



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

**Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del
Producto**

Diseño de una línea de pavonado de piezas metálicas

Autor:

Rojo García, Adrián

Tutor:

Mostaza Fernández, Roberto

**Dpto. Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Expresión
Gráfica en la Ingeniería, Ingeniería Cartográfica, Geodesia y
Fotogrametría, Ingeniería Mecánica e Ingeniería de los Procesos de
Fabricación**

Valladolid, julio 2019.

Diseño de una línea de pavonado de piezas metálicas

Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto

Adrián Rojo García

Resumen

El propósito del proyecto es crear una línea de pavonado manual y/o automática que tenga una aplicación industrial para someter a las piezas metálicas a un tratamiento superficial y mejorar sus características. El proceso investigativo previo y necesario para determinar la funcionalidad y las características de la máquina, se realizó basándose en el proceso convencional del pavonado en frío, obteniendo como resultados una máquina que permita mejorar los trabajos manuales a los operarios y se involucre en el “Lean Manufacturing” de la empresa como se explica en los objetivos.

Abstract

The purpose of this project is to create a black oxide line, which can be manual and/or automatic and it has an industrial application to subject the metal pieces to a Surface treatment and improve their properties. The previous and necessary investigative process to determine the functionality and the characteristics of the machine has made base on the conventional process of the cold black oxide, obtaining as results a machine, which allows to improve manual Jobs of the workers and get involved in the “Lean Manufacturing” of the Company as explained in the objectives.

Palabras clave

Pavonado en frío, diseño, piezas metálicas, tratamiento superficial, proceso.

Keywords

Cold black oxide, design, metal parts, Surface treatment, process.

Diseño de una línea de pavonado de piezas metálicas

Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto

Adrián Rojo García

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	9
JUSTIFICACIÓN.....	9
RELEVANCIA TEÓRICA Y PRÁCTICA DEL PROYECTO.....	9
OBJETIVOS.....	9
1. MEMORIA.....	11
1.1. MEMORIA DESCRIPTIVA	11
1.1.1. PROCESO DE PAVONADO EN FRÍO	11
1.1.2. ESTUDIO DE LA TÉCNICA.....	15
1.1.3. SOLUCIÓN ADOPTADA	24
1.1.3.1. VENTAJAS DE POSEER UNA LÍNEA DE PAVONADO EN FRÍO	24
1.1.3.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA LÍNEA DE PAVONADO EN FRÍO	26
1.1.3.3. DIMENSIONES DE LA LÍNEA DE PAVONADO	33
1.2. MEMORIA CONSTRUCTIVA.....	34
1.2.1. MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN	34
1.2.1.1. ESTRUCTURA DEL BASTIDOR	34
1.2.1.2. CUBAS	37
1.2.1.3. TAPAS DE LAS CUBAS	39
1.2.1.4. CESTAS.....	39
1.2.2. ACABADO SUPERFICIAL.....	39
1.3. ANEJOS A LA MEMORIA.....	41
1.3.1. DIAGRAMA DE FLUJO	41
1.3.2. PUESTO DE TRABAJO	42
1.3.3. ESTUDIO ANTROPOMÉTRICO.....	43
1.3.4. PROTECCIÓN DE LA MÁQUINA.....	44
1.3.5. DIAGRAMA SINÓPTICO DEL PROCESO DE MONTAJE DE LA LÍNEA DE PAVONADO.....	46
1.3.6. COMPROBACIONES MECÁNICAS Y ESTUDIO DE FUERZAS.....	47
1.3.6.1. ESTRUCTURA DE LA LÍNEA DE PAVONADO.....	47
1.3.6.1.1. SIMULACIÓN 1 DE LA ESTRUCTURA DE LA LÍNEA DE PAVONADO	47
1.3.6.1.2. SIMULACIÓN 2 DE LA ESTRUCTURA DE LA LÍNEA DE PAVONADO	53
1.3.6.1.3. SIMULACIÓN 3 DE LA ESTRUCTURA DE LA LÍNEA DE PAVONADO	58
1.3.6.1.4. SIMULACIÓN 4 DE LA ESTRUCTURA DE LA LÍNEA DE PAVONADO	61
1.3.6.1.5. SIMULACIÓN 5 DE LA ESTRUCTURA DE LA LÍNEA DE PAVONADO	63
1.3.6.1.6. CONCLUSIÓN	65
1.3.6.2. CUBA DE POLIPROPILENO	66
1.3.6.2.1. SIMULACIÓN 1 DE LA CUBA.....	66
1.3.6.2.2. SIMULACIÓN 2 DE LA CUBA.....	72

2. PLANOS.....	77
3. PLIEGO DE CONDICIONES.....	78
3.1. DISPOSICIONES GENERALES	78
3.1.1. OBJETO DEL PLIEGO.....	78
3.1.2. DOCUMENTACIÓN DEL PROYECTO.....	78
3.2. CONDICIONES TÉCNICAS.....	78
3.2.1. DOCUMENTOS SOPORTE	79
3.3. CONDICIONES FACULTATIVAS	79
3.3.1. JEFE DE FABRICACIÓN	79
3.3.2. OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA	80
3.3.3. PLAZOS Y COMIENZOS DE LA FABRICACIÓN	80
3.3.4. FALLOS DE FABRICACIÓN O MONTAJE	80
3.3.5. GARANTÍA.....	80
3.4. CONDICIONES ECONÓMICAS.....	81
3.4.1. GARANTÍAS.....	81
3.4.2. GASTOS E IMPUESTOS	81
3.4.3. PRECIOS CONTRADICTORIOS	81
3.4.4. RECLAMACIÓN POR AUMENTO DE PRECIO	81
3.4.5. REVISIÓN DE PRECIOS.....	82
3.4.6. EQUIVOCACIONES DEL PRESUPUESTO	82
3.4.7. PAGOS.....	82
3.4.8. SUSPENSIÓN POR RETRASO DE PAGOS	82
3.4.9. INDEMNIZACIÓN POR EL RETRASO DE LOS TRABAJOS.....	82
3.4.10. MEJORAS DE FABRICACIÓN	82
3.5. CONDICIONES LEGALES	83
3.5.1. MARCO JURÍDICO	83
3.5.2. RÉGIMEN DE INTERVENCIÓN	83
3.5.3. ACCIDENTES DE TRABAJO Y DAÑOS A TERCEROS	84
3.5.4. RESPONSABILIDAD CIVIL	84
3.5.5. PERMISOS Y CERTIFICADOS	84
3.5.6. RESCISIÓN DEL CONTRATO.....	84
3.5.7. DISPOSICIONES LEGALES	85
3.6. ESTUDIO DE SEGURIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE	86
3.6.1. INTRODUCCIÓN	86
3.6.2. TIPOS DE PELIGROS QUE INTERVIENEN EN LA FABRICACIÓN Y MONTAJE DE LA LÍNEA DE PAVONADO	87
3.6.2.1. PELIGRO MECÁNICO.....	87
3.6.2.2. PELIGRO ELÉCTRICO	87
3.6.2.3. PELIGRO TÉRMICO	87
3.6.2.4. PELIGRO PRODUCIDO POR RUIDOS O VIBRACIONES	88
3.6.2.5. PELIGROS PRODUCIDOS POR LOS MATERIALES EMPLEADOS.....	88

3.6.2.6. OTROS PELIGROS	88
3.6.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE LOS PELIGROS	89
3.6.3.1. MEDIDAS PREVENTIVAS DE LOS TRABAJADORES	89
3.6.3.2. MEDIDAS PREVENTIVAS DE LAS MÁQUINAS USADAS PARA LA FABRICACIÓN Y MONTAJE DE LA LÍNEA DE PAVONADO	90
3.6.3.2.1. DISPOSITIVOS DE INFORMACIÓN	90
3.6.3.2.2. DISPOSITIVOS DE ADVERTENCIA	90
3.6.3.2.3. MARCADO CE.....	90
3.6.3.2.4. MANUAL DE INSTRUCCIONES.....	92
3.6.3.3. REQUISITOS DE SALUD Y SEGURIDAD QUE DEBE CUMPLIR LA FABRICACIÓN Y MONTAJE DE LA LÍNEA DE PAVONADO	93
3.6.3.3.1. PRINCIPIOS DE LA INTEGRACIÓN DE LA SEGURIDAD.....	93
3.6.3.3.2. MATERIALES Y PRODUCTOS USADOS EN LA FABRICACIÓN	93
3.6.3.3.3. DISEÑO DE LA MÁQUINA CON OBJETIVOS PARA SU MANIPULACIÓN EN EL MONTAJE.....	93
3.6.3.3.4. ROTURAS EN SERVICIO	94
3.6.3.3.5. ARISTAS CORTANTES.....	94
3.6.3.3.6. DECLARACIÓN “CE” DE CONFORMIDAD	94
3.6.3.3.7. EXAME “CE” DE TIPO	94
3.7. ESTUDIO DE CALIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE	95
3.7.1. CONTROL DE CALIDAD DE LA DOCUMENTACIÓN DE FABRICACIÓN	95
3.7.2. CONTROL DE CALIDAD DE LA FABRICACIÓN	95
3.7.3. CONTROL DE CALIDAD DE LA DOCUMENTACIÓN DE MONTAJE	96
3.8. ESTUDIO DE SEGURIDAD EN EL PUESTO DE TRABAJO DE LA LÍNEA DE PAVONADO.....	96
3.8.1. INTRODUCCIÓN	96
3.8.2. TIPOS DE PELIGRO QUE INTERVIENEN EN EL PUESTO DE TRABAJO DE LA LÍNEA DE PAVONADO.....	97
3.8.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE LOS PELIGROS	97
3.8.3.1. MEDIDAS PREVENTIVAS DE LOS TRABAJADORES	97
3.8.3.2. MEDIDAS PREVENTIVAS DE LAS LÍNEAS DE PAVONADO	98
4. PRESUPUESTO INDUSTRIAL.....	98
4.1. COSTE DE MATERIALES.....	98
4.2. MANO DE OBRA DIRECTA	101
4.3. COSTE DEL PUESTO DE TRABAJO.....	102
4.4. COSTE TOTAL.....	103
4.4.1. COSTE TOTAL DE LA LÍNEA DE PAVONADO 1 “CON REVESTIMIENTO”	103
4.4.2. COSTE TOTAL DE LA LÍNEA DE PAVONADO 1 “SIN REVESTIMIENTO”	104
4.4.3. COSTE TOTAL DE LA LÍNEA DE PAVONADO 2	104
5. CONCLUSIONES	106

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
7. ANEXOS	108

INTRODUCCIÓN

JUSTIFICACIÓN

Este trabajo de fin de grado está motivado para crear un proyecto de una línea de pavonado, con todos sus documentos, que se pueda materializar en la realidad por una empresa industrial en el sector metalúrgico, debido a que en la actualidad se ha dado una creciente demanda de realizar tratamientos superficiales a las piezas metálicas en contra de la corrosión, como son el cromado, galvanizado, niquelado, pavonado, etc.

Por tanto, en este proyecto, se pretende diseñar y crear una línea de pavonado debido a la abundante demanda, que se produce en el mercado, de piezas que aguanten la corrosión.

RELEVANCIA TEÓRICA Y PRÁCTICA DEL PROYECTO

Para la justificación teórica del proyecto se provee al lector de las primeras teorías que existen sobre el tratamiento superficial del pavonado u óxido negro. Estas teorías son patentes americanas con inicio en el año 1950, donde explican todo el proceso del pavonado u óxido negro, por el cual las piezas metálicas de acero se recubren de una fina película en contra de la corrosión con lo que la vida útil de estas piezas aumenta con respecto a que no tuviese este tratamiento. (1) (2) (3) (4) (5) (6)

Tras la parte teórica del proyecto, donde se explican el proceso de pavonado, viene la parte práctica, la cual se puede extrapolar a la realidad, ya que cualquier empresa del sector metalúrgico puede crear una línea de pavonado como la que se expone en este proyecto. En los apartados siguientes del proyecto, se muestra las capacidades y especificaciones que tiene y puede soportar la línea de pavonado que se va a exponer, para ello hay fotografías y explicaciones donde se argumenta cómo se debe fabricar, montar y utilizar la línea de pavonado por los operarios.

OBJETIVOS

Los objetivos que persigue este proyecto, con el diseño y la creación de una línea de pavonado que se pueda implantar en una fábrica metalúrgica son muchos:

- El pavonado es un tratamiento decorativo que proporciona unas capacidades contra la corrosión durante un largo periodo de tiempo.
- La línea de pavonado se puede suministrar fácilmente debido a su simple sistema de ensamblado. La línea de pavonado se puede rediseñar en función de las piezas a pavonar.
- La línea de pavonado es poco costosa.
- Evitar el factor contaminante del proceso de pavonado en caliente.

- Evitar los cuellos botella, como puede ser enviar las piezas a pavonar al exterior, ya que no controlas los tiempos. Evitar que el coste del producto se eleve en exceso al enviarlo a un subcontratista, ya que el coste del producto al enviarlo a pavonar fuera de nuestra planta aumenta considerablemente, en relación a si lo haces en tu propia empresa.
- Al tener una línea de pavonado en tu propia empresa reduces los gastos de empaque y transporte, además, del tiempo de entrega, si tuvieras que enviar las piezas a pavonar al exterior. Pavonar las piezas por un subcontratista necesita de niveles de inventario más altos, complica los controles de calidad ISO y provoca una respuesta más lenta para los clientes.
- Con una línea de pavonado interna, los tiempos de trabajo son menos de horas, reduciendo tiempos y costes, optimiza los patrones de flujo de trabajo y mejora el control de calidad sobre las piezas terminadas. Al enviar los productos acabados en un tiempo de ciclo mínimo y con una calidad de recubrimiento óptima en base a las especificaciones del cliente, este estará satisfecho, ganando en confianza y nuevos pedidos que harán crecer a nuestra empresa.
- En conclusión, tener una línea de pavonado en tu propia empresa metalúrgica ayuda a desarrollar el “Lean Manufacturing” de la empresa, ya que al no enviar las piezas a pavonar fuera de tu planta de trabajo se evitan movimientos de piezas, tiempos de espera y todo el transporte. Por otra parte, controlas los tiempos de ciclo de cada fase del proceso de pavonado y adecuas la producción a la demanda del cliente, controlando la producción, los inventarios y la calidad del producto. Con la contribución de una línea de pavonado al "Lean Manufacturing" de tu empresa obtenemos buscar la satisfacción del cliente cumpliendo plazos de entrega y cumpliendo con sus especificaciones al menor coste posible.

1. MEMORIA

1.1. MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1.1. PROCESO DE PAVONADO EN FRÍO

El proceso de pavonar consiste en un recubrimiento superficial anticorrosivo que provoca la mejora de las propiedades superficiales de las piezas metálicas frente a los factores ambientales externos, como pueden ser la humedad o el oxígeno de la atmósfera. El pavonado, que es una oxidación controlada de la pieza metálica, dota al material metálico de una fina película de color negro de óxido ferroso-diférrico (Fe_3O_4), componente principal de la magnetita, que al formar parte integral del metal lo protege de los agentes externos y de la corrosión superficial. (2) (3)

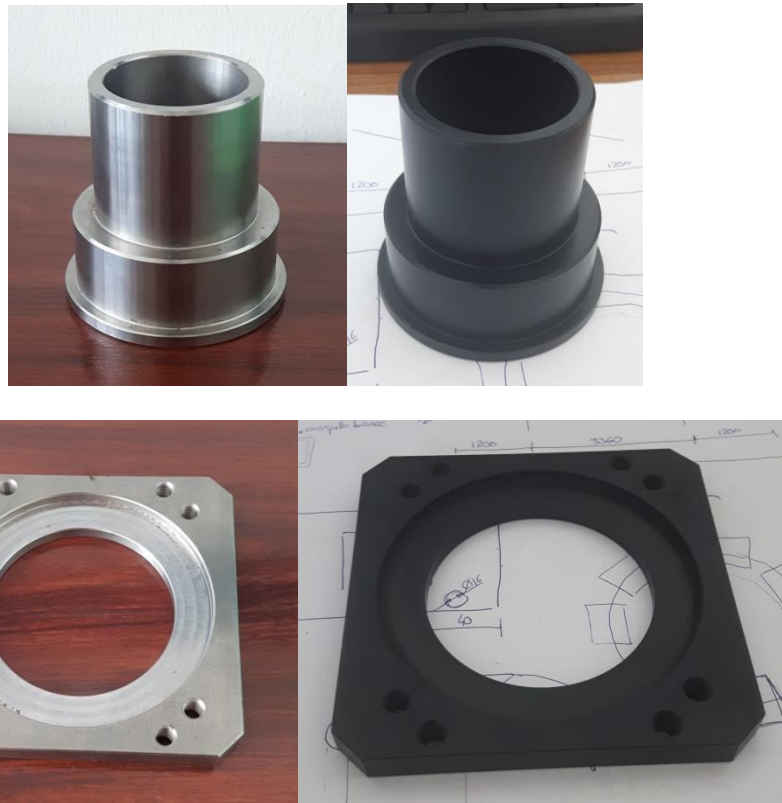


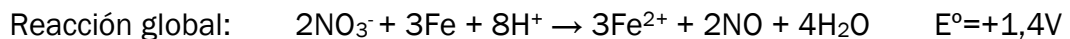
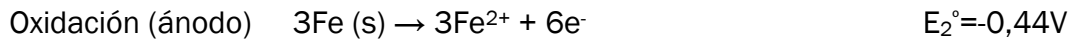
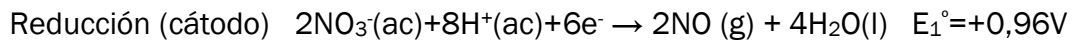
Figura 01. Antes y después de pavonar dos piezas de acero. Elaboración propia en “Represa, Construcciones Metálicas S.L.”

