por lo tanto, que la colinealidad no alcanza niveles críticos en ninguno de los constructos formativos y no es un problema para la estimación del modelo de ruta PLS.

Tabla 6. 4. Valores VIF de todos los indicadores.

	VIF
Cond_1	1,709
Cond_2	1,249
Cond_3	1,602
Cond_4	1,609
Cond_5	1,408
Cond_6	1,587
Cond_7	1,343
Dig_1	1,448
Dig_2	3,663
Dig_3	3,468
Dig_4	2,039
Dig_5	1,743
For_1	1,972
For_2	3,439
For_3	2,428
For_4	3,276
For_5	1,150
For_6	2,211
For_7	1,072
Res_ins_1	1,659
Res_ins_2	2,749
Res_ins_3	3,377
Res_ins_4	2,619
Res_ins_5	1,479
Res_ins_6	1,408
Res_ins_7	1,873
Res_uni_1	1,573
Res_uni_2	1,589
Res_uni_3	1,046
Res_uni_4	1,325
Res_uni_5	1,552
Res_uni_6	1,514

Fuente: elaboración propia

A continuación, se procede a analizar los pesos externos para su significancia y relevancia. Primero, se considera la significancia de los pesos externos mediante el *Bootstrapping*. El proceso de cálculo del procedimiento *Bootstrapping* se explicará en el siguiente

apartado 6.5 de este capítulo, por lo que, por ahora se tomarán los datos del informe de resultados.

Dado que principalmente nos interesa la significancia de las cargas, solo consideramos los modelos de medición por ahora. El informe de resultados de *SmartPLS* proporciona sus cargas externas, valores t y valores p en la tabla 6.7.

Se nota que la carga externa más baja de los indicadores formativos ocurre para For_7 (0,322). Además, los valores p de todas las cargas de los indicadores son claramente menores a 0,01, lo que sugiere que todas las cargas son significativas a un nivel del 1%.

Tabla 6. 5. Resultados de las cargas externas para el cálculo de Bootstrapping

	Original sample (O)	Sample mean (M)	Standard deviation (STDEV)	T statistics (O/STDEV)	P values
Cond_1 <- Condiciones de trabajo	,801	,799	,036	22,369	,000
Cond_2 <- Condiciones de trabajo	,339	,325	,145	2,331	,020
Cond_3 <- Condiciones de trabajo	,635	,629	,080	7,901	,000
Cond_4 <- Condiciones de trabajo	,696	,690	,065	10,679	,000
Cond_5 <- Condiciones de trabajo	,673	,669	,072	9,373	,000
Cond_6 <- Condiciones de trabajo	,659	,650	,070	9,388	,000
Cond_7 <- Condiciones de trabajo	,494	,493	,084	5,889	,000
Dig_1 <- Digitalización	,644	,636	,081	7,974	,000
Dig_2 <- Digitalización	,878	,877	,024	36,991	,000
Dig_3 <- Digitalización	,882	,881	,023	37,692	,000
Dig_4 <- Digitalización	,792	,791	,040	19,849	,000
Dig_5 <- Digitalización	,687	,680	,071	9,710	,000
For_1 <- Formación	,629	,620	,099	6,323	,000
For_2 <- Formación	,833	,829	,043	19,476	,000
For_3 <- Formación	,665	,653	,101	6,599	,000
For_4 <- Formación	,826	,823	,041	19,897	,000
For_5 <- Formación	,405	,395	,128	3,159	,002
For_6 <- Formación	,581	,566	,114	5,112	,000
For_7 <- Formación	,339	,322	,119	2,857	,004
Res_ins_1 <- Resultados inspección	,682	,682	,068	10,055	,000
Res_ins_2 <- Resultados inspección	,810	,807	,048	16,872	,000
Res_ins_3 <- Resultados inspección	,851	,847	,036	23,673	,000
Res_ins_4 <- Resultados inspección	,836	,831	,045	18,623	,000
Res_ins_5 <- Resultados inspección	,633	,634	,057	11,086	,000
Res_ins_6 <- Resultados inspección	,597	,590	,101	5,897	,000
Res_ins_7 <- Resultados inspección	,750	,755	,040	18,781	,000
Res_uni_1 <- Resultados uniones soldadas	,763	,755	,062	12,390	,000
Res_uni_2 <- Resultados uniones soldadas	,634	,625	,089	7,166	,000
Res_uni_3 <- Resultados uniones soldadas	-,365	-,361	,132	2,773	,006
Res_uni_4 <- Resultados uniones soldadas	,738	,738	,052	14,109	,000
Res_uni_5 <- Resultados uniones soldadas	,748	,734	,074	10,144	,000
Res_uni_6 <- Resultados uniones soldadas	,628	,614	,092	6,865	,000

Fuente: elaboración propia.

El análisis de las cargas externas concluye la evaluación de los modelos de medición formativa. Considerando los resultados del apartado 6.3 y 6.4 de manera conjunta, todos los constructos reflectivos y formativos muestran niveles satisfactorios de calidad. Por lo tanto, se puede proceder con la evaluación del modelo estructural en el siguiente apartado.

6.5. Evaluación del modelo estructural o interno

Para hacer una evaluación detallada del modelo estructural, es decir, la relación que hay entre los constructos (las flechas), necesitamos examinar el informe de resultados de SmartPLS, tanto del cálculo *PLS Algorithm* (visto con anterioridad), como del cálculo **Bootstrapping**.

En primer lugar, y antes de comenzar con el proceso de evaluación del modelo estructural, se va a mostrar cómo se ejecuta el cálculo de la herramienta Bootstrapping necesario para poder hacer la evaluación de resultados.

6.5.1. Cálculo Bootstrapping

Para ejecutar el proceso de *Bootstrapping*, vamos en el programa a “Calcular → Bootstrapping” en el menú de SmartPLS o “clic” izquierdo en el símbolo de la rueda en la barra de herramientas y seleccionamos *Bootstrapping*.

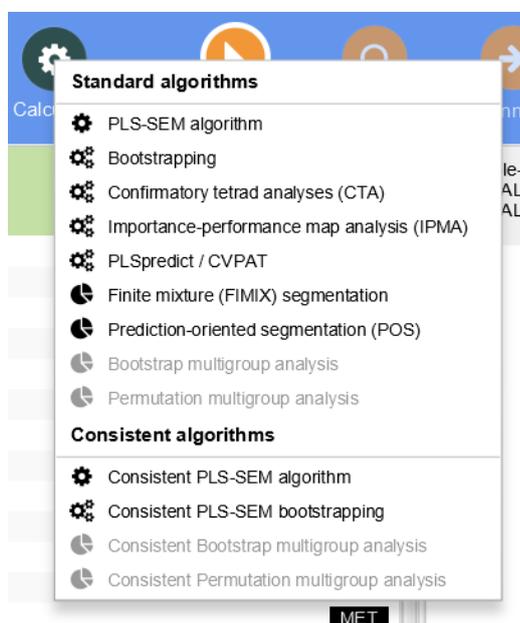


Imagen 6. 18. Herramienta para calcular Bootstrapping.