El pavonado en frío es un proceso que se lleva a cabo a temperatura ambiente entre $18^{\circ}C$ y $22^{\circ}C$, donde los materiales metálicos no sufren cambios ni en la dureza ni en la dimensión, siendo ventajas del proceso.

El proceso de pavonado se produce por pasivación (7) que consiste en modificar químicamente la superficie del metal, y aunque este fenómeno se da espontáneamente en los aceros inoxidables, a veces es necesario

favorecer el proceso con tratamientos de ácido oxidante en aceros estructurales o al carbono, como se explica a continuación.

El proceso de pasivación en aceros estructurales es provocado ya que al sumergir una pieza de hierro (Fe) en ácido nítrico puro (HNO₃), sustancia muy oxidante, se crea una pila galvánica, donde el hierro tiene un potencial estándar (E°) de -0,44 V y el HNO₃ tiene un potencial estándar de +0,80 V (8). Dentro de la pila lo que se produce es que el elemento de mayor potencial se reduzca y gane electrones, en este caso el HNO₃ que hace de polo positivo (cátodo), mientras que el Fe se oxida y hace de ánodo, cediendo los electrones que capta el oxígeno, y va consumiéndose y produciendo una oxidación superficial al crear una capa de Fe₃O₄ que lo protegerá en el futuro de los agentes ambientales. También se puede conseguir sumergiendo la pieza en un baño oxidante de nitratos de alcalinos fundidos.



En este caso, la reacción de pasivación es un fenómeno espontáneo ya que el potencial estándar es positivo ($E^\circ = E^\circ_{\text{cátodo}} - E^\circ_{\text{ánodo}} = +1,4 \text{ V} > 0$).

Lo que ocurre con los aceros inoxidables (9) es que no necesitan de un tratamiento de ácido oxidante ya que, al contener un alto porcentaje de cromo, cuando la superficie de la pieza está limpia y se expone a un ambiente que provee de suficiente oxígeno, se autopasivan espontáneamente, creando una película superficial de óxido rico en cromo. Esto ocurre automática e instantáneamente cuando la superficie del acero dispone de suficiente oxígeno. Con el tiempo, esta capa pasiva aumenta de grosor y si se dan unas ciertas condiciones atmosféricas, como el contacto con el aire o con agua aireada, esta película se mantendrá, evitando la corrosión. Otra característica es que el acero inoxidable se autorrepara, es decir, si sufre un rayón o su superficie se daña la capa pasiva se recompone instantáneamente de nuevo. Esto explica por qué el acero inoxidable no requiere ningún recubrimiento u otra protección a la corrosión, como puede ser el pavonado, para mantenerse limpio y brillante incluso tras mucho tiempo de uso. (1) (5) (6) (4)

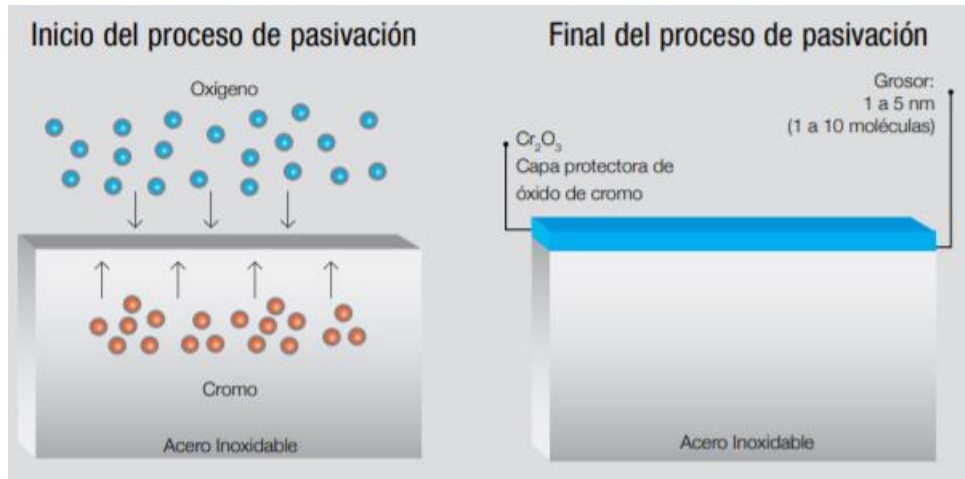


Figura 02. *Proceso de pasivación del acero inoxidable.*

https://www.walter.com/es_MX/surfox/pasivacion?setLocale=true

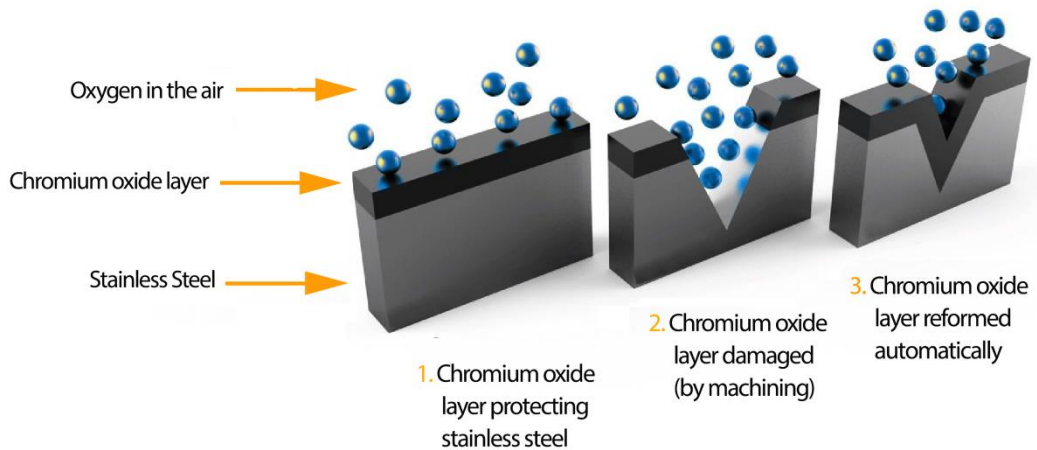


Figura 03. *Proceso de pasivación del acero inoxidable.* <https://www.nitty-gritty.it/stainless-steel-passivation-process/?lang=es>

El proceso de pavonado al ser un tratamiento superficial bastante eficaz y de bajo coste, está provocando que, cada vez con mayor frecuencia, se use en el sector metalúrgico. Aunque el proceso de pavonado es bastante eficaz, para que actúe correctamente, el proceso ha tenido que tener una buena adherencia con la pieza metálica, de tal forma que no puede haber suciedad, disconformidades o poros entre la capa de Fe_3O_4 y el metal. Esto es complicado de conseguir, ya que el recubrimiento a lo largo de la superficie de las piezas metálicas no es homogéneo por igual, influyendo en el proceso de pavonado cualquier sustancia que haya en la superficie del metal. Cualquier partícula de suciedad o grasa provoca que en la oxidación controlada en la que se crea la película de magnetita de color negro, que recubre las piezas metálicas contra la corrosión, se produzcan poros. En dichos poros o resquicios que puedan quedar en el recubrimiento, lo que

puede ocurrir es que se creen pilas galvánicas debido a la diferencia de potenciales entre el metal de la pieza y el recubrimiento de Fe_3O_4 y se produzca rápidamente la corrosión contra la que queremos actuar (10).

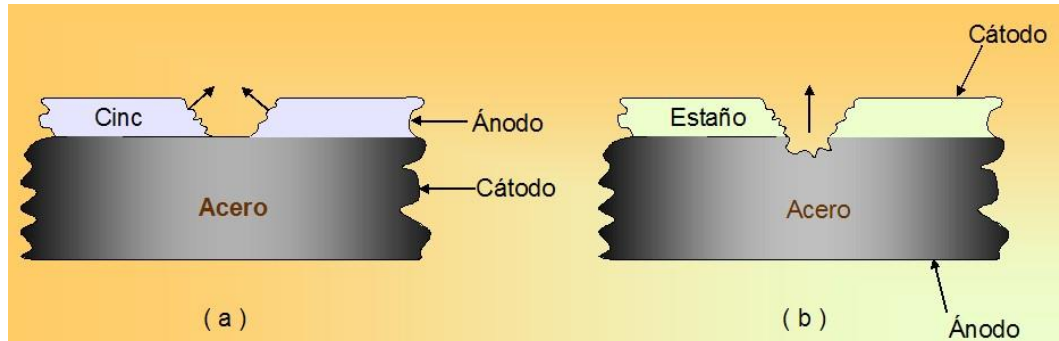


Figura 04. Comportamiento anódico-catódico del acero con capas de cinc y estaño expuestas a la atmósfera a) se corroe el cinc b) se corroe el acero.

https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm12/pfcm12_4_2.html

Aunque en el proceso de pavonado la pieza metálica siempre va a tener una fina película negra de Fe_3O_4 , este proceso puede variar de unas empresas a otras dependiendo de la calidad que se quiera obtener en el resultado final de las piezas. Por ello, los procedimientos para conseguir el pavonado pueden variar en el número de fases, en las cuales las piezas se sumergen para completar su pavonado. A continuación se explica el mejor procedimiento para pavonar las piezas metálicas al igual que el más costoso, constando este de 11 fases:

0. Las piezas metálicas a tratar se preparan en cestas. En esta fase lo que se trata es de introducir las piezas a pavonar en cestas, las cuales se van a sumergir en las cubas llenas del líquido correspondiente de las fases siguientes.
1. Desengrasado alcalino fuerte de las piezas metálicas. Es la fase en la cual se va a preparar, limpiar y desengrasar de la suciedad o taladrina las piezas metálicas mecanizadas previamente. De esta fase depende el resultado de que se produzca un buen recubrimiento superficial o no en las fases posteriores.
2. Agua en movimiento para su aclarado. La aplicación en esta fase de agua en movimiento sirve para limpiar la pieza de los posibles restos que pueden quedar en las piezas de la fase previa.
3. Decapado de las piezas metálicas. Proceso por inmersión en tanque donde se elimina las impurezas superficiales de las piezas metálicas, como manchas de termocoloración por soldadura, herrumbre o escoria.

4. Agua en movimiento. La aplicación, en esta fase, de agua en movimiento sirve para limpiar las piezas de los posibles restos que pueden quedar de la fase previa.
5. Acondicionado. En esta fase lo que se trata es de asegurarse de que con un acondicionador, la superficie de las piezas queden lo más homogéneas posibles y listas, prácticamente, para pavonar.
6. Agua en movimiento. Aplicación de agua en movimiento para tratar de que las piezas se sumerjan en la siguiente fase limpias por completo.
7. Pavonado. Es la fase principal del proceso donde se crea el recubrimiento de la fina película negra de óxido ferroso-diférrico (Fe_3O_4).
8. Agua en movimiento.
9. Aceite hidrófugo para quitar el agua. Fase en la que se baña las piezas en aceite hidrófugo para eliminar todo el agua que pueda quedar en la superficie de las piezas. A parte, proporciona una capa protectora de la corrosión sobre la capa ya pavonada. El agua al tener mayor densidad que el aceite provoca que se vaya al fondo de la cuba, por lo que esta agua habrá que retirarlo periódicamente del fondo.
10. Aceite miscible en agua. Tanto esta fase como la anterior son esenciales porque estos aceites son los encargados de formar la barrera protectora e incrementar el poder antioxidante, el tono y el brillo del acabado. Sin estos tratamientos el poder de protección anticorrosivo se reduce al mínimo, provocando en cortos periodos de tiempo oxidaciones que se incrementan con el tiempo llegando a ser muy agresivas.
11. Control de calidad. Fase final en la que se comprueba visualmente el acabado del recubrimiento, fijándonos en si este es homogéneo o si por el contrario tiene poros, resquicios o alguna mota de suciedad.

Existen procesos más sencillos y económicos en los cuales sólo se sumergirían las piezas en las cubas de las fases 0-1-2-7-8-9-10. Si al proceso anterior se le quiere aumentar alguna fase porque las piezas necesitan un tratamiento de limpieza más a fondo o para que el acabado de las piezas sea mejor, se puede introducir el decapado, quedándose el proceso con las fases 0-1-2-3-4-7-8-9-10, o se puede introducir la fase de acondicionamiento de las piezas el proceso te quedaría con las fases 0-1-2-5-6-7-8-9-10.

En el diseño de la línea de pavonado, que en este proyecto se va a definir, el proceso de pavonado va a constar de las fases 0-1-2-5-6-7-8-9-11.

1.1.2. ESTUDIO DE LA TÉCNICA

En la actualidad existen muchas empresas del sector de la metalurgia que se dedican a los diferentes tratamientos superficiales de las piezas metálicas como pueden ser el galvanizado, el cromado, etcétera o al pavonado como en

nuestro caso. Aunque no existe ninguna máquina de pavonado patentada, todas las empresas que se dedican a provocar este tratamiento disponen de una máquina automatizada o manual.

El pavonado tradicionalmente se ha hecho manualmente, es decir, un operario es el encargado de estar pendiente del tiempo de ciclo que las piezas están sumergidas en los tanques, también se encarga de mover, cargar y descargar las piezas de las cestas y, sobre todo, es el encargado de que este tratamiento salga correctamente. En la actualidad, aunque se sigue usando este método, ha perdido utilidad, ya que requiere de un coste de personal más elevado que el automático, el cual aunque tiene de primeras una inversión elevada en la máquina, se amortiza en un breve periodo de tiempo. Además con la inversión en maquinaria te aseguras que el proceso tenga una calidad óptima. Un ejemplo de línea de pavonado manual en la cual el operario tiene que estar al cargo de todo sería la siguiente de la empresa “Blackfast” (11) (Leicester, Reino Unido):



Figura 05. Blackfast (línea de pavonado media).

<https://blackfast.com/product/nickel-free-50-litre-tanks-chemicals-to-fill-frame-and-baskets-dewatering-oil-833/>

Una empresa líder a nivel mundial en el proceso de pavonado como es “Birchwood Technologies” (12) (Minnesota, EE.UU.), cuenta que tras introducir en su planta una máquina automatizada que pavona las piezas, han reducido el tiempo del proceso de pavonado de 5 días a pavonar piezas en el mismo día, provocando la entrega de los productos a los clientes en un tiempo récord y con la calidad requerida. También han reducido el coste de las piezas acabadas, de 20 centavos a 5 por producto y no han tenido la necesidad de incorporar mano de obra a la empresa debido a que la máquina está totalmente automatizada. Por estas razones, como la mejora de sus procesos y la entrega de sus productos a tiempo “Birchwood Technologies” se ha

convertido en un proveedor mundial de tratamientos de acabado de productos que sirven para las industrias más avanzadas y exigentes.



Figura 06. Sistema de óxido negro "CNC Tru Temp".

https://www.birchwoodtechnologies.com/blackening_time_reduced_using_automated_tru_temp_system/



Figura 07. Sistema de óxido negro "CNC Tru Temp".

https://www.birchwoodtechnologies.com/blackening_time_reduced_using_automated_tru_temp_system/

El equipo que utiliza "Birchwood Technologies" es uno de los primeros sistemas automatizados de acabado que mejoran las necesidades internas del proceso de acabado de óxido negro, evitando los peligros asociados al trabajo manual de los operarios, aumentando su seguridad, así como el factor contaminante que se daba en el proceso manual y tradicional del pavonado en caliente.

Esta línea automatizada de pavonado fue creada por la colaboración con el fabricante “Tru Temp” y el constructor de automatización “Unifab Corporation”. La máquina “TruTemp CNC” está compuesta por un polipasto programable con un tiempo de ciclo de 28 minutos desde el inicio hasta el final del pavonado. Esta línea está diseñada para trabajar con grandes volúmenes de piezas a recubrir, teniendo para ello ocho tanques de polipropileno blanco de dimensiones 610 x 1.016 x 710 milímetros y un total de diez estaciones, siendo las dos estaciones sobrantes destinadas, una para cargar las piezas al principio de la línea y la otra para descargarlas, situada en el extremo contrario de la línea. El equipo incluye soportes debajo del borde superior de cada tanque para manejar el peso adicional de la barra de vuelo cuando el polipasto deja caer una carga de piezas. Las monturas fijas centran automáticamente y con precisión las cargas de piezas dentro de cada estación. El polipasto y la estructura de acero tienen una capacidad de 227 kg.



Figura 08. Sistema de óxido negro “CNC Tru Temp”.
<http://www.compengr.com/black.html>



Figura 09. Sistema de óxido negro “CNC Tru Temp”.
<http://www.compengr.com/black.html>



Figura 10. Sistema de óxido negro “CNC Tru Temp”.
https://www.birchwoodtechnologies.com/blackening_time_reduced_using_automated_tru_temp_system/

El sistema funciona mediante el control digital PLC de Allen Bradley con una palanca de respaldo manual. El controlador del polipasto tiene un panel de control separado que utiliza un programador de pantalla táctil. El sistema está alimentado por un motor/freno de una sola velocidad de CA con una correa de nylon. Los tanques de proceso están preinstalados con tuberías de agua de 12,7 milímetros y controles de válvula de bola.



Figura 11. Sistema de óxido negro “CNC Tru Temp”.

https://www.birchwoodtechnologies.com/blackening_time_reduced_using_automated_tru_temp_system/

Otra industria como es “Ampere Metal Finishing” (13) (Mississauga, Ontario, Canada) tiene otra línea de pavonado que se asemeja a la anterior, pero que se diferencia en que las cubas son de dimensiones mayores con lo que para el mismo tiempo tecnológico que en “Birchwood Technologies” el colectivo de la actividad va a ser mayor, abaratando los costes y brindando tiempos de entrega rápidos y con acabados de calidad.



Figura 12. Sistema de óxido negro.

<https://www.amperemetal.com/facility.html>



Figura 13. Sistema de óxido negro.

<https://www.amperemetal.com/facility.html>

En la empresa “Galvabau” (14) (Müliweg, Suiza) disponen de una línea de pavonado muy moderna y automatizada de 32 x 3,1 x 4,5 metros, con un tiempo de ciclo de 27 minutos con las siguientes características:

- 30 posiciones de procesamiento, incluidas 6 posiciones de almacenamiento, con unas dimensiones de las cubas de 750 x 1.300 x 970 mm.
- Un polipasto con bandeja de goteo y sistema de escape.
- Protección contra colisiones con barra de seguridad.
- Estación de carga / descarga mecánica ajustable para barriles especiales.
- Posicionamiento del polipasto en la dirección de desplazamiento por láser.
- Secador de un barril con sistema deshumidificador.
- Convertidor de frecuencia para variabilidad, velocidad de elevación y frenado.
- 4 barras de vuelo especiales de barril
- Barril de velocidad de rotación libremente seleccionable en la secadora
- Procesamiento de posiciones con coberturas automatizadas.
- Enjuague a presión enjuague con tapas.
- Tanque de ennegrecimiento fabricado en acero.
- Bandeja de goteo multiparte con control de fugas.

Entre las propiedades del sistema de control están:

- Basado en PLC de Allen Bradley.
- Sistema de control completamente automático (64bit).
- Sistema de control de emergencia en caso de fallo del PLC.
- El polipasto puede ser controlado por un control remoto durante la operación automática sin perder la programación real.
- Secuencias de inmersión libremente programables.
- Información en pantalla para producción y operación de planta.
- La base de datos, los gráficos SPC, los registros de producción y los registros de errores se pueden imprimir, almacenar en un disco o transferir a la red.
- Soporte vía modem.
- Registro de mercancías mediante lector de código de barras.



Figura 14. Galvabau (línea automática muy completa de pavonado).
<https://www.galvabau.swiss/en/portfolio/special-barrel-blackening-line/>



Figura 15. Galvabau (línea automática muy completa de pavonado).
<https://www.galvabau.swiss/en/portfolio/special-barrel-blackening-line/>



Figura 16. Galvabau (línea automática muy completa de pavonado).
<https://www.galvabau.swiss/en/portfolio/special-barrel-blackening-line/>



Figura 17. Galvabau (línea automática muy completa de pavonado).
<https://www.galvabau.swiss/en/portfolio/special-barrel-blackening-line/>

1.1.3. SOLUCIÓN ADOPTADA

1.1.3.1. VENTAJAS DE POSEER UNA LÍNEA DE PAVONADO EN FRÍO

Las ventajas que tiene poseer una línea de pavonado en tu propia empresa y por las cuales se ha iniciado este proyecto son:

- El acabado superficial de pavonado está ganando popularidad, ya que tiene doble funcionalidad, por un lado dota a la pieza de una decoración y por otro estos recubrimientos son muy duraderos en el tiempo, dotando a las piezas de resistencia a la corrosión tanto en servicio como si estuviesen almacenadas. Además este proceso no modifica ni las dimensiones ni las propiedades del acero, como puede ser la dureza, pues la capa de magnetita negra es muy fina y tiene un espesor constante, rondando los 0,5 micrómetros (μm).
- Los equipos de pavonado en frío se suministran como sistemas pre-diseñados, siendo fáciles de instalar y operar. Las líneas se pueden rediseñar dependiendo de la demanda de piezas a pavonar de cada empresa.
- Las líneas de pavonado, manuales o automatizadas, son menos costosas económicamente y más fáciles de instalar en comparación a los equipos de pintura, galvanizado o anodizado, o incluso que un centro de mecanizado pequeño.
- Las líneas de pavonado manuales requieren de un operario que sepa manejar el equipo y tenga conocimientos sobre el proceso de pavonar, mientras que los sistemas automatizados introduciendo el programa el

equipo funciona solo, por lo que los costes por mano de obra directa son bajos.

- Los equipos automatizados de pavonado en frío evitan los peligros asociados al trabajo manual de los operarios, aumentando su seguridad, así como el factor contaminante que se daba en el proceso manual y tradicional del pavonado en caliente.
- Tener una línea de pavonado en tu empresa, ya sea manual o un sistema de CNC, evita tener que enviar las piezas mecanizadas fuera de tu planta, lo que puede ser un cuello de botella de producción costoso y evitable, ya que no controlas los tiempos. Además el acabado de las piezas contribuye sólo a una pequeña parte del valor añadido de las piezas metálicas, siendo el coste a pagar por enviar las piezas al exterior excesivamente alto al considerar todos los pagos ocultos.
- Tener una línea de pavonado en tu empresa, ya sea manual o un sistema de CNC, también evita el envío de piezas en contenedores estandarizados al exterior para pavonarlas, lo cual requiere la clasificación y el empaque de las piezas, los costos de transporte, el tiempo de entrega que ponga el productor (pudiendo ser de días) y, además, pagar al subcontratista una ganancia por hacer dicho trabajo. Esta práctica requiere niveles de inventario más altos, complica los controles de calidad ISO y hace que sea más difícil ofrecer a los clientes una respuesta rápida.
- Con un proceso interno de pavonado, ya sea manual o con un sistema automatizado, los tiempos de respuesta son de horas. Esto reduce los costos y los inventarios antes mencionados, optimiza los patrones de flujo de trabajo y mejora la práctica de las normas ISO, proporcionando un mejor control sobre la calidad de la pieza terminada.
- Disponer de una línea de pavonado interna en tu planta de trabajo, ayuda a enviar los productos acabados en un tiempo de ciclo mínimo y con una calidad de recubrimiento óptima en base a las especificaciones puestas por el cliente. El procedimiento del acabado de óxido negro en planta produce la reducción de costes y de inventario, a la vez que mantienes al cliente satisfecho, ganando de esta manera nuevos pedidos.
- En conclusión, disponer de una línea de pavonado, manual o automatizada, en tu planta de trabajo va a ayudar a desarrollar el “Lean Manufacturing” de dicha empresa, ya que es una metodología o modelo de gestión de la producción que intenta minimizar las pérdidas de los sistemas de fabricación mientras se maximiza la calidad de los productos y se reducen los tiempos de ciclo y los costes.

El sistema de pavonado en frío en tu propia planta reduce los siete desperdicios del “Lean Manufacturing” (15) (sobreproducción, defectos, espera, exceso de procedimientos, inventario, movimiento y transporte), ya que al no enviar las piezas fuera de tu planta evitas los movimientos de piezas, tiempos de espera y el transporte; también con una línea de pavonado propia racionalizas el movimiento de las piezas a lo largo de la línea controlando los tiempos de cada fase del proceso y adecuas la producción de acabado de óxido negro a la demanda del cliente de piezas, teniendo controlado de esta manera la producción y el inventario. Con todo ello se intenta buscar la satisfacción del cliente al cumplir con sus especificaciones, al menor coste posible.

1.1.3.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA LÍNEA DE PAVONADO EN FRÍO

En este proyecto se van a definir dos líneas de pavonado en frío, ya que depende de la empresa o cliente que quiera comprar, puede que necesiten una línea de pavonado más manual o una línea automatizada.

El diseño de la primera línea de pavonado, llamada a lo largo del proyecto “línea de pavonado 1”, es un sistema mecánico ya que el operario aporta una cantidad limitada de energía al cargar y descargar las piezas de las cestas y luego mediante un mando con controles regula el funcionamiento del equipo, siendo la propia máquina la que realiza este procedimiento.

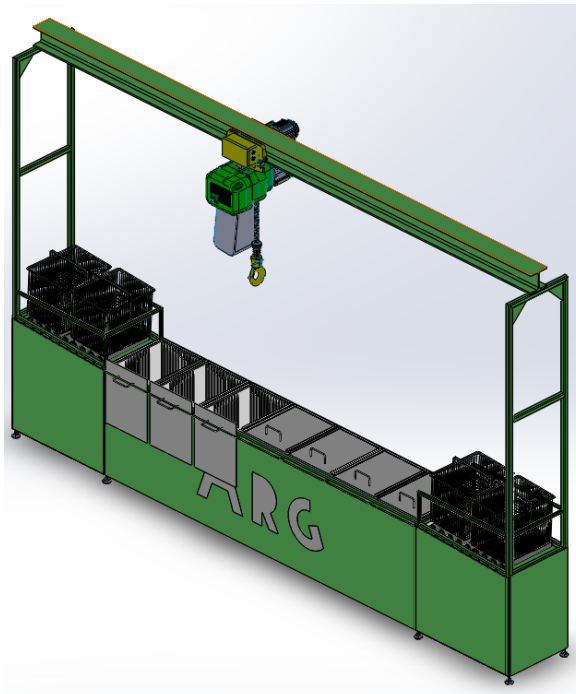


Figura 18. Línea de pavonado 1 con revestimiento. Elaboración propia “SolidWorks”.

El diseño de la segunda línea de pavonado, denominada a lo largo del proyecto “línea de pavonado 2”, es un sistema automático o de autocontrol, pues como en el caso de la “línea de pavonado 1”, el operario tendrá que cargar y descargar las piezas manualmente, pero posteriormente introducirá un programa específico en la pantalla táctil del cuadro de mando para que el equipo lo interprete y actúe en consecuencia por él mismo hasta acabar el proceso de recubrimiento.

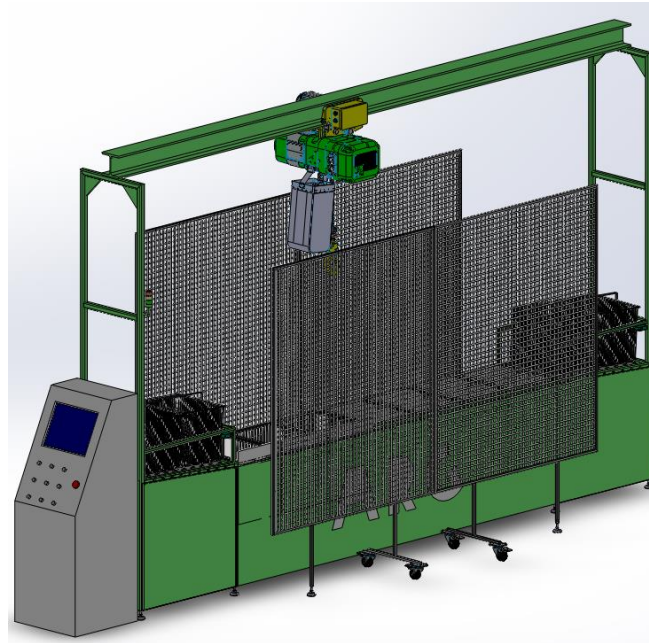


Figura 19. Línea de pavonado 2. Elaboración propia “SolidWorks”.

Ambas líneas parten de un mismo diseño, en el cual hay un bastidor con una estructura de vigas con perfiles cuadrados huecos en el que se pueden apreciar nueve estaciones (siendo las fases números 0-1-2-5-6-7-8-9-11 del apartado 1.1.1. en el que se explica el proceso completo de pavonado):

1. Las piezas metálicas a tratar se preparan en cestas. En esta fase, la cual se llamará “estación 0”, de lo que se trata es de introducir las piezas a pavonar en cestas, las cuales se van a sumergir en las cubas llenas del líquido correspondiente de las fases siguientes.
2. Desengrasado alcalino fuerte de las piezas metálicas. Es la fase en la cual se va a preparar, limpiar y desengrasar de la suciedad o taladrina las piezas metálicas mecanizadas previamente. Se denominará “cuba 1”.
3. Introducción de las piezas en agua (la cual puede ser destilada) para su aclarado. La aplicación de agua en esta fase sirve para limpiar las piezas de los posibles restos que pueden quedar en ellas de la fase previa. Esta estación se llamará “cuba 2” para el resto del proyecto.

4. Acondicionado. En esta fase lo que se trata es de asegurarse de que con un acondicionador la superficie de las piezas queden lo más homogéneas posibles y listas, prácticamente, para pavonar. Se denominara con el término “cuba 3”.
5. Introducción de las piezas en agua (la cual puede ser destilada) para un segundo aclarado para que las piezas vayan lo más limpias posibles a la fase principal del proceso de pavonado. Recibirá el nombre de “cuba 4”.
6. Pavonado. Es la fase principal del proceso donde se crea el recubrimiento de la fina película negra de óxido ferroso-diférrico (Fe_3O_4). Esta estación se conocerá como “cuba 5”.
7. Tercer aclarado en agua. Se denominara a lo largo del proyecto como “cuba 6”.
8. Aceite hidrófugo para quitar el agua. Fase en la que se baña las piezas en aceite hidrófugo para eliminar todo el agua que pueda quedar en la superficie de las piezas, a parte proporciona una capa protectora de la corrosión sobre la capa ya pavonada. El agua al tener mayor densidad que el aceite provoca que se vaya al fondo de la cuba, por lo que esta agua habrá que retirarlo periódicamente del fondo. Este aceite es el encargado de formar la barrera protectora e incrementar el poder antioxidante, el tono y el brillo del acabado. Sin este tratamiento el poder de protección anticorrosivo se reduce al mínimo. Esta última cuba en el proceso de pavonado se llamara “cuba 7”.
9. Control de calidad. Fase final en la que se comprueba visualmente el acabado del recubrimiento, fijándonos en si este es homogéneo o si por el contrario tiene poros, resquicios o alguna mota de suciedad. Este proceso se realiza una vez el operario está sacando las piezas ya pavonadas del interior de las cestas. Esta estación recibe el nombre de “estación 8” para el transcurso del proyecto.

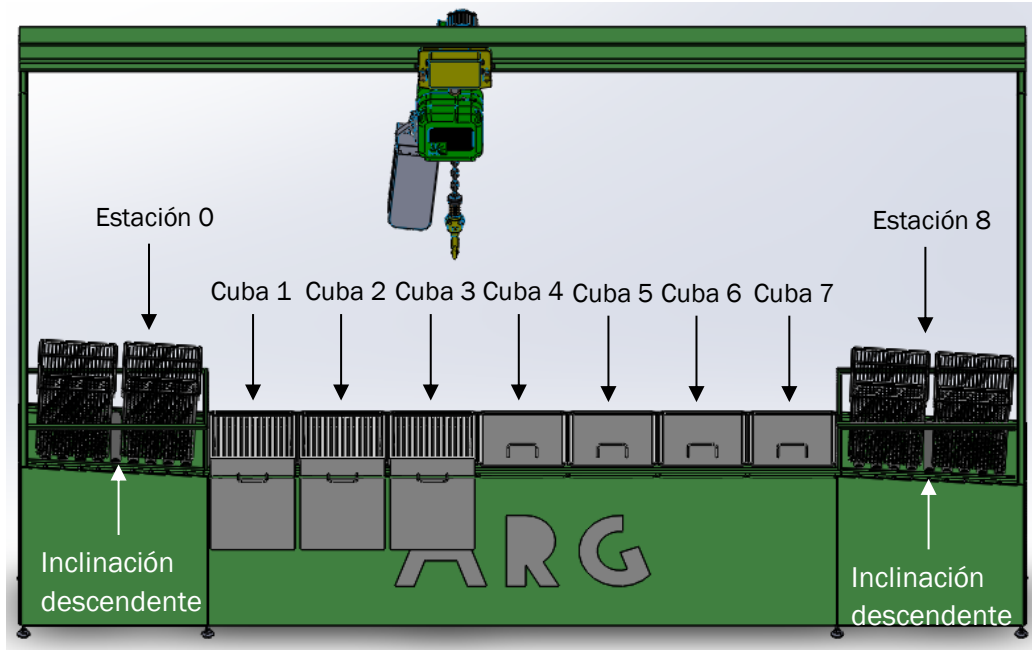


Figura 20. Fases de la línea de pavonado. Elaboración propia "SolidWorks".

El bastidor de vigas de acero, tanto de la línea de pavonado 1 como la 2, cumple con la norma NBE EA-95, dotando de seguridad a las estructuras de acero, tiene una forma tal que dispone de las estaciones antes mencionadas, dando lugar a huecos para introducir dichas cubas.

En ambas líneas de pavonado, tanto la 1 como la 2, en la "estación 0", se inicia el ciclo de pavonado y en la cual, el operario tiene que cargar las piezas, que vendrán en un carro estandarizado, en la cesta. Esta "estación 0" está dotada de cierta inclinación, de tal forma que cuando se dejen las cestas vacías en esta zona, automáticamente, por acción de unos rodillos, las cestas caerán hasta el lugar más cercano a las estaciones siguientes debido a unas guías metálicas.

Aunque ambas líneas hacen el mismo ciclo, como se ha explicado antes, la forma en la que actúa el sistema entre la "estación 0" y la "estación 8" es lo que va a variar de la "línea de pavonado 1" a la "línea de pavonado 2", lo cual se va a explicar más adelante.

Tras producirse el ciclo completo de pasar las piezas por todas las fases, las cestas llegarán a la "estación 8", en la cual ocurre lo mismo que en la "estación 0", las cestas se dejan en una serie de rodillos que debido a que el plano que los contiene, tiene cierta inclinación, por gravedad las cestas se van a depositar a la zona más baja desde la que el operario puede retirar las piezas ya pavonadas al contenedor estandarizado.