Fuente: SmartPLS.

Luego, aparece un menú como el de la Figura. En este menú, se mantienen todas las configuraciones anteriores para el algoritmo PLS-SEM en la pestaña “PLS setup” y “Data”. Y la pestaña “BT setup” se configura según la figura.

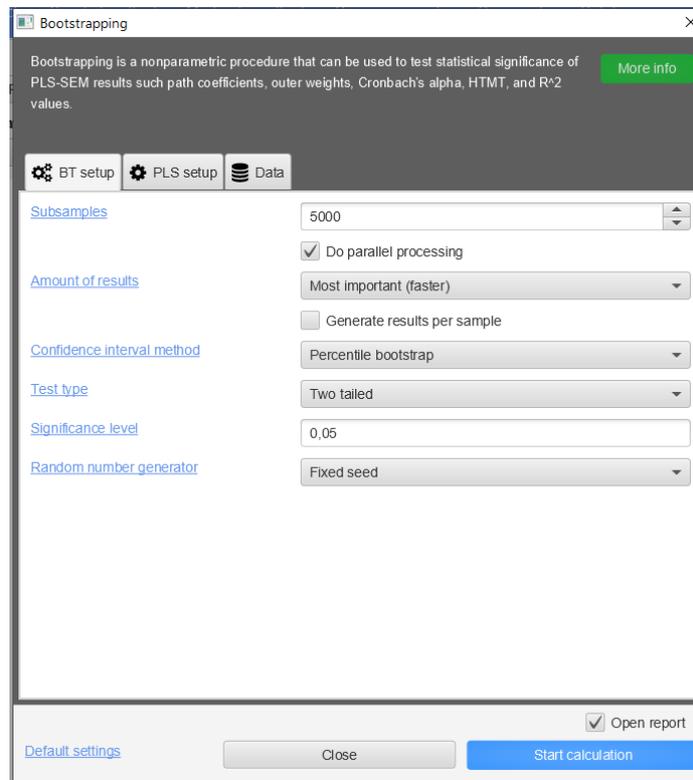


Imagen 6. 19. Menú de configuración para el cálculo Bootstrapping.

Fuente: SmartPLS.

A continuación, se explica resumidamente el significado de estas configuraciones:

- **Subsample:** la cantidad de muestras que utiliza para el cálculo.
- **Do parallel processing:** permite utilizar todos los procesadores del equipo informático. Se recomienda usar esta opción para que el cálculo sea más rápido.
- **Amount of results:** La elección entre “Most important (faster)” y “Complete (slower)” devuelve un informe de resultados básico o completo. La opción básica más rápida devuelve un número limitado de resultados de bootstrapping, que incluye relaciones del modelo de medición y estructural, lo cual es más que suficiente para este estudio.
- **Confident interval method:** aquí se selecciona el enfoque para calcular los intervalos de confianza bootsratp. Siguiendo la recomendación del Manual de Smart-PLS 4, se usa la opción Percentil Bootstrap.
- **Test type:** se selecciona nivel 0,05 según Manual de Smart-PLS 4.

- **Significant level:** Two tailed, según Manual de Smart-PLS 4.
- **Randon number generator:** marcacos *Fixed seed* para permitir la reproducibilidad de los resultados.

En este punto, se inicia el análisis haciendo “clic” en *Calculate* sin olvidarnos de marcar la casilla “Open report”.

Después de ejecutar el proceso, *SmartPLS* muestra los resultados de *bootstrapping* para los modelos de medición y el modelo estructural en la ventana de modelado. La Figura 6.21 muestra los valores *p* para las relaciones del modelo estructural resultantes del procedimiento de *bootstrapping*.

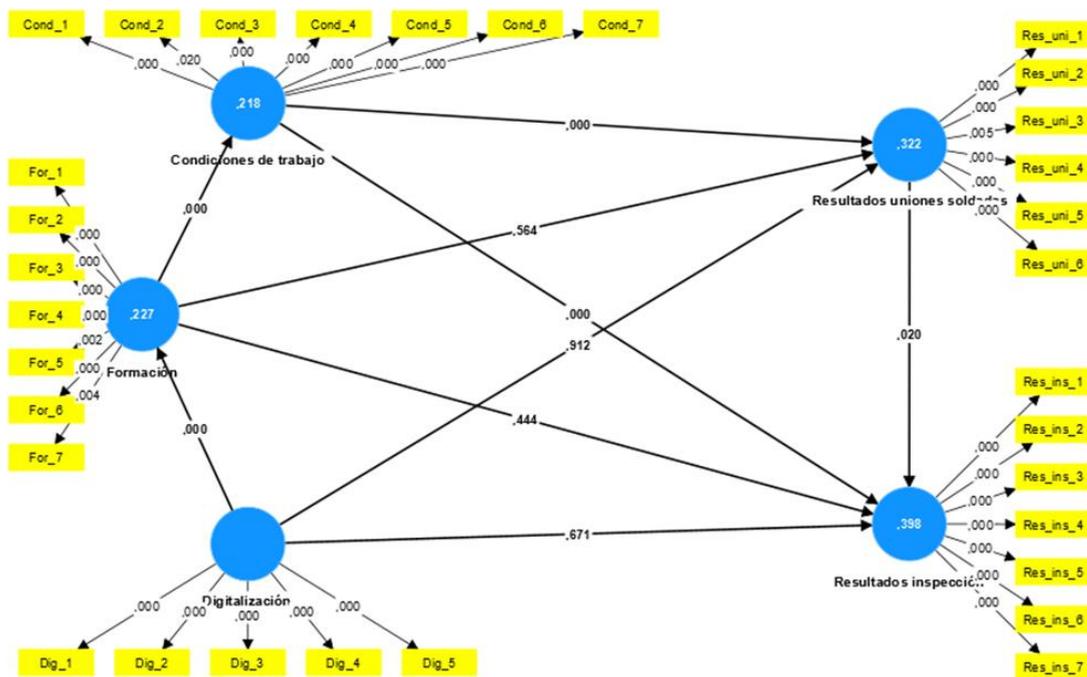


Imagen 6. 20. Valores *p* del proceso de *bootstrapping* en la ventana de modelado.