Las cestas, que son iguales para las dos tipos de líneas, están diseñadas para no entorpecer el proceso de pavonado de las piezas metálicas que van en su interior, para lo cual sus paredes son rejillas creadas por el cruzamiento de alambres. A parte, disponen de un soporte interior en la mitad de la cesta, para apoyar en ella una estructura metálica, también con alambres longitudinales, de la cual se podrán colgar piezas que tenga un agujero pasante o algún tipo de resquicio. Esto provoca que, dependiendo de la geometría de las piezas a pavonar, se puedan colocar de una determinada forma en las cestas, es decir, o colocadas en la rejilla de la base de la cesta o colgadas de la estructura transversal. El asa de la cesta también está creado para entorpecer lo menos posible en este proceso, siendo un asa retráctil, es decir, el asa tiene un mecanismo con un solo grado de libertad, que a la hora de coger la cesta con el gancho del polipasto, esta se estira, mientras que si por el contrario la cesta está sumergida en una cuba o está en las estaciones de carga y descarga, el asa permanecerá retraído hacia la cesta.

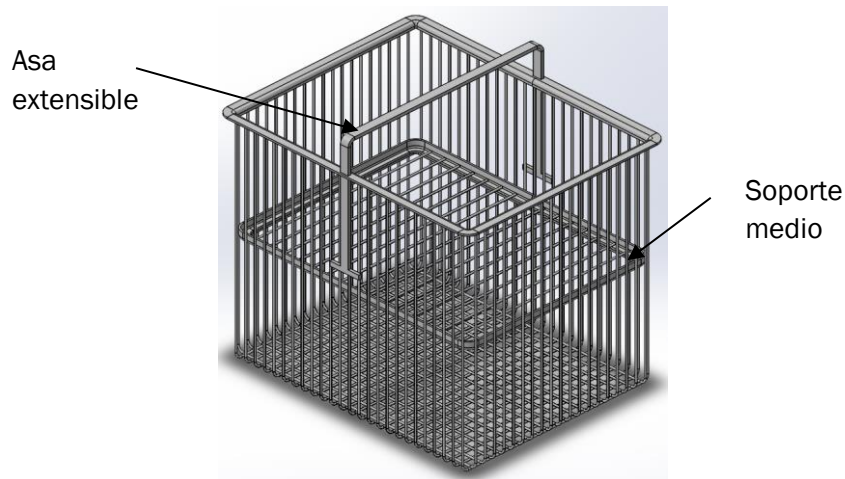


Figura 21. Cesta. Elaboración propia "SolidWorks".

Las cubas, diseñadas con la misma estructura para ambas líneas, tienen un agujero en la base inferior para insertar por él un grifo, de forma que la evacuación de los líquidos se haga de forma fácil. Además tienen un diseño tal, que permite cerrar las cubas con una tapa, pensado para que a la hora de no usar la línea de pavonado, las cubas se puedan tapar y así, los líquidos que contienen no se llenen de suciedad y partículas extrañas que afecten a la hora del pavonado de las piezas. En el diseño de las cubas se puede observar que todas tienen una serie de nervios en el interior, los cuales dotan de rigidez a la estructura para que aguante los esfuerzos a los que está sometida. Además, estos nervios sirven como centradores, cuando el polipasto está introduciendo las cestas en las cubas.

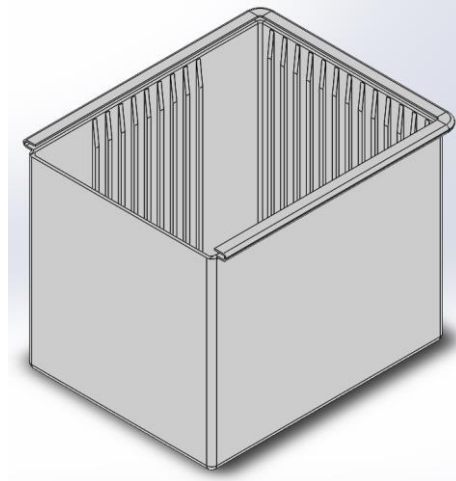


Figura 22. Cesta. Elaboración propia “SolidWorks”.

En la “línea de pavonado 1” las cestas van a ser movidas por un polipasto eléctrico monocarril de cadena de dos grados de libertad, es decir, sólo se va a poder mover en dos direcciones, una es a lo largo de la viga HEB y la otra en la vertical. El polipasto es movido, por los operarios, mediante un mando que permite mover el sistema simultáneamente en las dos direcciones antes mencionadas, pudiendo tener una velocidad corta y otra larga. El polipasto de referencia LX011A-M50500-007-1 tiene una capacidad de levantar 500 kg, puede moverse a una velocidad de 0,14 m/s y peso 74,39 kg.

Una vez que tienen que trasladar una cesta de una fase a otra, el operario tendrá que colocar el asa de la cesta en el gancho del polipasto manualmente para poder moverlas. El operario es quien tiene que mover las cestas pasando por todas las fases en el orden establecido, por lo que con este tipo de línea manual de pavonado, él es el encargado de los tiempos preestablecidos en los que las cestas están sumergidas en las diferentes cubas, así que para facilitar su trabajo, se pondrá en una hoja pegada a la tapa de la cuba con la información de los tiempos al igual que los compuestos que contiene cada cuba.

En la “línea de pavonado 2” al ser automática actúa totalmente diferente a la 1. Este equipo dispone de un cuadro de control desde donde el operario maneja el sistema, introduciendo datos e información por la pantalla táctil al autómatas para que este haga todo el trabajo de forma secuencial y repetitiva, debido a que ha sido programado para ello. Además, en esta línea se han añadido sensores para hacer que el equipo actúe respecto a unas señales.

Para empezar el ciclo de pavonado en la “línea 2” el operario tiene que haber introducido las piezas en la cesta y, a continuación, insertar en el cuadro de la máquina, que el sistema puede empezar el ciclo. Para ello habrá un sensor óptico de barrera en las guías metálicas en la parte más cercana a las cubas,

el cual comunicará al sistema si detecta que las cestas están con piezas o no, de tal manera que si no detecta piezas el sistema no empezará el ciclo aunque el operario lo haya indicado. Este sensor óptico de barrera funciona de forma, que el aparato emisor emite un led infrarrojo y el receptor, que está en la misma línea, lo recibe, de modo que si el receptor no recibe la señal lumínica, quiere decir que hay un objeto interpuesto entre ambos aparatos.

Una vez el autómatas sepa que hay piezas en la cesta, moverá automáticamente el polipasto para cogerla, para ello el gancho que había en la “línea de pavonado 1” se ha sustituido por unas pinzas que al detectar el asa, se abren y lo cogen. Tras este primer paso el polipasto monocarril va a actuar automáticamente con el ciclo que el operario haya metido en el cuadro de mando, donde ha especificado los tiempos que las cestas estarán en cada cuba, hasta que la cesta llegue a la última estación o estación 8.

Este sistema automático tiene la posibilidad de hacer varios ciclos a la vez, es decir, pavonar más de una cesta a la vez sin que haya colisión de unas cestas con otras en la misma estación, para lo cual en esta línea se han introducido un sensor de presión en cada cuba. Estos sensores lo que hacen es detectar si la presión ha aumentado con respecto a las cubas con sus disoluciones iniciales, de tal forma que si saben que la presión ha aumentado, es que hay una cesta con piezas, con lo que esta cuba está inhabilitada para introducir otra cesta.

Este sistema también está programado para que si el operario indicase la instrucción en el cuadro de la máquina, el polipasto automáticamente mueva las cestas vacías de la estación final de la línea hasta la “estación 0”. Además del cuadro de la máquina, en esta línea automática se ha incorporado una verja de protección que a menos que esté cerrada, la máquina no va a mover el polipasto debido al peligro que esto supone.

Para que el operario sepa visualmente el estado de la línea de pavonado 2, el equipo está provisto de un candor, es decir, una serie de luces de diferentes colores indica la fase en la que se encuentra la máquina. Si el candor está de color verde es que la máquina se encuentra en funcionamiento, si el color es blanco indica que está parada a espera de órdenes para interactuar y si está en rojo es que tiene algún fallo y necesita de revisión o reparación.

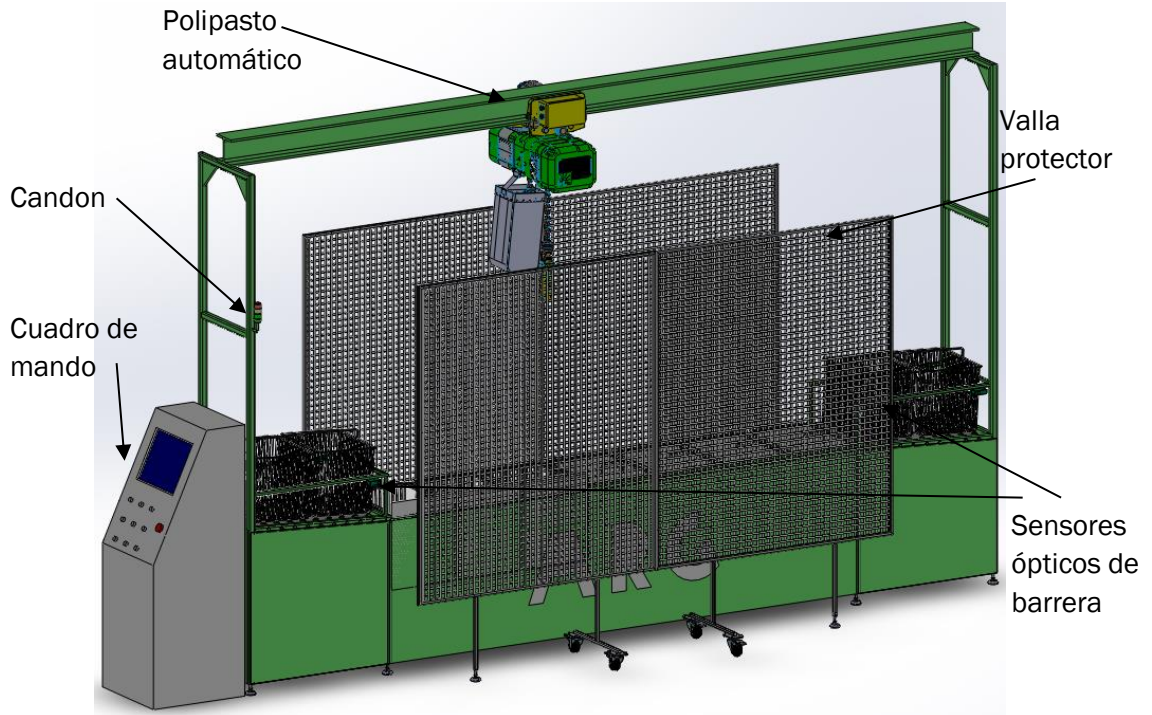


Figura 23. Elementos de la línea de pavonado 2. Elaboración propia “SolidWorks”.

1.1.3.3. DIMENSIONES DE LA LÍNEA DE PAVONADO

	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Capacidad (L=dm ³)
Dimensiones de las cestas	480	380	385	56,21
Dimensiones de las cubas	505	400	400	75,37
Dimensiones de la línea de pavonado	4920	585	3160	-

Tabla 01. Dimensiones de algunos componentes de la línea de pavonado.

Las dimensiones de las cubas y del bastidor de la línea de pavonado vienen en función de las dimensiones de la cesta, las cuales se pusieron así debido a que se ha observado que, lo más usual es que se pavonen piezas de dimensiones pequeñas (aproximadamente 185 x 100 x 63 mm o incluso más pequeñas). Como las piezas van a ir puestas en el plano bajo de la cesta o, en su caso, colgadas con alambres de una base metálica que se apoya en el soporte central de la cesta, se estima que hay una superficie de 15,27 decímetros cuadrados (dm²) con lo que podrían entrar en cada cesta unas 8

piezas de las dimensiones especificadas antes, tanto apoyadas como colgadas. Si las dimensiones fuesen menores a esas, el colectivo de piezas de la actividad aumentaría. Aunque el colectivo de piezas que se pueda pavonar en cada cesta va a depender de la geometría de estas, pudiendo variar mucho el número de productos a pavonar.

Todas las cubas estarán llenas $3/5$ de la capacidad total, es decir, se llenarán con 45 litros de la disolución que corresponda en cada cuba. Esto es debido a que al introducir la cesta llena de piezas, el volumen de los líquidos de las cubas aumentara de nivel, por lo que los operarios deberán introducir un total de piezas que no superen entre todas, un volumen mayor a 30 L.

Las dos líneas de pavonado que en este proyecto se definen tienen unas dimensiones, en las cuales sólo se pueden mover cuatro cestas, siendo almacenadas cuando la línea este parada, dos en la “estación 0” y otras dos en la “estación 8”.

1.2. MEMORIA CONSTRUCTIVA

1.2.1. MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN

1.2.1.1. ESTRUCTURA DEL BASTIDOR

El bastidor, que es la estructura principal y que sustenta los demás componentes de la línea de pavonado, se compone de vigas de perfil cuadrado huecos, de secciones 40 x 40 mm y 8 mm de espesor y de 20 x 20 mm y de 2 mm de espesor (estas últimas tienen estas medidas ya que actúan como guías para las cestas en las estaciones 0 y 8, por lo que no tienen ninguna función estructural), y una viga HEB160 que es la que sustenta el polipasto. Todas las vigas son de acero S275JR, que es el acero más ampliamente usado en las estructuras para construcción ya que sus capacidades son muy buenas.

Designación		Límite elástico mínimo ReH ^a										Resistencia a la tracción R _m ^a				
		MPa ^b										MPa ^b				
		Espesor nominal										Espesor nominal				
Según las Normas EN 10027-1 y CR 10260	Según la Norma EN 10027-2	mm										mm				
		≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 200	> 200 ≤ 250	> 250 ≤ 400 ^c	< 3	≥ 3 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ≤ 400 ^c	
S235JR	1.0038	235	225	215	215	215	195	185	175	–	360 a 510	360 a 510	350 a 500	340 a 490	–	
S235J0	1.0114	235	225	215	215	215	195	185	175	–	360 a 510	360 a 510	350 a 500	340 a 490	–	
S235J2	1.0117	235	225	215	215	215	195	185	175	165	360 a 510	360 a 510	350 a 500	340 a 490	330 a 480	
S275JR	1.0044	275	265	255	245	235	225	215	205	–	430 a 580	410 a 560	400 a 540	380 a 540	–	
S275J0	1.0143	275	265	255	245	235	225	215	205	–	430 a 580	410 a 560	400 a 540	380 a 540	–	
S275J2	1.0145	275	265	255	245	235	225	215	205	195	430 a 580	410 a 560	400 a 540	380 a 540	380 a 540	
S355JR	1.0045	355	345	335	325	315	295	285	275	–	510 a 680	470 a 630	450 a 600	450 a 600	–	
S355J0	1.0553	355	345	335	325	315	295	285	275	–	510 a 680	470 a 630	450 a 600	450 a 600	–	
S355J2	1.0577	355	345	335	325	315	295	285	275	265	510 a 680	470 a 630	450 a 600	450 a 600	450 a 600	
S355K2	1.0596	355	345	335	325	315	295	285	275	265	510 a 680	470 a 630	450 a 600	450 a 600	450 a 600	
S450J0 ^d	1.0590	450	430	410	390	380	380	–	–	–	–	550 a 720	530 a 700	–	–	

^a Para chapas, bandas y planos anchos con anchura ≥ 600 mm, los valores se aplican a la dirección transversal (t) a la de laminación. Para los demás productos, los valores se aplican a la dirección paralela (l) a la de laminación.
^b 1 MPa = 1 N/mm².
^c Los valores aplican para los productos planos.
^d Aplicable sólo a los productos largos.

Tabla 02. Propiedades mecánicas a temperatura ambiente para productos planos y largos en tipos y grados de acero con valores de flexión por choque (Continúa). UNE-EN 10025-2 (16)

Designación		Posición de las piezas de ensayo ^a	Porcentaje mínimo de alargamiento tras la fractura ^a										
			%										
			L ₀ = 80 mm Espesor nominal mm					L ₀ = 5,65 √S ₀ Espesor nominal mm					
Según las Normas EN 10027-1 y CR 10260	Según la Norma EN 10027-2		≤ 1	> 1 ≤ 1,5	> 1,5 ≤ 2	> 2 ≤ 2,5	> 2,5 < 3	≥ 3 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ^c ≤ 400 solamente para J2 y K2
S235JR	1.0038	l	17	18	19	20	21	26	25	24	22	21	–
S235J0	1.0114												–
S235J2	1.0117	t	15	16	17	18	19	24	23	22	22	21	21 (l y t)
S275JR	1.0044	l	15	16	17	18	19	23	22	21	19	18	–
S275J0	1.0143												–
S275J2	1.0145	t	13	14	15	16	17	21	20	19	19	18	18 (l y t)
S355JR	1.0045	l	14	15	16	17	18	22	21	20	18	17	–
S355J0	1.0553												–
S355J2	1.0577												17 (l y t)
S355K2	1.0596	t	12	13	14	15	16	20	19	18	18	17	17 (l y t)
S450J0 ^d	1.0590	l	–	–	–	–	–	17	17	17	17	–	–

^a Para chapas, bandas y planos anchos con anchura ≥ 600 mm, los valores se aplican a la dirección transversal (t) a la de laminación. Para los demás productos los valores aplican a la dirección paralela (l) a la de laminación.
^c Los valores aplican para los productos planos.
^d Aplicable sólo a los productos largos.

Tabla 02. Propiedades mecánicas a temperatura ambiente para productos planos y largos en tipos y grados de acero con valores de flexión por choque. UNE-EN 10025-2 (16)

El proceso de ensamblado de la estructura del bastidor de la línea de pavonado debe hacerse siguiendo una serie de pasos como se indica en el diagrama sinóptico del proceso de fabricación y montaje de la estructura. Primero se deben cortar todas las vigas a las dimensiones que se especifican, para posteriormente soldar unas vigas a otras según se indica en los planos. Todas las vigas antes de ser soldadas necesitan de un decapado o de una limpieza exhaustiva de las zonas que van a ser soldadas, ya que cualquier

mínima suciedad que pueda haber en el soldado repercutirá en que se creen grietas o tensiones en estos puntos, derivando en que las propiedades de la estructura empeorarán y podrá tener consecuencias fatales cuando cumpla con sus funciones.

Las vigas de sección cuadrada hueca estarán unidas mediante un solo cordón de 5 mm, el cual va a ser de mejor calidad que el acero S275JR usado en las vigas, creado por soldadura MIG, usada debido a su alta productividad y facilidad de automatización. Los alambres usados para hacer estos cordones son alambres para soldar acero de tipo macizo, denominado ER70-7 bajo la designación de la “American Welding Society (AWS)”. Este tipo de alambres tienen el mejor rendimiento para soldar acero y contienen los mayores niveles de silicio y manganeso, usados como desoxidantes. Las cartelas y los tubos que sujetan las tapas de las cubas estarán unidas de la misma forma a las vigas de sección cuadrada hueca.

Para las uniones de la viga HEB160 con la estructura de las vigas de perfil cuadrado hueco, al ser las uniones que más van a sufrir y donde se concentran las mayores tensiones, como se puede ver en el apartado de los anejos de comprobaciones mecánicas y estudio de fuerzas, se harán 4 cordones con soldadura MIG, dispuestos como se observa en la siguiente figura, y con el mismo material de aportación que en las otras uniones.

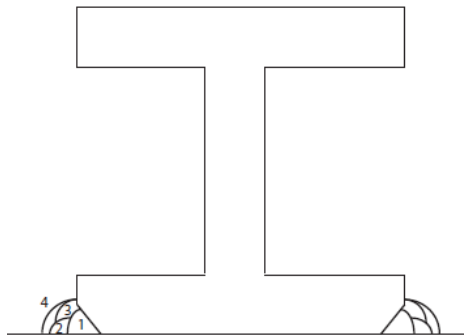


Figura 24. Soldadura entre la viga HEB160 y la estructura de la línea de pavonado. Elaboración propia.

Lo primero que se deberá hacer es repasar el canto de la esquina de la viga con una radial, como se puede observar en la imagen, para hacer una especie de cuña y soldar en este espacio, ya que aquí, la soldadura tendrá más contacto con los materiales a fijar y, de esta forma, será más resistente. El primer cordón que se da es el cordón raíz y es el que mayor fuerza va a

ejercer entre ambas vigas a unir, luego se van a dar otros dos cordones que van a hacer la función de aliviar esas tensiones creadas en el cordón raíz, y por último se dará un cordón que recubra los anteriores para dar un acabado bueno a la soldadura.

El armazón de la estructura irá recubierto en su zona baja por unas chapas de aluminio de 3 mm de espesor para embellecer la estética de la máquina. Todas las chapas irán soldadas a la estructura menos una que irá atornillada debido a que esta chapa tendrá la función de ser desmontable para cuando hiciese falta cambiar los líquidos de las disoluciones de las cubas.

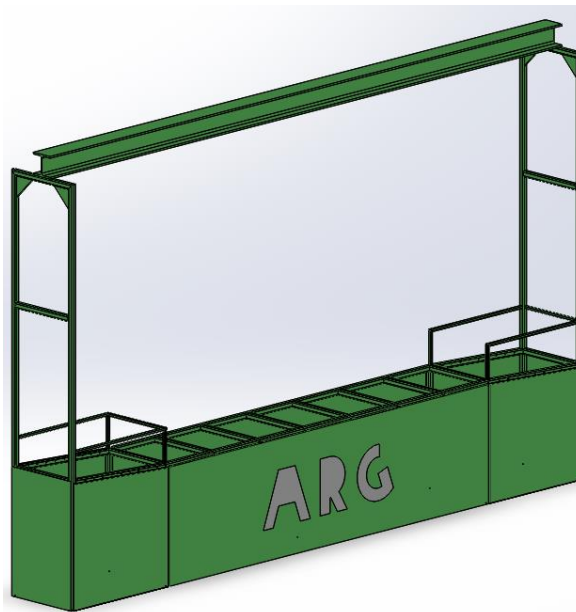


Figura 25. Estructura del armazón de la línea de pavonado. Elaboración propia "SolidWorks".

En las todas las patas del armazón se encuentra soldado una pieza que sirve para poder roscar las patas regulables a la estructura. Esta soldadura se hace mediante un cordón de la misma forma que se ha explicado que se unen las vigas de perfil cuadrado hueco.

1.2.1.2. CUBAS

Para la fabricación de las cubas se ha utilizado el polipropileno (PP) sobre todo por su gran resistencia contra los disolventes químicos, así como los ácidos (producto que usamos en el proceso de pavonado).

El polipropileno es un termoplástico con la estructura del polietileno, añadiéndole un grupo metilo, CH_3 , donde en nuestro caso usamos el isotáctico, el cual tiene todos los grupos metilos al mismo lado de la cadena. Este tipo de plástico tiene buenas propiedades mecánicas, gran resistencia a la flexión, gran resistencia al impacto, es difícil que sea pintado o impreso, su

densidad es la más baja de todos los plásticos, con un precio bajo y facilidad de admitir cargas. Es opaco y con gran resistencia al calor, funde a 160°C.

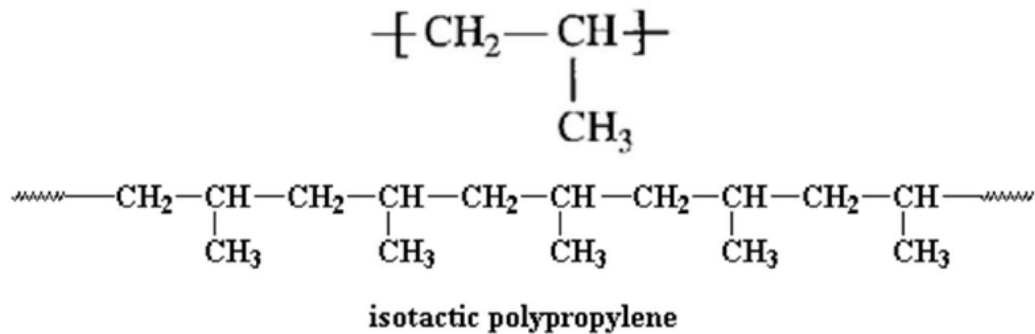


Figura 26. Estructura interna del polipropileno isotáctico.

<https://pslc.ws/spanish/pp.htm>

El proceso de fabricación de las cubas se va a hacer mediante inyección, ya que la cuba tiene una geometría óptima para este proceso, aparte de que el polipropileno es un termoplástico que tiene buena maquinabilidad para el proceso de inyección.

El único inconveniente es que la ranura superior de la cuba es imposible hacerla con este proceso, ya que esta forma es muy compleja para los moldes de una inyectora, de manera que si se hiciera esta forma, no se podría expulsar el producto terminado de la inyectora, la cual va a tener un molde de dos placas.

Otro inconveniente es el agujero que tiene en la base de la cuba pues, una vez inyectado y enfriado el plástico en el molde, la inyectora se abre apartando el molde hembra, luego se tiene que expulsar la pieza del molde macho. Esto se hace expulsando aire a mucha presión, mediante un orificio que hay en el molde macho e impacta en la cara inferior de la cuba, de tal forma que si ya en la inyección se hiciera el agujero, el aire escaparía por aquí en vez de expulsar la pieza del molde.

Por eso se ha pensado que la mejor forma de hacer esta pieza de polipropileno, es mediante un proceso de inyección, en el cual se hace una forma de la cuba muy similar a la final, pero sin la ranura superior, es decir, llenando ese hueco con polipropileno también y, además, haciendo la pieza sin agujero. Con esta forma primitiva, lo que vamos a hacer es luego mecanizar, arrancando material con una fresa, la ranura superior y haciendo un taladro como se especifica y observa en el plano número 1.2.

1.2.1.3. TAPAS DE LAS CUBAS

Este elemento de la línea de pavonado al no tener una función que requiera de ningún trabajo ni esfuerzo, pues sirve únicamente para cerrar las cubas, con el propósito de que los líquidos que haya dentro de ellas no se ensucien, no necesitan ser hechas de un material con buenas características que aumenten su coste, por ello para las tapas de las cubas hemos pensado en el acero F6700, ya que soporta bien el proceso de troquelado que es de la forma que se va a hacer la tapa.

La tapa de la cuba, como ya se ha dicho, se va a fabricar mediante un proceso de troquelado, donde la chapa se va a cortar mediante un punzón con la forma y dimensiones especificadas en el plano número 1.3, posteriormente se soldará un tubo del mismo acero que el de la chapa (F6700) mediante un cordón de soldadura en el lugar que se indica en dicho plano.

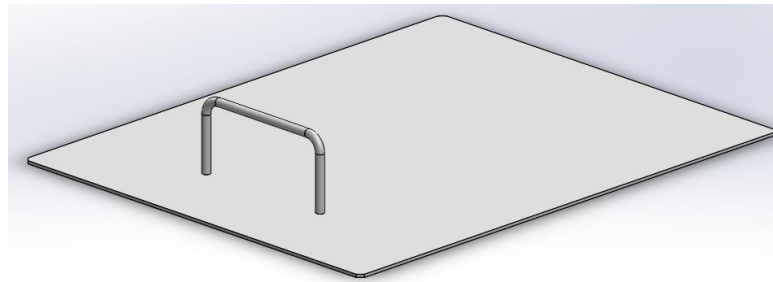


Figura 27. *Tapa de la cuba*. Elaboración propia “SolidWorks”.

1.2.1.4. CESTAS

Para la fabricación de las cestas se considera que el acero F6700, como en el caso anterior, es el idóneo ya que se va a obtener mediante plegado, y este material resiste muy bien este proceso y, además, es soldable.

Las cestas constan de alambres de 3 mm que han sido plegados para tener la forma deseada, como se ve en el plano 1.4, y que se sueldan al perfil superior. Este perfil superior se ha obtenido por plegado llegando a la forma deseada y luego se han soldado sus extremos, por último se ha troquelado los agujeros que actúan de guía, por los cuales se va a poder mover el asa. La estructura central que hay en la cesta se obtiene de la misma forma que la anterior y se suelda a la estructura de los alambres para que haga su función.

1.2.2. ACABADO SUPERFICIAL

Los componentes antes descritos de la línea de pavonado tendrán un tratamiento superficial posterior al proceso de montaje, donde dependiendo el componente que sea tendrá un acabado en pintura de un color verde o blanco.

El bastidor con las láminas ya montadas se pintará del color verde, mientras que la cesta, la cuba de polipropileno, la tapa de esta y la valla de protección se pintarán cada objeto por separado de color blanco, siendo estos colores los característicos de la fabricación de las líneas de pavonado.

Los componentes que se piden a proveedores y fabricantes especializados en estos objetos, como pueden ser los rodillos de “Interroll”, las patas regulables o el polipasto vendrán con los correspondientes colores de serie para evitar que los costes de la máquina sean más elevados.

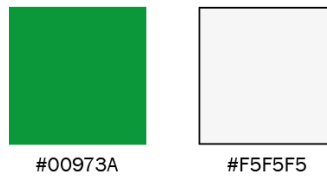
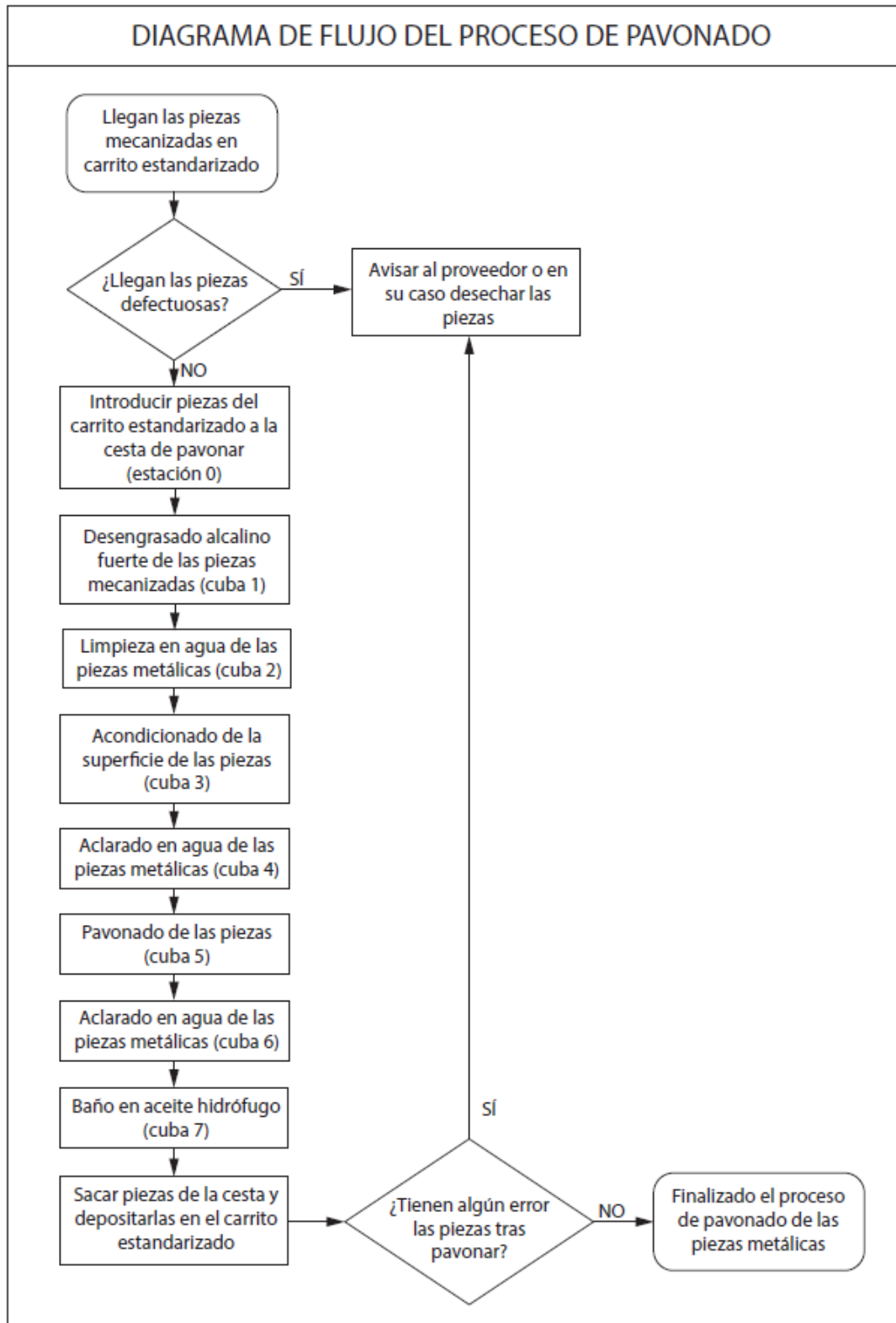


Figura 28. Colores característicos de la línea de pavonado. Elaboración propia.

1.3. ANEXOS A LA MEMORIA

1.3.1. DIAGRAMA DE FLUJO



1.3.2. PUESTO DE TRABAJO

El operario en la “línea de pavonado 1” va a tener un espacio de trabajo asignado para este puesto de trabajo donde se va a poder mover tanto para cargar y descargar las piezas, como para enganchar el gancho del polipasto a las cestas y de esta manera moverlas con el mando que dispondrá, así como para mover el carrito estandarizado de las piezas (esta operación en ambas líneas de pavonado se hará cuando la máquina este realizando el ciclo de pavonado para evitar perder tiempo, esto es lo que se llama “SMED”).

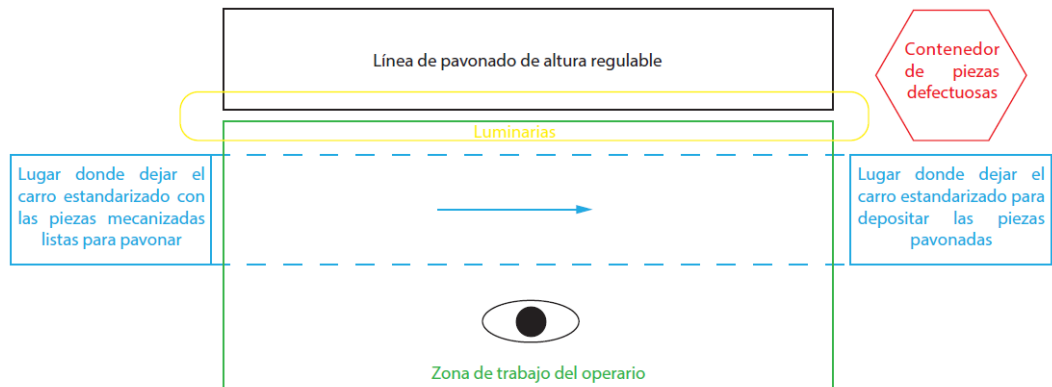


Figura 29. Puesto de trabajo para la línea de pavonado 1. Elaboración propia.

En la “línea de pavonado 2”, además, de lo antes mencionado el puesto de trabajo dispondrá de vallas protectoras para salvaguardar al operario de accidentes debido a que el polipasto será automático. También tendrá un cuadro de control de la máquina por lo que la zona de trabajo del trabajador será mayor en este caso.