Fuente: *SmartPLS*.

En el informe de resultados de *bootstrapping* que abre *SmartPLS*, se obtiene una visión más detallada. En la figura se muestra el panel de navegación del informe de resultados:

6.5.2. Evaluación del modelo interno o estructural

Una vez visto cómo se realiza el cálculo de *Bootstrapping*, y teniendo ya, los informes de resultados para el cálculo de *PLS Algorithm* y *Bootstrapping*, se puede proceder a evaluar el modelo estructural.

El procedimiento de evaluación del modelo estructural es el siguiente:

1. Buscar problemas de colinealidad

En primer lugar, se revisa el modelo estructural en busca de problemas de colinealidad examinando los valores VIF de todos los conjuntos de constructos predictores en el modelo estructural. Para ello, vamos a *Quality criteria* → *Collinearity statistics(VIF)*, y nos fijamos en la matriz del modelo interno.

La tabla X muestra los valores VIF de todas las combinaciones de constructos endógenos (representados por las columnas) y constructos exógenos (es decir, predictores) correspondientes, representados por las filas.

Evaluamos los siguientes conjuntos de constructos (predictores) para la colinealidad:

- (1) “Condiciones del trabajo”, “Digitalización” y “Formación” como predictores de “Resultados inspección” y “Resultados uniones soldadas”.
- (2) “Digitalización” y “Formación” como predictores de “Condiciones del trabajo”.
- (3) “Digitalización” como predictor de “Formación”.
- (4) “Resultados uniones soldadas” como predictor de “Resultados inspección”.

Como se puede ver la Tabla, todos los valores VIF están claramente por debajo del umbral de 5 y, además, todos ellos por debajo de 3. Por lo tanto, se concluye que la colinealidad entre los constructos predictores no es un problema crítico en el modelo estructural, y se puede continuar examinando el informe de resultados.

Tabla 6. 6. Valores VIF del modelo interno o estructural.

	Condiciones de trabajo	Digitalización	Formación	Resultados inspección	Resultados uniones soldadas
Condiciones de trabajo				1,817	1,397
Digitalización	1,293		1,000	1,415	1,415
Formación	1,293			1,445	1,440
Resultados inspección					
Resultados uniones soldadas				1,478	

Fuente: elaboración propia.

2. Analizar Path Coefficients

Los *Path Coefficients* = *Efectos Directos*, representan la influencia positiva que tienen los constructos exógenos directamente sobre los constructos endógenos u objetivos. Además, proporcionan una visión general de los resultados, incluyendo errores estándar, valores medios de *bootstrapping*, valores t y valores p.

La *Tabla 6.9* muestra un resumen de las estimaciones de los *path coefficients*, valores t, valores p e intervalos de confianza. Encontramos que todas las relaciones en el modelo estructural son significativas, excepto:

Digitalización → *Resultados inspección*

Digitalización → *Resultados uniones soldadas*

Formación → *Resultados inspección*

Formación → *Resultados uniones soldadas*

Las “Condiciones de trabajo” son el único constructo exógeno que sí que tiene un efecto directo sobre los “Resultados inspección” y “Resultados uniones soldadas”.

Esto indica que tanto la “Formación” como la “Digitalización”, no tienen un efecto directo, por sí solas, sobre los “Resultados inspección” y los “Resultados uniones soldadas”.

Sin embargo, la “Formación” y la “Digitalización”, sí que influye positivamente, de forma directa, sobre las “Condiciones del Trabajo”.

Tabla 6. 7. Valores medios de path coefficient, errores estándar, valores t, valores p y significancia.

	Path coefficients	Standard deviation	t Values	p Values	Significance (p<0.05)?
Condiciones de trabajo -> Resultados inspección	,440	,093	4,633	,000	YES
Condiciones de trabajo -> Resultados uniones soldadas	,542	,081	6,563	,000	YES
Digitalización -> Condiciones de trabajo	,296	,093	3,172	,002	YES
Digitalización -> Formación	,483	,074	6,428	,000	YES
Digitalización -> Resultados inspección	-,043	,080	,460	,646	NO
Digitalización -> Resultados uniones soldadas	,009	,093	,120	,905	NO
Formación -> Condiciones de trabajo	,335	,091	3,561	,000	YES
Formación -> Resultados inspección	,090	,110	,783	,434	NO
Formación -> Resultados uniones soldadas	,065	,102	,579	,563	NO
Resultados uniones soldadas -> Resultados inspección	,241	,106	2,301	,021	YES

Fuente: elaboración propia.

3. Analizar Total Effects

Los *Total Effects* = (*Efectos Directos* + *Efectos indirectos*) representan la influencia positiva que tienen los constructos exógenos sobre los constructos objetivo.

La Tabla resume los resultados para los efectos totales de los constructos “Condiciones de trabajo”, “Digitalización” y “Formación” en los constructos objetivo “Resultados inspección”, “Resultados uniones soldadas”, “Condiciones de trabajo” y “Formación”. Como se puede ver, todos los efectos totales son significativos a un nivel del 5%.

Tabla 6. 8. Valores medios de total effects, errores estándar, valores t, valores p y significancia.

	Total Effect	Standard deviation	t Values	p Values	Significance (p<0.05)?
Condiciones de trabajo -> Resultados inspección	,571	,074	7,534	,000	YES
Condiciones de trabajo -> Resultados uniones soldadas	,542	,081	6,563	,000	YES
Digitalización -> Condiciones de trabajo	,455	,074	6,110	,000	YES
Digitalización -> Formación	,483	,074	6,428	,000	YES
Digitalización -> Resultados inspección	,270	,082	3,225	,001	YES
Digitalización -> Resultados uniones soldadas	,287	,087	3,222	,001	YES
Formación -> Condiciones de trabajo	,335	,091	3,561	,000	YES
Formación -> Resultados inspección	,296	,106	2,657	,008	YES
Formación -> Resultados uniones soldadas	,247	,109	2,128	,033	YES
Resultados uniones soldadas -> Resultados inspección	,241	,106	2,301	,021	YES

Fuente: elaboración propia.

4. Examinar los criterios de calidad de las variables

Para llevar a cabo el último paso del procedimiento de evaluación del modelo estructural, volviendo al informe de resultados de SmartPLS algoritm (sin bootstrapping).

Valores R²

Primero, se examinan los valores R² de las variables latentes endógenas, que están disponibles en **Criterios de calidad → R cuadrado**.

Los valores R² de Condiciones de trabajo (0,273), Formación (0,220) son bastante débiles, mientras que, los valores de Resultados inspección (0,377) y Resultados uniones soldadas (0,307) son moderados.

Tabla 6. 9. Valores R2 de los constructos formativos.

	R-square	R-square adjusted
Condiciones de trabajo	,284	,273
Formación	,227	,220
Resultados inspección	,397	,377
Resultados uniones soldadas	,323	,307

Fuente: elaboración propia.

Valores F²

Para obtener los tamaños de efecto f^2 para todas las relaciones del modelo estructural, vamos a **Criterios de calidad → f cuadrado**. La Tabla muestra los valores de f^2 para todas las combinaciones de constructos endógenos (representados por las columnas) y constructos exógenos correspondientes, es decir, predictores (representados por las filas).

“Condiciones de trabajo” tiene un tamaño de efecto considerable sobre “Resultados inspección” (0,168) y “Resultados uniones soldadas” (0,301).

“Digitalización” tiene un tamaño de efecto medio de 0,094 en “Condiciones de trabajo” y tiene bastante efecto sobre “Formación”. Por el contrario, no tiene ningún efecto en “Resultados inspección” (0,02) o “Resultados uniones soldadas” (0,000).

“Formación” tiene un tamaño de efecto medio de 0,159 en “Condiciones de trabajo”. Sin embargo, no tiene ningún efecto en “Resultados inspección” (0,008) o “Resultados uniones soldadas” (0,004).

“Resultados uniones soldadas” tiene un tamaño de efecto medio de 0,067 en “Resultados inspección”.

Tabla 6. 10. Valores de f^2 para las combinaciones de constructos endógenos y exógenos correspondientes.

	Condiciones de trabajo	Digitalización	Formación	Resultados inspección	Resultados uniones soldadas
Condiciones de trabajo				,168	,301
Digitalización	,094		,293	,002	,000
Formación	,114			,008	,004
Resultados inspección					
Resultados uniones soldadas				,067	

Fuente: elaboración propia.

Validez y confiabilidad de los constructos

Un paso importante en el examen de los resultados es verificar la validez convergente de las medidas (valores AVE) y la confiabilidad interna (es decir, los valores: “Cronbach’s Alpha”, “Composite reliability $\rho \cdot a$ y confiabilidad compuesta $\rho \cdot c$), tal y como se vio en el apartado 6.3 de este capítulo.

La evaluación de la validez convergente se basa en los valores de AVE, que se pueden acceder navegando a “*Quality criteria → Construct reliability and validity*” en el informe de resultados. SmartPLS ofrece la opción de mostrar los resultados mediante gráficos de barras (Figura 7) o en formato de matriz. En este ejemplo, los valores de AVE de Digitalización (0.613) y Resultados inspección (0.553) están por encima del nivel mínimo requerido de 0.50. Por lo que, las medidas de estos constructos reflexivos tienen niveles elevados de validez convergente. Mientras que, los constructos Formación (0,404), Condiciones del trabajo (0,397) y Resultados uniones soldadas (0,436) tienen valores de AVE más bajos, pero no significativamente.

Por su parte, todos los valores de “Cronbach’s Alpha”, “Composite reliability $\rho \cdot a$ y $\rho \cdot c$ ” están por encima del valor umbral crítico 0,70. Excepto un valor de 0,666 de “Cronbach’s Alpha” que por su proximidad a 0,70 no tiene importancia alguna.

Tabla 6. 11. Valores para la fiabilidad y validez de los constructos.

	Cronbach's alpha	Composite reliability (rho_a)	Composite reliability (rho_c)	Average variance extracted (AVE)
Condiciones de trabajo	,735	,764	,814	,397
Digitalización	,839	,870	,886	,613
Formación	,738	,811	,814	,404
Resultados inspección	,860	,871	,895	,552
Resultados uniones soldadas	,666	,760	,745	,436

Fuente: elaboración propia.

Capítulo 7. Disposición de resultados e implicaciones para el sector

Este capítulo se enfocará en la disposición de los resultados obtenidos de la investigación y en las implicaciones que estos tienen para el sector de la soldadura en la construcción naval. Después de haber llevado a cabo el cálculo y presentado los resultados en el capítulo anterior, es fundamental discutir de manera clara y concisa los hallazgos descubiertos. Además, a lo largo de esta sección, se destacarán las implicaciones prácticas de nuestra investigación y se brindará una visión de cómo los resultados pueden contribuir al avance y la mejora de la soldadura en el sector naval.

7.1. Disposición de los resultados

A continuación, se discuten los resultados de los efectos directos del modelo estructural:

- **“Condiciones de trabajo”** influye positivamente en los “Resultados uniones” (0,542) y “Resultados inspecciones” (0,440).
- **“Digitalización”** no mejora los “Resultados uniones” (0,009) ni los “Resultados inspección” (-0,043) por sí misma, pero, sí influye positivamente en la “Formación” (0,483) y, de menor manera en “Condiciones de trabajo” (0,296).
- **“Formación”** no influye positivamente sobre los “Resultados uniones” (0,065) ni los “Resultados inspección” (0,090), aunque, sí que mejora un poco las “Condiciones de trabajo” (0,335).
- **“Resultados uniones”** tiene una influencia positiva pero baja, en los “Resultados inspecciones” (0,241).

Por su parte, los efectos totales son la suma de los efectos directos, que tiene un constructo sobre otro, más los efectos indirectos. Estos efectos totales son realmente los que importan en el análisis de los mismos. Si se examinan los efectos totales:

- **“Condiciones de trabajo”**, además de producir una mejora en los “Resultados uniones” y “Resultados inspección” de forma directa, el efecto total que tiene sobre “Resultados inspección” (0,571) es aún mayor, ya que, también suma el efecto indirecto (0,131) que tiene sobre ellos.
- **“Digitalización”**, el efecto total que tiene sobre la “Formación” (0,483) es el mismo que el efecto directo, ya que, no existen efectos indirectos. Es destacar, que implica una mejora significativa, es decir, la digitalización implica una mejora de la Formación por sí sola.

Por otro lado, lo interesante aquí es que la “Digitalización”, por sí sola, no inflúa positivamente sobre “Resultados uniones” y “Resultados inspección”, es decir, no tenía efecto directo. Sin embargo, el efecto total que tiene la “Digitalización” sobre los “Resultados uniones” (0,287) y “Resultados inspección” (0,270) sí supone una mejora de los mismos, ya que, tiene efectos indirectos sobre los mismos. Esto se debe a que, la “Digitalización” mejora las “Condiciones de trabajo” que, a su vez, mejora los “Resultados uniones” y “Resultados inspección”. La mejora es, por tanto, de forma indirecta.