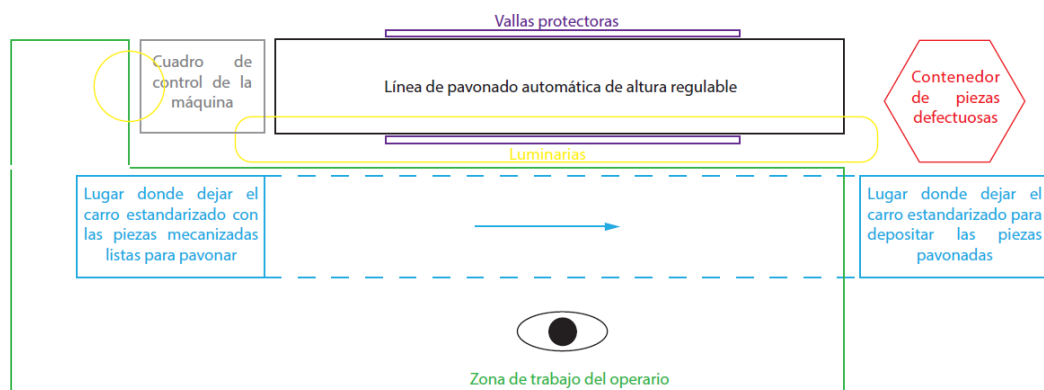


Figura 30. Puesto de trabajo para la línea de pavonado 2. Elaboración propia.

Además de estos aspectos, es importante que el puesto de trabajo esté dotado de un correcto sistema de iluminación, así como de una temperatura que se ajuste a la normativa, para no incurrir en que el operario tenga ningún tipo de estrés térmico o insuficiencias a la hora de realizar su trabajo. Por otra

parte es importante que el trabajador deba recibir formación de seguridad para no crear situaciones de peligro o accidentes en el trabajo, de esta forma el trabajador deberá ir provisto por su seguridad de vestimenta adecuada para este puesto de trabajo que maneja sustancias que pueden ser nocivas para su salud, por eso necesitará ir con gafas de seguridad, la zona superior de la vestimenta será una bata con manga larga y puño, usará botas dieléctricas con protección contra golpes y deberá de usar guantes protectores.

1.3.3. ESTUDIO ANTROPOMÉTRICO

La ergonomía (17), entendida según Pheasant (1988) como la aplicación científica que relaciona a los seres humanos con los problemas del proyecto tratando de “acomodar el lugar de trabajo al sujeto y el producto al consumidor”, tiene un papel muy importante en nuestro diseño de la línea de pavonado, ya que tiene que ajustarse perfectamente a las características antropométricas del trabajador que vaya a usar dicha máquina para evitar cualquier daño y salvaguardar su salud.

Para ello, la línea de pavonado en frío está diseñada teniendo en cuenta en primera instancia al trabajador que va a hacer uso de ella para que no tenga ningún problema físico a la hora de hacer su trabajo. Para lograr esto se ha tenido en cuenta una serie de datos antropométricos sacados del proyecto nacional INSHT/PN 543, del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) (18), los cuales son perfectamente utilizables ya que han sido sometidos al tratamiento apropiado y contrastados con otras bases de datos internacionales e, incluso, utilizados para contribuir a elaborar la información contenida en las normas internacionales UNE EN ISO 7250:1998 (19) y UNE EN 547-3:1997 (20).

Los datos proceden de una muestra de 1.723 personas representando la población ocupada española.

Refer. ISO 7250:1996	Designación	Muestra	Media	Desv. típica	Error típico	Percentiles				
						P1	P5	P50	P95	P99
Medidas tomadas con el sujeto de pie (mm)										
4.1.2	Estatura (altura del cuerpo)	593	1.595,37	62,97	2,586	1.439	1.494	1.596	1.701	1.744
4.1.4	Altura de los hombros	592	1.320,09	57,66	2,37	1.193	1.229	1.319	1.420	1.457
4.1.5	Altura del codo	593	985,65	47,86	1,965	882	913	985	1.059	1.109

Tabla 03. *Datos antropométricos de la población laboral española (octubre 1999). Población: Mujeres. CNMP Sevilla. INSHT.*

Refer. ISO 7250:1996	Designación	Muestra	Media	Desv. típica	Error típico	Percentiles				
						P1	P5	P50	P95	P99
Medidas tomadas con el sujeto de pie (mm)										
4.1.2	Estatura (altura del cuerpo)	1.130	1.698,84	70,49	2,097	1.537	1.583	1.698	1.820	1.864
4.1.4	Altura de los hombros	1.130	1.414,62	63,68	1,894	1.260	1.306	1414	1.520	1.566
4.1.5	Altura del codo	1.128	1.049,11	50,48	1,503	928	970	1049	1.134	1.170

Tabla 04. Datos antropométricos de la población laboral española (octubre 1999). Población: Hombres. CNMP Sevilla. INSHT.

En las tablas, lo que indican los percentiles es que, por ejemplo para el P50 de la población laboral española de hombres, el 50% de ellos tiene una estatura igual o inferior a 1.698 mm. De este modo, en función de los datos anteriores y sabiendo las posturas y movimientos que van a hacer los operarios en este puesto de trabajo, la línea de pavonado se ha diseñado teniendo en cuenta sobre todo la altura de la estructura.

La altura del plano de trabajo de la estructura es de 870 mm, el problema surge en las estaciones que tienen una inclinación y que sirven, una para cargar la cesta y otra, en el otro extremo de la línea, para descargar las piezas. En estas estaciones, se estudia la situación más desfavorable en cuanto a altura, que es cuando el operario tiene que cargar la cesta con la piezas a pavonar en el sitio más alto posible de la estructura, que es en el extremo de la estación 0. En este punto de la estación 0, sabemos que la altura de la estructura es 947 mm (incluyendo la altura del calzo de la pata regulable) más la altura de la cesta que es 390 mm, hace un total de 1.337 mm. El bastidor de la línea de pavonado al constar de unas patas regulables en altura, estas se pueden cambiar de altura dependiendo de la estatura del operario que este en este puesto, pudiendo subir 58 mm a mayores de lo antes explicado.

La altura de 1.337 mm tiene que ser más baja que la altura del hombro del operario para que las posturas que tenga que hacer no perjudiquen su bienestar físico, como por ejemplo ponerse de puntillas. Mirando las tablas, comprobamos que esta medida se ajusta a un poco menos del 95% de la población laboral española masculina y a algo menos del 50% de la población laboral española femenina.

1.3.4. PROTECCIÓN DE LA MÁQUINA

En la línea de pavonado 2, la cual es automática, es decir, una vez que el operario haya insertado el ciclo correspondiente de la pavonación en el cuadro de mando de la máquina, esta se moverá automáticamente, sin la necesidad de que el operario haga nada más, a excepción de que se pulse la

seta de emergencia que paralizaría la máquina instantáneamente. Por ello, para evitar posibles accidentes del operario con la máquina, como podría ser un atrapamiento de la mano o similares, para la línea de pavonado 2 es obligatorio introducir unas vallas protectoras, las cuales tienen un punto de apoyo fijo y otros móviles con lo que si es necesario se pueden mover radialmente en el puesto de trabajo.

Las características de la valla protectora están reguladas por AFNOR (17) según la siguiente imagen, teniendo una $c = 27 \text{ mm}$ y una $e = 38,18 \text{ mm}$.

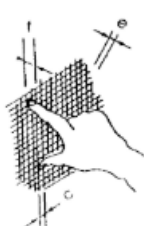
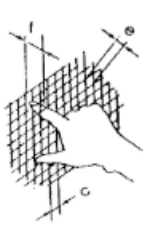



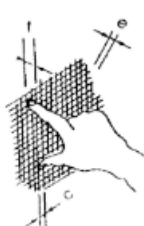
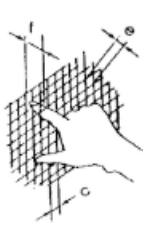



Parte del cuerpo	Punta del dedo	1ª falange	Dedo	Mano	Brazo
Tipo de obstáculo					
Abertura redonda o cuadrada					
Díámetro del círculo o diagonal del cuadrado (e)	$4 < e \leq 8$	$8 < e \leq 11,3$	$11,3 < e \leq 40$	$40 < e \leq 50$	$50 < e \leq 135 (1)$
Lado del cuadrado (c)	$2,8 < c \leq 5,6$	$5,6 < c \leq 8$	$8 < c \leq 28$	$28 < c \leq 35,5$	$35,3 < c \leq 95,5$
Distancia de seguridad (f)	$f > 5$	$f > 20$	$f > 120$	$f > 200$	$f > 850$

Figura 31. Protectores para aplicar a máquinas. AFNOR.

Diseño de una línea de pavonado de piezas metálicas

Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto

Adrián Rojo García

1.3.5. DIAGRAMA SINÓPTICO DEL PROCESO DE MONTAJE DE LA LÍNEA DE PAVONADO

DIAGRAMA SINOPTICO DEL PROCESO		METODOS Y TIEMPOS	
PIEZA O CONJUNTO <u>Conjunto</u> Línea de Pavonado 1 "sin revestimiento"	DEPARTAMENTO EMPIEZA <u>Taller de montaje</u>	EFFECTUADO POR <u>Rojo García, Adrián</u>	ESTUDIO Nº <u>1</u>
PLANO Nº <u>1</u>	TERMINA <u>Taller de montaje</u>	FECHA <u>10/05/2019</u>	HOJA <u>1 / 1</u>
PROCESO <u>Montaje del conjunto</u> Línea de Pavonado 1 "sin revestimiento"	UNIDAD DE COSTO <u>1 Línea Pavonado</u>		
METODO <u>Actual</u>	PRODUC. ANUAL <u>500 Línea Pavonado</u>		

CROQUIS	RESUMEN POR UNIDAD DE COSTO						
	ACTIVIDAD	ACTUAL		PROPUESTO		ECONOMIA	
		Nº	dmh	Nº	dmh	Nº	dmh
	OPERACION <input type="radio"/>		9971,9				
	INSPECCION <input type="checkbox"/>		1996,5				
	TIEMPO TOTAL dmh		11968,4				
	M.O.D. euros		185,5 €				
	MATERIAL euros		2.490,7 €				
	UNIDAD DE COSTO: ECONOMIA euros					4.349,82 €	
	PRODUCCION ANUAL: ECONOMIA euros					2.174.907,4 €	

OBSERVACIONES

1.3.6. COMPROBACIONES MECÁNICAS Y ESTUDIO DE FUERZAS

1.3.6.1. ESTRUCTURA DE LA LÍNEA DE PAVONADO

Para la comercialización de la línea de pavonado hay que comprobar si todos los elementos van a cumplir bien sus especificaciones, por eso estudiamos el comportamiento de la estructura del bastidor, que es donde recaen todos los trabajos y esfuerzos contemplados, para ver si es lo suficientemente resistente y asegurar que no se van a producir fallos a lo largo de toda su vida de servicio.

Para estos estudios de la resistencia de las vigas utilizamos el programa “Autodesk Inventor”.

El bastidor está construido con vigas del acero S275JR, que es el acero más común para la construcción, pues sus propiedades son bastante buenas:

- Módulo de Elasticidad: E 210.000 N/mm²
- Módulo de Rigidez: G 81.000 N/mm²
- Coeficiente de Poisson: ν 0,3
- Coeficiente de dilatación térmica: α $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1}$
- Densidad: ρ 7.850 kg/m³

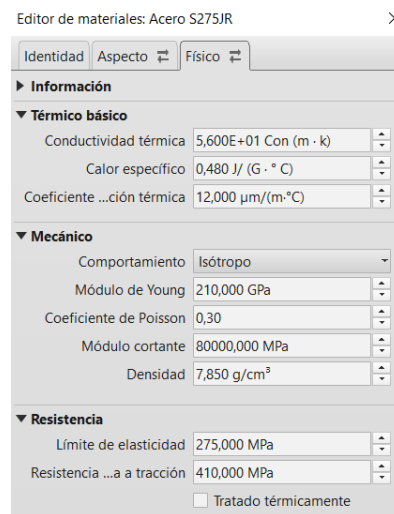


Figura 32. *Propiedades del acero S275JR*. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

1.3.6.1.1. SIMULACIÓN 1 DE LA ESTRUCTURA DE LA LÍNEA DE PAVONADO

En la primera simulación con la estructura del bastidor, tras introducir los datos del acero S275JR, se pusieron restricciones fijas en las bases de las patas para que las condiciones de la simulación cumplieren lo máximo posible las de la realidad.

En el estudio se introduce la fuerza de la gravedad y se introduce una fuerza puntual en el medio de la viga HEB160, ya que este punto va a ser el más crítico a la hora de realizar el estudio, al igual que va a pasar en la realidad. En el estudio también se ha insertado la fuerza de la gravedad pues en la realidad está presente. La fuerza que se introduce en la viga HEB160, tiene un valor de 5.000 N en dirección vertical y sentido hacia abajo. Este valor está calculado de forma que simule la acción de trabajo más crítica posible, que es cuando la cesta de las piezas estuviese completamente llena de acero (lo cual es irreal pero al estudiarla comprobamos las capacidades de la estructura para el máximo trabajo posible).

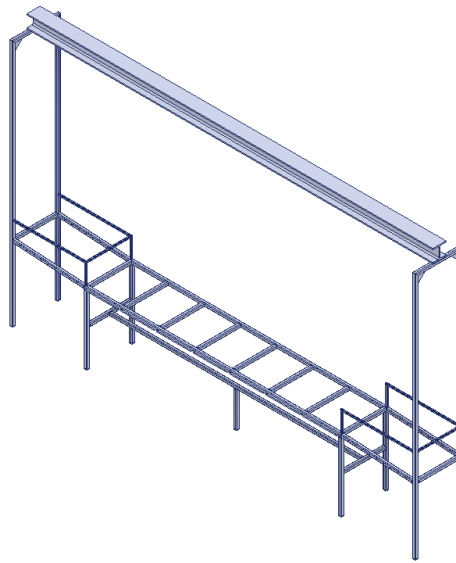


Figura 33. *Diseño 1 de la estructura de la línea de pavonado.* Elaboración propia "SolidWorks".

Como sabemos la densidad del acero, calculando el volumen de la cesta con sus dimensiones, hayamos la masa de la cesta, y multiplicando este valor por la fuerza de la gravedad sabemos el peso de esta.

$$\begin{aligned} \text{Volumen de la cesta} &= \text{anchura} * \text{profundidad} * \text{altura} \\ &= 344 \text{ mm} * 444 \text{ mm} * 344 \text{ mm} = 52.541.184 \text{ mm}^3 \\ &= 0,05455 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\rho = 7.850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{masa cesta}}{0,05255 \text{ m}^3}; \text{masa cesta} = 412,5175 \text{ kg}$$

Como el polipasto tiene un límite de capacidad de levantar 500 kg de masa, comprobamos que el polipasto tiene un coeficiente de seguridad, con respecto al peso máximo que va a levantar, de $k=1,2$.

$$\begin{aligned} \text{Peso máximo de la cesta llena} &= 9,8 \frac{m}{s^2} * \text{masa cesta} \\ &= 9,8 \frac{m}{s^2} * 412,5175 \text{ kg} = 4.042,6715 \text{ N} \end{aligned}$$

Al peso de la cesta se le suma el peso del polipasto y comprobamos que el valor de la fuerza es menor a 5000 N, garantizando así un rango de seguridad de 375 N.

$$\begin{aligned} \text{Fuerza peso máx} &= \text{Peso máx cesta llena} + \text{Peso polipasto} \\ &= 4.042,6715 \text{ N} + 582,32 \text{ N} = 4.624,99 \text{ N} < \text{Fuerza aplicada} \\ &= 5.000 \text{ N} \end{aligned}$$

La malla que se ha utilizado para realizar esta simulación es una malla de tetraedros parabólicos con un tamaño medio de elementos de 0,08 y 1 refinado, como se puede observar en las siguientes imágenes.

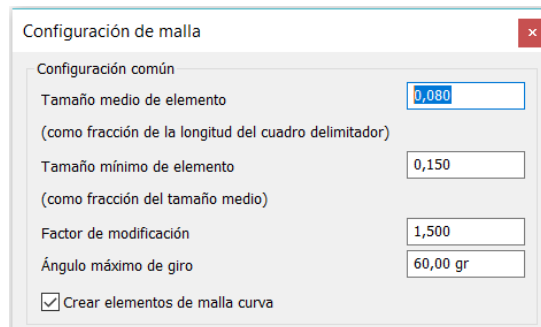


Figura 34. Configuración de malla. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

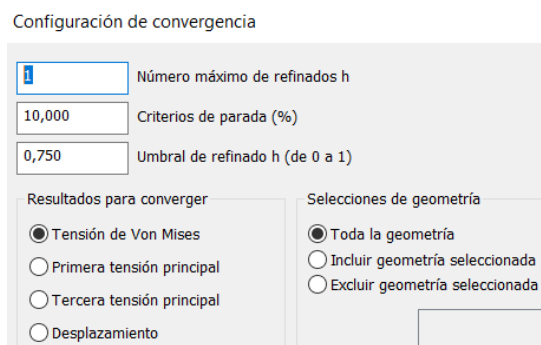


Figura 35. Configuración de la convergencia. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

Con todos estos parámetros introducidos, simulamos el primer ensayo obteniendo como resultados:

- N° de nodos: 1.882.783
- N° de elementos: 914.810
- Tensión de Von Mises máxima: 210,8 MPa

- Desplazamiento máximo en Y: 2,31 mm
- Desplazamiento máximo en Z: 0,5161 mm
- Desplazamiento máximo en X: 0,3377 mm

Al analizar la Tensión de Von Mises comprobamos que la estructura aguanta perfectamente la carga máxima en todas las vigas, pero en las uniones soldadas entre la viga HEB160 y las vigas de perfil cuadrado huecas que la sujetan es donde se aprecia que la tensión de Von Mises aumenta considerablemente hasta 210,8 MPa, siendo las zonas más críticas de la estructura. Esto ocurre en las cuatro uniones soldadas entre las vigas antes mencionadas, las cuales van a ser las zonas más críticas de la estructura y que antes van a fallar, aun así la tensión de Von Mises máxima generada es inferior al límite elástico del acero S275JR, que es 275 MPa.

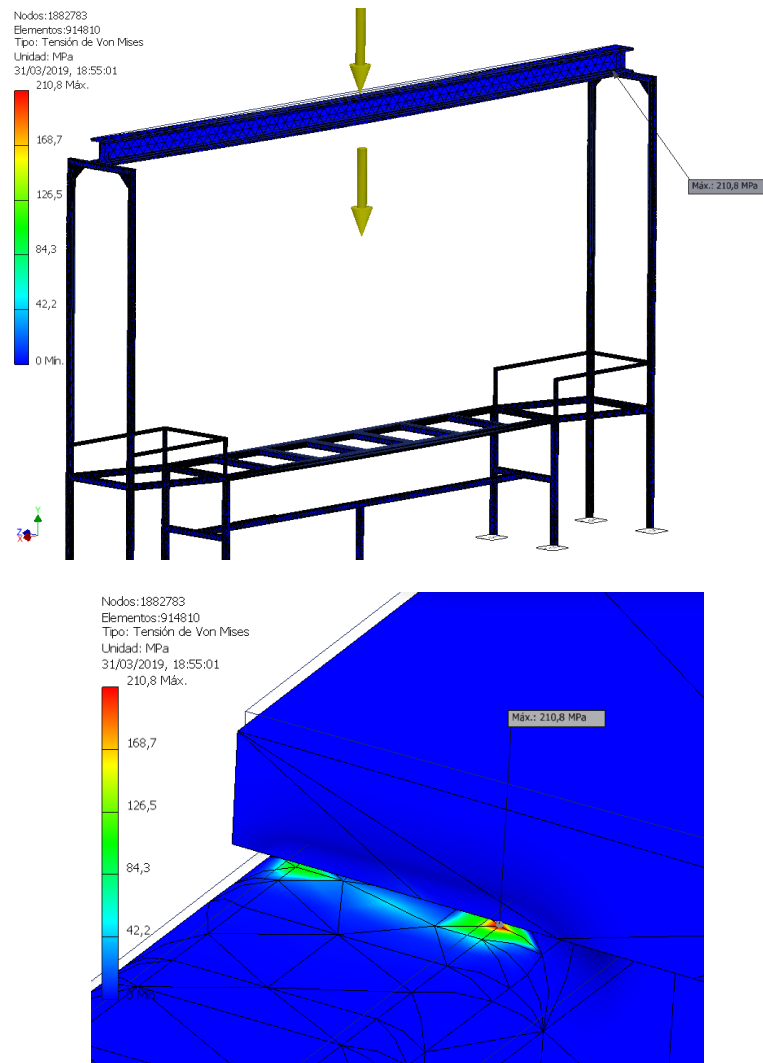


Figura 36. Tensión máxima de Von Mises en la estructura en la simulación 1. Elaboración propia "Autodesk Inventor".

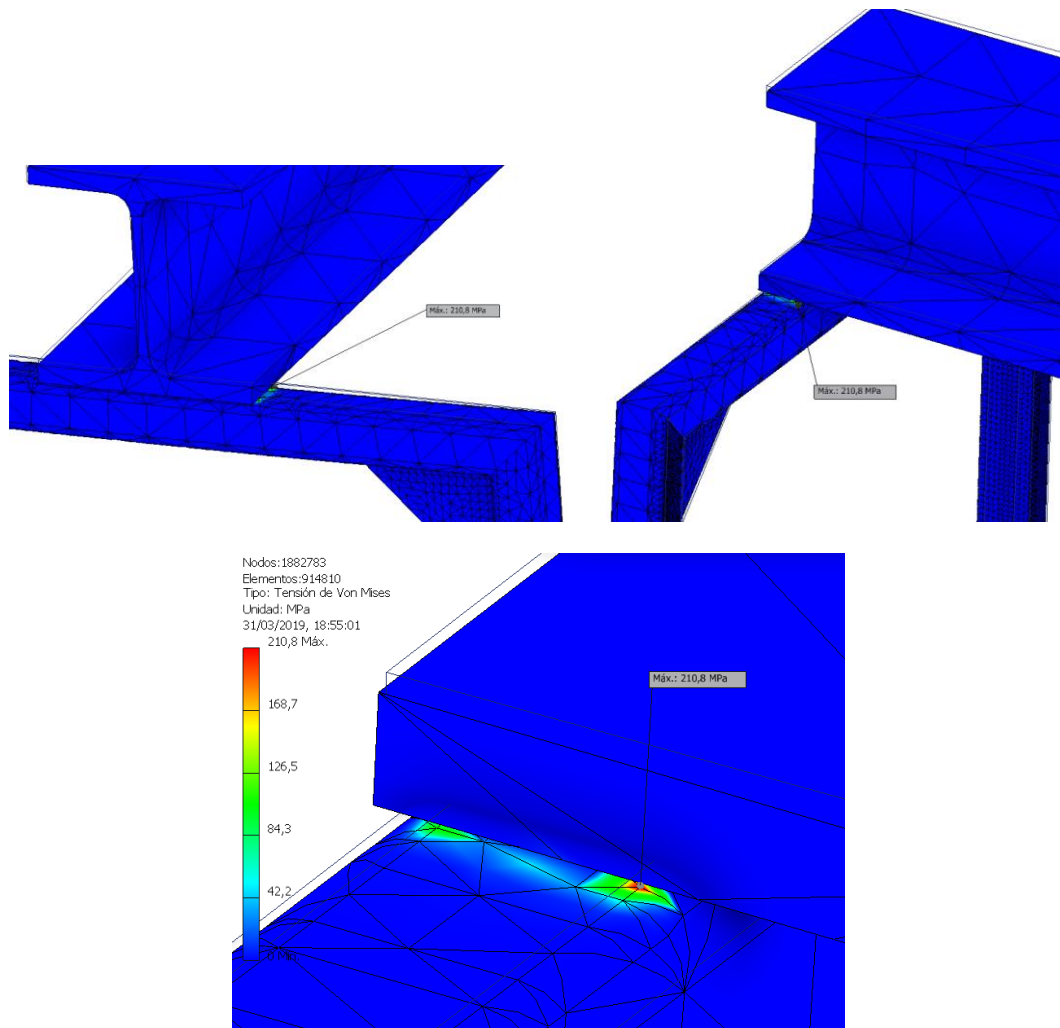


Figura 37. Tensión máxima de Von Mises en la estructura en la simulación 1. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

Con la tensión máxima en ZZ podemos observar que las vigas donde apoya la viga HEB160 van a ser también regiones que van a tener una tensión más aguda que el resto de zonas de la estructura, llegando a tener una tensión en ZZ de 54,6 MPa. En las siguientes imágenes lo podemos observar, al igual que las regiones de las uniones soldadas van a tener una tensión en ZZ muy amplia como ya se ha comentado.

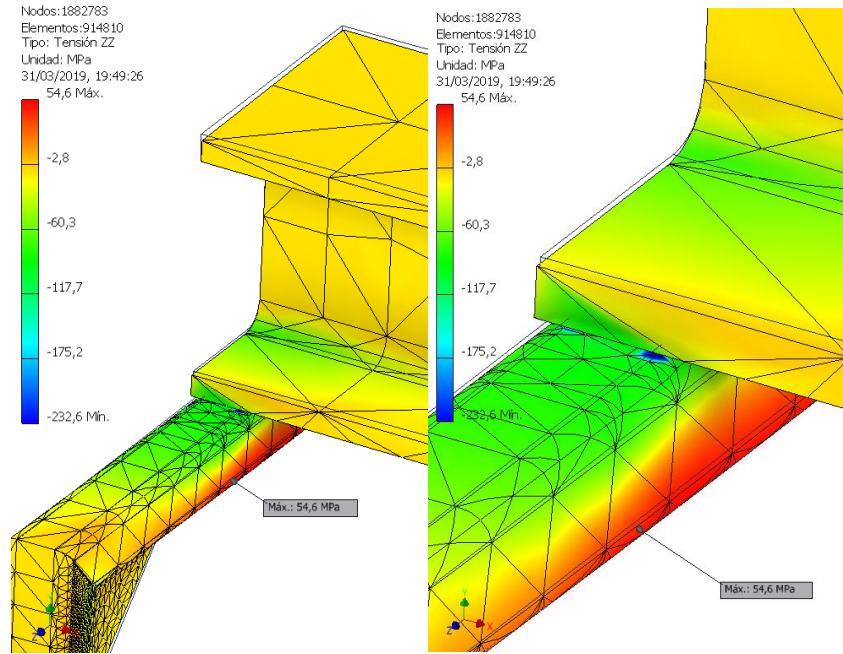


Figura 38. Tensión máxima en ZZ en la estructura en la simulación 1.
Elaboración propia "Autodesk Inventor".

Al analizar el desplazamiento en Y, que es el que más nos interesa, observamos que donde más se produce es en la viga HEB160, la cual curva hasta 2,31 mm, algo insignificamente para las magnitudes de dicha viga.

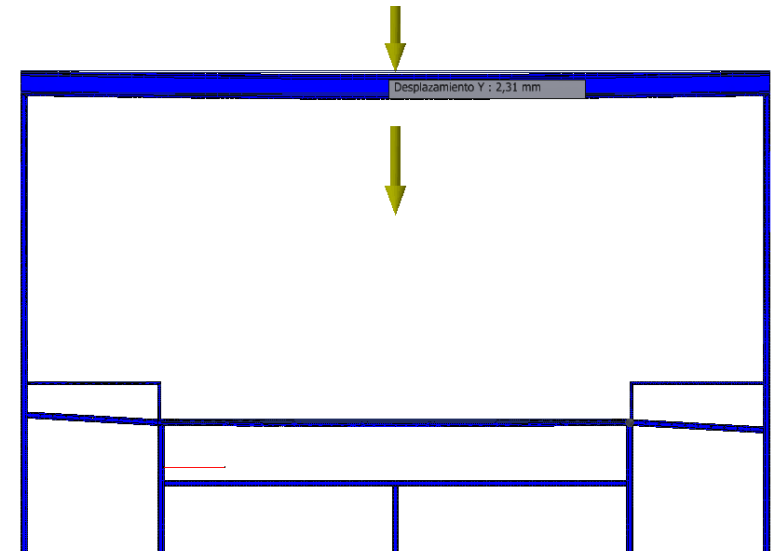


Figura 39. Desplazamiento máximo en la estructura en la simulación 1.
Elaboración propia "Autodesk Inventor".

Al analizar los desplazamientos en los ejes X y Z, comprobamos que la estructura sufre desplazamientos insignificantes menores a un milímetro, pero se aprecia que estos tienen lugar en las vigas verticales largas de perfil

cuadrado hueco, con lo que esto quiere decir que están pandeando en dos planos verticales diferentes.

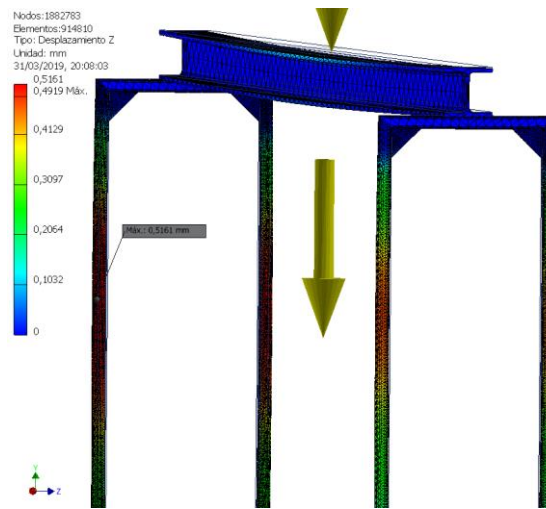


Figura 40. Desplazamiento de pandeo en Z en la estructura en la simulación 1. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

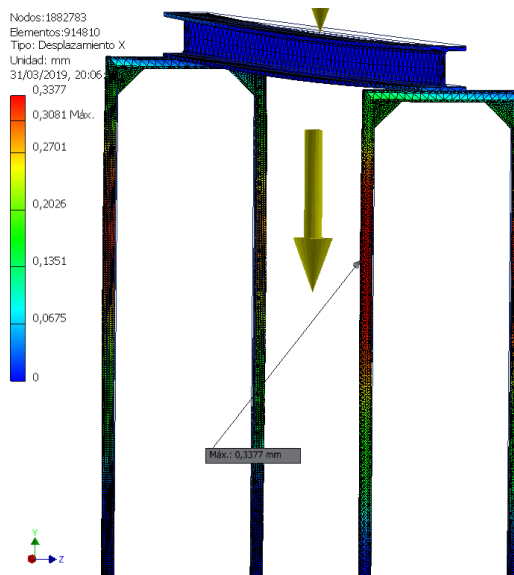


Figura 41. Desplazamiento de pandeo en X en la estructura en la simulación 1. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

1.3.6.1.2. SIMULACIÓN 2 DE LA ESTRUCTURA DE LA LÍNEA DE PAVONADO

Para mejorar y evitar lo que ocurría en el primer diseño de la estructura del bastidor de la línea de pavonado, en el cual se veía claramente que las uniones de soldadura de la viga HEB160 con las de perfil cuadrado huecas sufrían una tensión muy elevada, aunque menor que el límite elástico del acero S275JR, y, además se producían pandeos en las vigas verticales, se introducen mejoras, como aumentar las cartelas de tamaño (150x150 mm y de 15 mm de espesor) e introducir unas vigas de sección cuadrada hueca

uniendo las vigas verticales, en la que va a ser la estructura definitiva de la línea de pavonado.

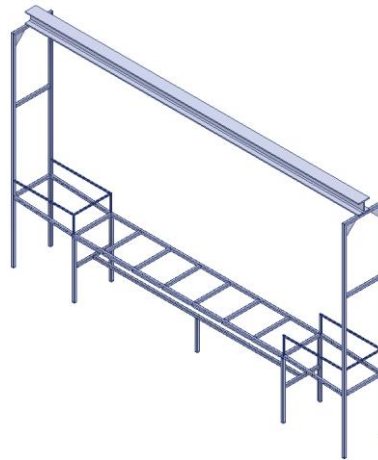


Figura 42. *Diseño 2 de la estructura de la línea de pavonado.* Elaboración propia “SolidWorks”.

La malla que se ha utilizado para realizar esta simulación es una malla de tetraedros parabólicos con un tamaño medio de elementos de 0,08 y 3 refinados, como se puede observar en las siguientes imágenes.

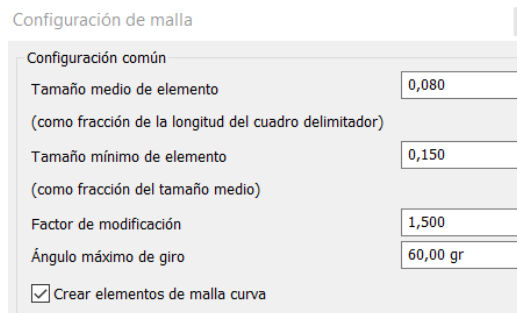


Figura 43. *Configuración de malla para la simulación 2.* Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

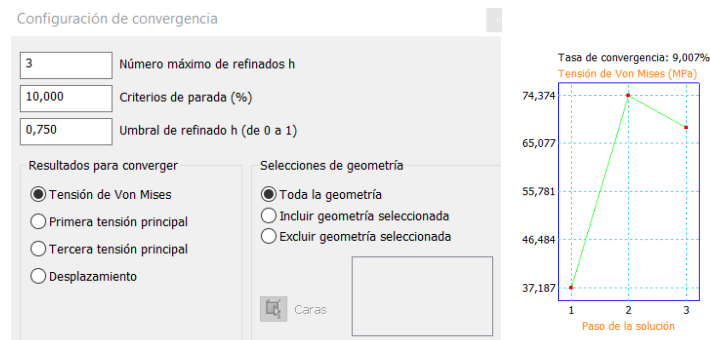
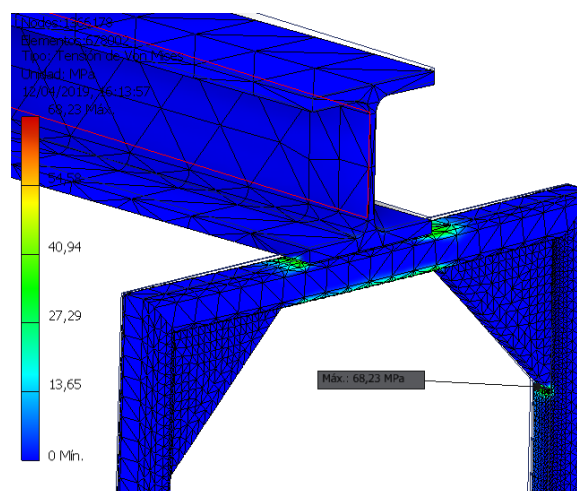


Figura 44. *Configuración y tasa de la convergencia en la simulación 2.* Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

Con todos estos parámetros introducidos y las mismas características del material, mismas restricciones y mismas fuerzas introducidas que en la primera simulación, simulamos el ensayo para la estructura definitiva obteniendo como resultados:

- N° de nodos: 1.366.178
- N° de elementos: 678.002
- Tensión de Von Mises máxima: 68,23 MPa
- Desplazamiento máximo en Y: 2,1 mm
- Desplazamiento máximo en Z: 0,2296 mm
- Desplazamiento máximo en X: 0,3591 mm

Podemos comprobar que la tensión de Von Mises ha bajado considerablemente con respecto al primer ensayo hasta un valor de 68,23 MPa, siendo un valor muy inferior al límite elástico del acero usado en la estructura S275JR, por tanto estamos reduciendo las posibilidades de fallo del material. A diferencia de la primera simulación donde la tensión de Von Mises máxima se producía en la unión soldada de la viga HEB160 con el resto de la estructura, en esta simulación esta tensión máxima se produce en la unión soldada de las cartelas con los perfiles huecos cuadrados, sin dejar de percatar que en las uniones soldadas de la viga HEB160 también hay tensiones de menor valor a 68,23 MPa. Las barras que soportan la viga HEB160 también sufren en su parte inferior, desde donde acaba una cartela hasta la siguiente.