- **“Formación”** influye positivamente sobre las “Condiciones de trabajo” (0,335) y lo hace con la misma fuerza que con los efectos directos. Por otro lado, también produce una mejora en los “Resultados uniones” (0,247) y en los “Resultados inspección” (0,296), gracias a los efectos indirectos.
- **“Resultados uniones”**, el efecto positivo que tiene sobre los “Resultados inspección” (0,241) se mantiene igual que el expuesto en los efectos directos, ya que, no tiene efectos indirectos que sumen valor.

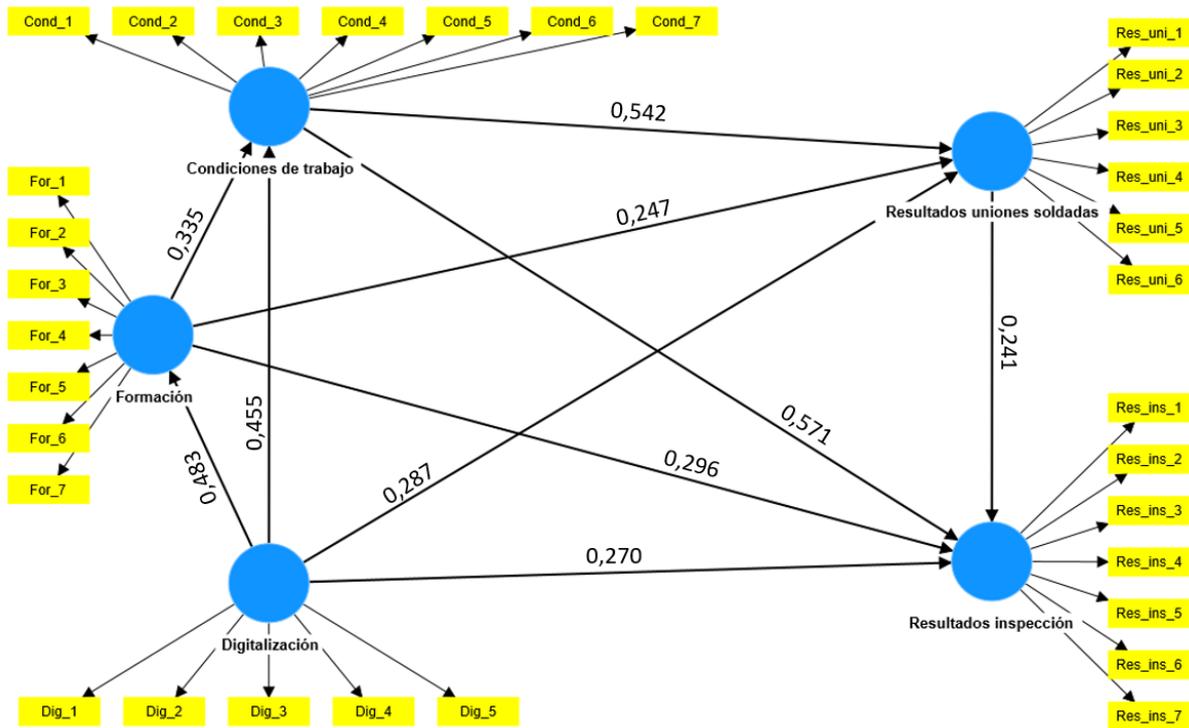


Imagen 7. 1. Valores sample mean (M) de los Total Effects.

Fuente: SmartPLS

Tabla 7. 1. Comparación de los efectos directos y totales que tienen los constructos exógenos sobre los endógenos.

	DIRECTOS		TOTALES		INDIRECTOS (TOT. - DIR.)	
	Sample mean (M)	P values	Sample mean (M)	P values	Sample mean (M)	P values
Condiciones de trabajo -> Resultados inspección	,440	,000	,571	,000	,131	,034
Condiciones de trabajo -> Resultados uniones soldadas	,542	,000	,542	,000	,000	,000
Digitalización -> Condiciones de trabajo	,296	,002	,455	,000	,160	,001
Digitalización -> Formación	,483	,000	,483	,000	,000	,000
Digitalización -> Resultados inspección	-,043	,646	,270	,001	,313	,000
Digitalización -> Resultados uniones soldadas	,009	,905	,287	,001	,278	,000
Formación -> Condiciones de trabajo	,335	,000	,335	,000	,000	,000
Formación -> Resultados inspección	,090	,434	,296	,008	,206	,002
Formación -> Resultados uniones soldadas	,065	,563	,247	,033	,182	,004
Resultados uniones soldadas -> Resultados inspección	,241	,021	,241	,021	,000	,000

Fuente: elaboración propia.

7.2. Implicaciones para el sector

A continuación, tras haber hecho una disposición de los resultados obtenidos, se procede a comentar las implicaciones que esto tiene para el sector.

Si se consiguen unas buenas condiciones de trabajo, es decir, una iluminación adecuada, orden y limpieza, posturas de trabajo correctas, uso correcto de los EPI's, entonces, habrá una mejora considerable de la calidad de las uniones soldadas y de las inspecciones de soldadura.

Por otro lado, no se puede afirmar que una mayor digitalización de los procesos mejore, de forma directa, los resultados de las soldaduras y de las inspecciones. Sin embargo, sí que se observa que, una mayor digitalización ayuda a mejorar la formación de los profesionales (soldadores e inspectores), así como también, las condiciones de trabajo. Por lo tanto, la digitalización favorece a la formación y las condiciones de trabajo, que, a su vez, mejoran la calidad de las soldaduras y de las inspecciones de las mismas.

Se concluye que la formación de los profesionales no implica, por sí sola, una mejora significativa de los resultados de las uniones soldadas y de las inspecciones de soldadura. Aunque, se determina que una adecuada formación favorece mucho a las condiciones de trabajo. Esto tiene mucho sentido, ya que, el hecho de que los trabajadores (soldadores o inspectores) tengan conocimientos y estén bien formados, va a hacer que ellos mismos identifiquen si las condiciones de trabajo que tienen, cuando van a realizar un trabajo, son las adecuadas, antes de comenzar el trabajo. Esto es una ventaja porque el propio soldador /inspector va a exigir las condiciones óptimas para el trabajo si no las tiene, lo cual, asegura una mayor calidad de las soldaduras e inspecciones.

Por último, como conclusión de los resultados obtenidos se tiene que una buena calidad de la soldadura favorece a los resultados de la inspección de la misma. Y tiene sentido, ya que, si la soldadura es buena, los resultados de la inspección van a salir bien también. El resultado que se ha obtenido de esta hipótesis no es muy alto, es decir, la repercusión que tienen los resultados de las uniones soldadas sobre los resultados de la inspección es pequeña, sin embargo, es positiva y tiene cierto sentido.

Recomendaciones

Dado que las condiciones de trabajo es el factor más influyente en la calidad de las uniones soldadas y de las inspecciones de soldadura, se recomienda invertir tiempo y dinero en conseguir que se cumplan las condiciones de trabajo adecuadas en cada momento. Por ejemplo:

- Planificar con antelación que la zona de trabajo esté bien iluminada.
- Evitar ruidos y vibraciones en las zonas de trabajo tanto para la soldadura como para su inspección.
- Planificar con antelación que la zona de trabajo esté ordenada y limpia.
- Prever si el uso de EPI's puede dificultar el desarrollo de los trabajos de soldadura o inspección y buscar soluciones previas.
- Conseguir las herramientas adecuadas para cada trabajo y verificar que se están usando.

- Evitar el desarrollo de trabajos en espacios reducidos siempre que sea posible.
- Planificar con antelación la forma de trabajar, evitando malas posturas durante el trabajo.

Se recomienda digitalizar las actividades para la formación de los profesionales, tanto soldadores, como inspectores de soldadura, en el sector. Algunos ejemplos de usar la digitalización para la formación son:

- Utilizar aulas virtuales y videoconferencias para la enseñanza.
- Usar contenido educativo interactivo.
- Utilizar recursos de aprendizaje adaptativo que se adapten a cada persona.
- Realidad virtual y aumentada utilizada para visualizar los procesos de soldadura, permitiendo a los operadores practicar y aprender.

Y por su parte, también se recomienda digitalizar los procesos de soldadura y los métodos de inspección o supervisión de la misma. Por ejemplo, utilizando las siguientes herramientas:

- Diseño asistido por ordenador (CAD), para crear modelos 3D detallados y visualizar la soldadura antes de realizarla.
- Software de planificación que optimicen la secuencia de soldadura y minimicen tiempos de inactividad.
- Gestionar de manera digital los parámetros de soldadura, registros de procedimientos, informes, anomalías, etcétera, para un fácil acceso, seguimiento y trazabilidad.
- Monitoreo en tiempo real de los parámetros de la soldadura para supervisarlos al momento y detectar desviaciones.

Por último, se recomienda a las empresas que proporcionen formación continua a sus trabajadores, ya que, se trata de un sector que está evolucionando y los profesionales deben estar bien formados.

Capítulo 8. Conclusiones

El estado del arte de las técnicas de soldadura y los métodos de inspección de uniones soldadas en el sector naval han sido analizados exhaustivamente, lo que ha proporcionado un marco de referencia sólido para el desarrollo de este estudio. Se ha observado la importancia de mantenerse actualizado con las últimas tecnologías y prácticas en este campo para mejorar la eficiencia y la calidad de los procesos.

La encuesta diseñada como técnica de recopilación de datos ha sido una herramienta valiosa para obtener información relevante de la población objetivo. Las preguntas cuidadosamente definidas han permitido obtener datos significativos que han contribuido al análisis y la comprensión de los factores que influyen en los procesos de soldadura e inspección en los astilleros. El proceso de recogida de información ha sido lento y cuidadoso, asegurándose en todo momento de que las encuestas llegaban sola y exclusivamente a los profesionales de la población objetivo, evitando así, que se puedan falsear los datos.

El modelo de hipótesis construido ha sido fundamental para estructurar la investigación y establecer relaciones entre los constructos teóricos. El análisis de estas hipótesis ha proporcionado una mayor comprensión de los factores que afectan a los procesos de soldadura e inspección, así como las posibles relaciones entre ellos. Por su parte, la definición de cada uno de los constructos por separado ha ayudado a definir los indicadores o variables observables que serán las futuras preguntas que definirán la encuesta.

La metodología *PLS-SEM*, implementada a través del programa estadístico *SmartPLS4*, ha demostrado ser una herramienta eficaz para analizar las respuestas de las encuestas y evaluar los resultados. Esto ha permitido identificar patrones, correlaciones y relaciones entre los diferentes constructos, proporcionando información clave para la toma de decisiones.

En base al cálculo mediante la herramienta *SmartPLS4* llevado a cabo en el capítulo 6, donde se importan los datos obtenidos de las encuestas y se calcula el análisis del modelo estructural, se concluye que la digitalización, una buena formación y unas adecuadas condiciones de trabajo, son elementos que tienen un efecto positivo sobre la calidad de las uniones soldadas y la calidad de las inspecciones de soldadura. Si bien es cierto que hay ciertos factores que influyen más que otros, es por ello, que se sugiere seguir las recomendaciones propuestas al final del capítulo 7, con el fin de obtener posibles mejoras de las soldaduras y sus inspecciones en el sector naval.

Se han identificado áreas de mejora y líneas futuras de investigación, como, por ejemplo, la exploración de nuevas tecnologías de soldadura e inspección, el desarrollo de programas de capacitación y formación para el personal, y la aplicación de estrategias de gestión de calidad más eficientes. Estas líneas de investigación podrían contribuir aún más a la optimización de los procesos en los astilleros y al mejoramiento continuo de la calidad en la industria naval

A continuación, se van a nombrar algunos de los inconvenientes encontrados a lo largo de la realización del presente trabajo:

El primer inconveniente encontrado es la falta de una mayor formación acerca de las uniones soldadas y sus métodos de inspección. En un principio, se tenía un conocimiento general de esta área, sin embargo, para poder hacer un estudio de identificar elementos de mejora en las inspecciones de construcciones soldadas, es necesario profundizar mucho más en este tema. Por ello, en el capítulo 2 del presente trabajo se hace un repaso de los temas más importantes a tener en cuenta para poder abordar este trabajo.

Otro de los inconvenientes que se ha encontrado durante la realización de este trabajo ha sido estudiar y entender la metodología PLS-SEM, así como el programa estadístico SmartPLS4. Hay que tener en cuenta que esta metodología era algo nuevo para el autor de este trabajo y, sin embargo, era de vital importancia entenderla para poder interpretar correctamente el modelo de hipótesis y los resultados obtenidos. Es por ello que se dedicó mucho tiempo a leer artículos e información acerca de esta metodología. Por su parte, el programa SmartPLS4 utilizado para el análisis de las respuestas también era una novedad, pero gracias a las tutorías con el director del trabajo, así como a la lectura del manual del programa, se consiguió aprender a usarlo y a interpretar los resultados.

Otra problemática encontrada es el diseño del cuestionario, el cual es uno de los pasos más importantes en el diseño de la encuesta, ya que la correcta formulación de las preguntas influirá en los resultados obtenidos. Sin embargo, no existen reglas definitivas que aseguren la creación de un cuestionario efectivo y eficiente. Esto significa que las técnicas para elaborar un cuestionario eficaz deben ser aprendidas por el investigador a través de su propia experiencia, deduciendo algunas pautas útiles para el diseño del cuestionario. Por este motivo, el diseño del cuestionario fue uno de los mayores problemas debido a la falta de experiencia del autor en diseñar este tipo de encuestas. Por lo que hubo que dedicar tiempo a investigar sobre pautas a seguir en la elaboración de encuestas. Además, el director y codirector del trabajo, también ayudaron bastante. Fue, entonces cuando después de varias versiones, se consiguió dar con la encuesta final que ha sido la que se ha utilizado para la recopilación de datos y que viene como anexo a este documento.

La desventaja del proceso de recogida de datos radica en localizar y distribuir la encuesta a una población objetivo tan específica como son los soldados e inspectores de construcciones soldadas en el ámbito naval. Aunque pueda parecer que hay una cantidad considerable, en realidad no es así, y conseguir que un gran número de personas reciban y respondan el cuestionario ha sido indudablemente un desafío. De hecho, la recolección de encuestas respondidas fue un proceso que duró cinco meses.

Capítulo 9. Líneas futuras de investigación

En este capítulo se proponen futuras líneas de investigación que puedan dar continuidad a este trabajo:

- Constatar los resultados obtenidos en este trabajo para profesionales con menos de 10 años de experiencia y con más de 10 años de experiencia, haciendo una comparativa.
- Constatar los resultados comparando las respuestas de las encuestas de solo soldadores por un lado y de solo inspectores por otro lado. Esto sería interesante para ver que conclusiones se obtienen teniendo solo en cuenta la opinión de soldadores, por un lado y solo la opinión de inspectores, por otro lado, y ver si las conclusiones obtenidas difieren mucho y en qué.
- Añadir otros constructos al modelo de hipótesis relacionados con la industria 4.0 como la robótica o la realidad aumentada.
- Aumentar la muestra de población objetivo a un número de 200 muestras (100 respuestas de soldadores y 100 respuestas de inspectores).

Bibliografía

- [1] W.E. Witzell, M.S. Hersh, and R.T. Anderson. "A survey of welding and inspection techniques for 2219-T81 Aluminum Alloy". National Aeronautics and Space Administration, January 1967.
- [2] Carrillo Olivares, F. y López Torres, E.: "Soldadura, corte e inspección de obra soldada". Servicio de publicaciones Universidad de Cádiz, Cádiz, 1998.
- [3] Departamento Tecnológico de CESOL.: "Inspector de Construcciones Soldadas. La Nueva norma UNE 14618".
- [4] Ortega Hernández, J.J.: "Procesos de Conformado y Unión". Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica, universidad Politécnica de Cartagena.
- [5] James R. Thorntoon.: "Capítulo 92. Construcción y reparación de buques y embarcaciones de recreo". Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.
- [6] Calderón García, J.A.: "Elaboración de un plan de calidad para las construcciones soldadas en la empresa Prodimal LTDA". Universidad Libre de Colombia, Bogotá, 2011.
- [7] Oliver, J.: "Implantación de una unidad productiva dedicada a la fabricación de estructuras soldadas de aluminio". Proyecto Final de Carrera, Universitat Politècnica de Catalunya, 2005.
- [8] Rosell González, J.V., Casero Perpiñá, A.C y Maás Arteché, F.: "Tema 8 Control de Calidad". CESOL.
- [9] Guivernau, J.M.: "Procesos de soldadura aplicados en la construcción naval". Proyecto Final de Carrera, universitat Politècnica de Catalunya, octubre 2011.
- [10] Cristopher Andrés, F.E. y Claudio Guillermo, L.R.: "Reducción de tiempos en los procesos de soldadura en estructuras navales". Universidad Politécnica Salesiana Ecuador, Guayaquil, marzo de 2022.
- [11] Salas Martín, S.: "innovación y mejora en la inspección por ultrasonidos en la construcción naval de un buque portacontenedores". Proyecto Final de Carrera, Universidad de Cádiz, julio 2010.
- [12] Álvarez Bayona, T.: "iluminación en el puesto de trabajo. Criterios para la evaluación y acondicionamiento de los puestos". Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), Madrid, diciembre 2015.
- [13] Villar Fernández, María Felix.: "Posturas de trabajo: evaluación del riesgo". Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), Madrid, diciembre 2015.
- [14] Ramirez-Asis, E., Espinoza Maguiña, M., Esquivel Infantes, S. & Naranjo-Toro, M. (2020). Inteligencia emocional, competencias y desempeño del docente universitario: Aplicando la técnica mínimos cuadrados parciales SEM-PLS. Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado, 23(3), 99-114.
- [15] Martínez Ávila, M. y Fierro Moreno, E.: "Aplicación de la técnica PLS-SEM en la gestión del conocimiento: un enfoque técnico práctico". Revista Iberoamericana para la investigación y el Desarrollo Educativo ISSN 2007-7467.

- [16] Bonales Valencia, J., Ortíz Paniagua, C. F. y Gaytán Cortés, J.: “Evaluación del Bootstrapping en los indicadores y variables de la Competitividad en las Empresas Exportadoras aplicando la Técnica PLS-SEM”. Revista CIMEXUS Vol. XIII, No.2, 2018.
- [17] Para González, L.: “implicaciones de la gestión de calidad total en la dirección de recursos humanos: una aproximación empírica bajo la óptica del modelo EFQM”. Doctorado en Administración de Empresas, Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, octubre de 2014.
- [18] Lorenzo, T. O.: “Estudio de los procesos de soldadura GTAW y SMAW en la industria naval: Análisis casos prácticos”. Tesis de grado Universitat Politècnica de Catalunya, 2019.
- [19] Lambraño, G. E., Lázaro, P. J., & Trigos, Q. A. (2017). Revisión de técnicas de sistemas de visión artificial para la inspección de procesos de soldadura tipo GMAW. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 47-57.
- [20] Pelayo, M. P., & Lombera, G. (2020). Technological change in the naval industry using the friction spot-stir Welding (FSSW) Process. Revista UIS ingenierías, 61-68.
- [21] Hari, J.F., Hult, G.T.M., Ringle, C.M., & Sarstedt, M. (2022).: “A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM), 3rd ed. Thousand Oaks, CA: Sage.

PÁGINAS WEB Y ARTÍCULOS DE INTERÉS

- [22] <https://www.applus.com/global/es/>
- [23] <https://www.applus.com/global/es/what-we-do/sub-service-sheet/inspecci%C3%B3n-automatizada-de-soldadura-ultras%C3%B3nica-de-rotoscan>
- [24] <https://ipecontrol.com/inspeccion-de-soldaduras/>
- [25] <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn58.html>
- [26] <https://www.finilager.bo/servicios-de-ingenieria/>
- [27] “Innovación en la soldadura: hacia las máquinas automáticas”. TESOL, 25 de enero de 2023.
- [28] “Una alternativa rápida y segura para inspeccionar soldaduras”. Olympus IMS, 22 de enero de 2023.
- [29] “Tema 2: El cuestionario. Diseño del cuestionario” Universidad de Granada.
- [30] <https://seaberyat.com/en/>
- [31] <https://blog.perfectwelding.fronius.com/es/limpieza-de-cordones-de-soldadura-de-acero-inoxidable-comparacion-de-tres-metodos-probados/>
- [32] <https://www.alamy.es/>
- [33] <https://ipecontrol.com/inspeccion-de-soldaduras/>

Anexo I. Encuesta

Soldadura e inspección en el sector naval

Se trata de una encuesta de cinco minutos cuyo objetivo es detectar posibles mejoras en la inspección y procesos de soldadura en el sector naval, mediante el análisis de las respuestas obtenidas. Para ello, la deben responder personas relacionadas con el mundo de la soldadura en el sector naval (soldadores, inspectores, supervisores, jefes de producción).

Por favor, responda las preguntas en base a su propia experiencia. Si actualmente no ejerce como profesional del sector, responda en base a su experiencia previa. Es imprescindible que responda a todas las preguntas.

Muchísimas gracias por su colaboración.

* Indica que la pregunta es obligatoria

1. Sexo *

Marca solo un óvalo.

Masculino

Femenino

2. Edad *

3. Formación (Curso soldador, ICS, IWI, Ingeniería, etcétera). *

4. Puesto de trabajo relacionado con la soldadura (Soldador, Supervisor, Inspector, Jefe de producción, Jefe de obra u otros). *

5. ¿Cuántos años de experiencia profesional tiene trabajando en el ámbito de la soldadura? *

6. ¿Se respetan los tiempos de descanso en su puesto de trabajo?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

7. ¿Crees que está bien remunerado el trabajo que realizas?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

No Sí

8. ¿Considera que el orden y limpieza implementado en la zona de trabajo es el adecuado? *

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

9. ¿Considera que el grado de orden y limpieza implementado en la zona de trabajo favorece el tiempo de culminación de los trabajos de soldadura/inspección? *

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

No, Sí, Sí, siempre

10. ¿Suele realizar los trabajos de soldadura/inspección en zonas bien iluminadas? *

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

11. Las posturas/posiciones que tiene que adoptar para realizar los trabajos, ¿facilitan el desarrollo del trabajo? *

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

12. ¿Emplea las herramientas adecuadas para realizar su trabajo? *

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

13. ¿Considera que el espacio disponible en el que realiza su trabajo facilita su labor o ejecución? *

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

14. ¿Hace uso de los EPI's necesarios para realizar su trabajo? *

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

15. ¿Dispone de la formación necesaria para su puesto de trabajo? *

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

No, Sí, toda la necesaria

16. ¿Recibe formación por parte de su empresa? *

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Sí, con frecuencia

17. ¿Considera que está adecuadamente cualificado para realizar su trabajo? *

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

No, Sí, en todo momento

18. ¿Cree que su empresa invierte lo suficiente en formación para usted?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

19. ¿Le pide a su empresa que le proporcione formación para mejorar sus funciones en el puesto de trabajo?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

20. ¿Considera que tiene la experiencia necesaria para realizar adecuadamente su trabajo?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

No Sí

21. ¿Utiliza en su trabajo plataformas de simulación virtuales que permitan practicar procesos de soldadura en condiciones virtuales pero realistas?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

22. ¿Se usan sistemas de inspección de soldadura informatizados de presentación y almacenamiento de datos, que reduzcan el tiempo de inspección y eviten posibles errores en la interpretación de los resultados?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

23. ¿Considera usted que están digitalizados los métodos de inspección de uniones soldadas en el sector naval?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

No, | Si, mucho

24. ¿Considera usted que están digitalizados los procesos de soldeo en la construcción naval?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

No, | Si, bastante

25. ¿Se utilizan aplicaciones que ayuden a determinar los parámetros de soldadura?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

26. ¿Se emplean técnicas y sistemas para el control y la monitorización de la soldadura?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

27. ¿Cuándo crees que la digitalización y automatización estará plenamente implementada en los procesos de soldeo en el sector naval?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Cort Largo plazo (> 5 años)

28. ¿Cuándo crees que la digitalización y automatización estará plenamente implementada en los procesos de inspección en el sector naval?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Cort Largo aplazo (> 5 años)

29. ¿Dispone de procedimientos escritos para realizar la inspección de soldadura?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

30. Antes de comenzar con la soldadura, ¿se verifica:
- Validez de los certificados de cualificación de los soldadores
 - Idoneidad de la especificación del procedimiento de soldeo
 - Identificación de consumibles de soldeo
 - Preparación de las uniones
 - Idoneidad de las condiciones de trabajo
 - Idoneidad y condiciones de los equipos?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

31. Durante la soldadura, ¿se verifican los factores:
- Parámetros de soldeo
 - Temperatura de precalentamiento, temperatura entre pasadas
 - Limpieza de los cordones y pasadas del metal
 - Resanado de la raíz
 - Secuencia de soldeo
 - Control de deformaciones?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

32. ¿Se es estricto con el cumplimiento de los requisitos?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

33. ¿Se hacen inspecciones en todas las soldaduras?
(1:En ninguna; 3: en algunas; 5: en todas)

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre, en todas

34. ¿Se interpretan adecuadamente los resultados de las inspecciones de soldadura?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

35. ¿Se hacen las inspecciones requeridas después del soldeo

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

36. ¿La calidad de la soldadura obtenida normalmente en los trabajos es la requerida?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

37. ¿Se suele conseguir una unión soldada con la calidad exigida a la primera?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

38. ¿Trabaja fuera de su rango de cualificación?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

39. ¿Todo el personal implicado en el proceso de soldeo conoce los procedimientos de trabajo? *

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

40. ¿Se obtiene el aspecto y dimensiones deseado de las soldaduras?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

41. ¿Se terminan los trabajos con la calidad requerida en fecha?

Marca solo un óvalo.

1 2 3 4 5

Nun Siempre

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