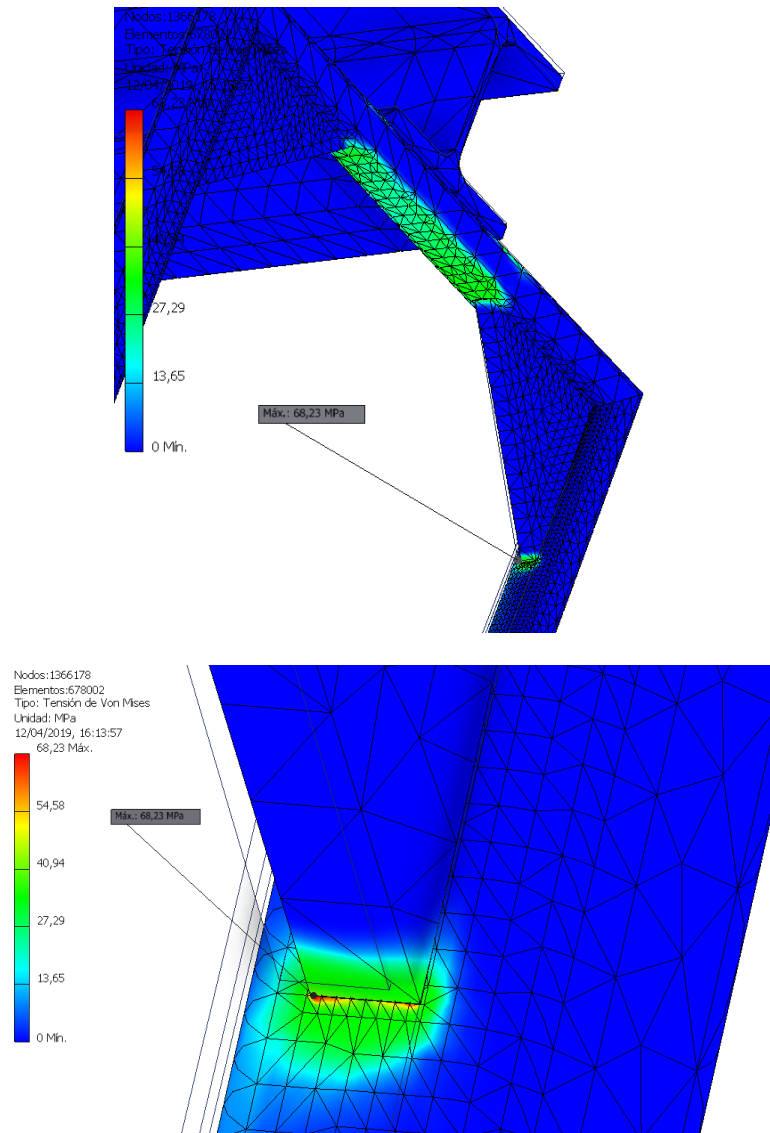


Figura 45. Tensión de Von Mises máxima en la estructura de la simulación 2. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

Estudiando los desplazamientos de la nueva estructura percatamos que son inferiores que en el primer estudio, localizándose en la viga HEB160 y la parte superior de las vigas verticales, por tanto las vigas horizontales introducidas en esta nueva estructura hacen correctamente su función. El desplazamiento que más nos interesa conocer es el del eje Y, ya que afecta a la viga HEB160, sufriendo un desplazamiento de 2,1 mm, algo insignificante dado las dimensiones de la viga. Los otros desplazamientos nos indican el pandeo de las vigas verticales, los cuales son menores que los desplazamientos de la primera simulación debido al efecto que provocan las nuevas vigas horizontales introducidas (estos desplazamientos son menores que la unidad por lo que son despreciables).

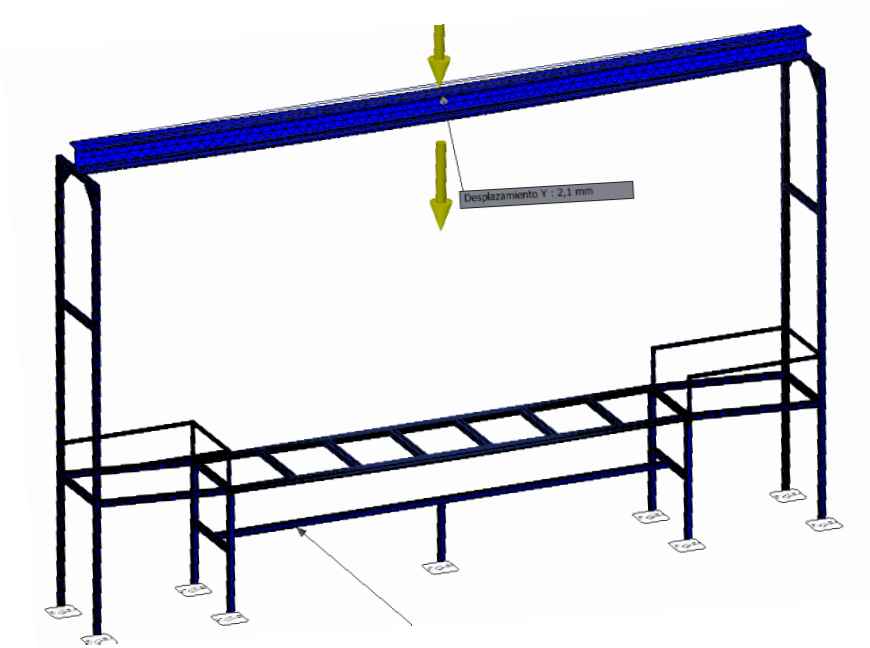


Figura 46. Desplazamiento máximo en la estructura en la simulación 2. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

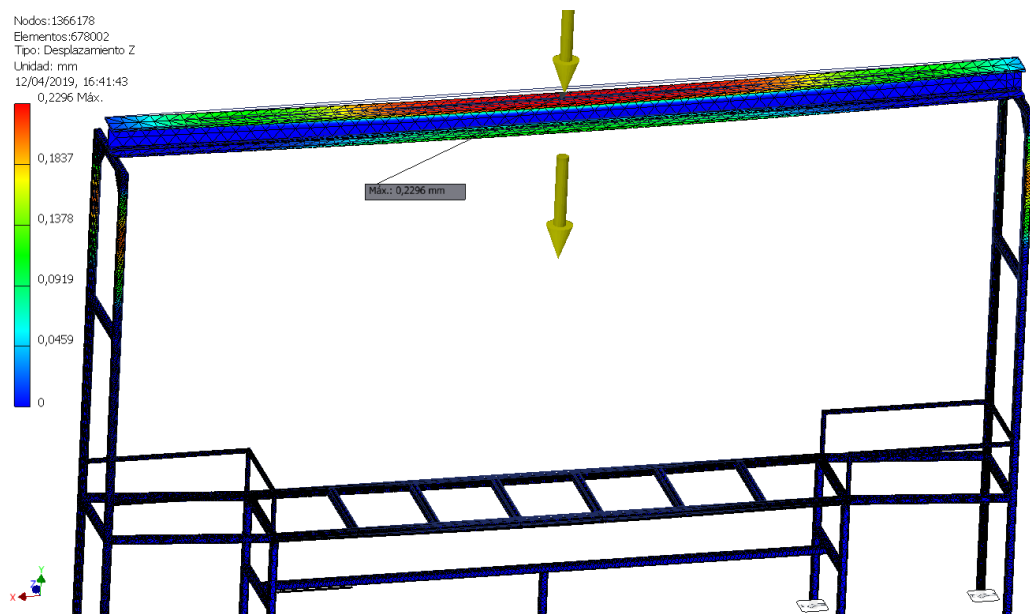


Figura 47. Desplazamiento de pandeo en Z en la estructura en la simulación 2. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

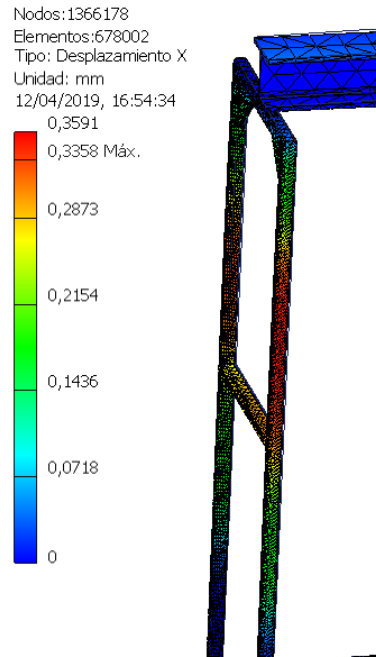


Figura 48. Desplazamiento de pandeo en X en la estructura en la simulación 2. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

Por tanto podemos concluir que con esta nueva estructura del bastidor las tensiones no van a estar localizadas en un solo punto con una tensión de Von Mises muy alta, evitando que la zona crítica sea un punto muy localizado por donde la estructura seguro que fallaría, sino que, lo que hacemos, es distribuir estas tensiones en más puntos siendo el valor de estas tensiones muy inferior con respecto al límite elástico del acero S275JR y estando más seguros, que con la primera estructura, a la hora de que la estructura realice sus trabajos con una carga máxima.

1.3.6.1.3. SIMULACIÓN 3 DE LA ESTRUCTURA DE LA LÍNEA DE PAVONADO

En la tercera simulación de la estructura del bastidor modificamos la viga HEB160 por otra de menores dimensiones, pareciéndose más a una viga IPN con dimensiones 120 mm de alto por 76 mm de ancho, para comprobar si resistiría a los esfuerzos máximos requeridos (como en los casos anteriores una fuerza de 5.000 N en el centro de la viga, que es el lugar más desfavorable). Además al nuevo perfil de la viga se le ha insertado unas cartelas, entre el ala de la viga y la estructura que la sujeta, para reducir los esfuerzos de la soldadura.

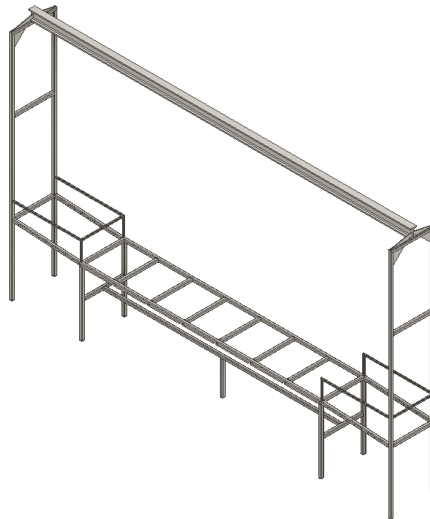


Figura 49. *Diseño 3 de la estructura de la línea de pavonado. Elaboración propia “SolidWorks”.*

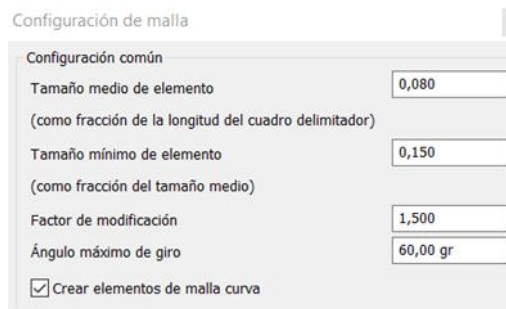


Figura 50. *Configuración de malla para la simulación 3. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.*

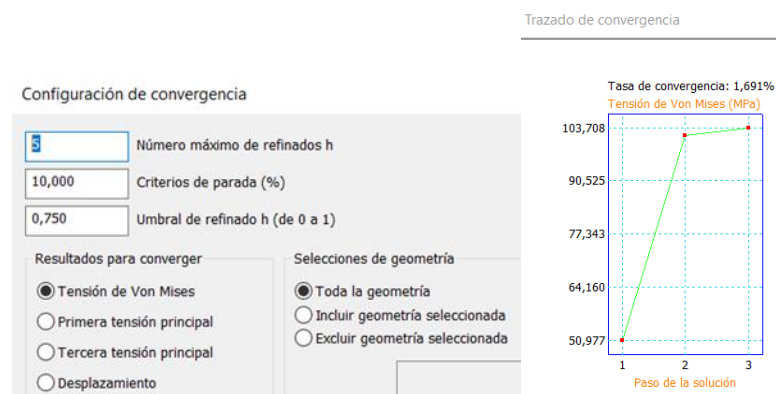


Figura 51. *Configuración y tasa de la convergencia en la simulación 3. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.*

Con estas configuraciones de malla y de convergencia y, al igual que en las otras simulaciones, con las mismas características de material, iguales restricciones y fuerzas, obtenemos como resultados los siguientes:

- N° de nodos: 1.339.259
- N° de elementos: 665.947
- Tensión de Von Mises máxima: 103,7 MPa
- Desplazamiento máximo en Y: 6,47 mm
- Desplazamiento máximo en Z: 0,1022 mm
- Desplazamiento máximo en X: 0,9208 mm

Al tener unas dimensiones menores que la viga HEB160, se observa que la viga se deforma algo más que en ensayos anteriores, llegando a curvar hasta 6,47 mm, aunque sigue siendo una deformación asumible.

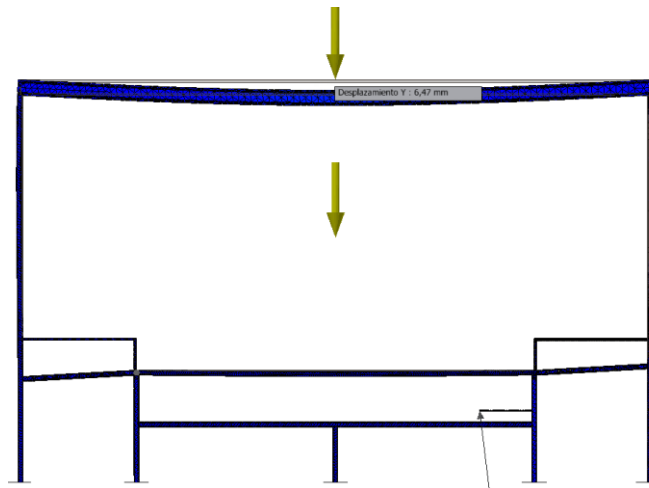


Figura 52. *Desplazamiento máximo en la estructura en la simulación 3.*
Elaboración propia "Autodesk Inventor".

También comprobamos que la tensión de Von Mises es 103,7 MPa, estando muy por debajo del límite elástico del material, por lo que la estructura con las nuevas dimensiones de la viga principal aguantaría perfectamente con las sollicitaciones que se le exigen, aun así esta tensión es mayor que el ensayo anterior. Esta tensión de 103,7 MPa, que es la que más va a sufrir, se localiza en la zona interior de las nuevas cartelas, concretamente en la soldadura entre la viga IPN y el resto de la estructura.

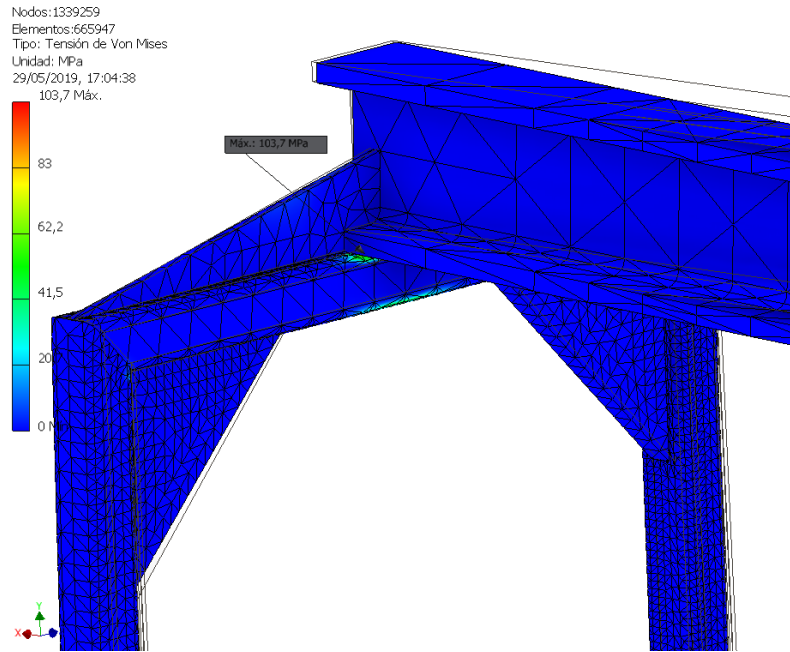


Figura 53. Tensión de Von Mises máxima en la estructura de la simulación 3. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

Podemos concluir que la estructura con esta viga IPN podrá valer para realizar el proyecto, ya que aguanta con garantías las especificaciones de partida.

1.3.6.1.4. SIMULACIÓN 4 DE LA ESTRUCTURA DE LA LÍNEA DE PAVONADO

En busca de una mejora constante e intentando bajar los costes de la máquina se hace un nuevo ensayo a la estructura de anterior, pero esta vez se cortan las partes superiores de los extremos de la viga IPN, para aliviar en peso a la estructura.



Figura 54. Diseño 4 de la estructura de la línea de pavonado. Elaboración propia “SolidWorks”.

Trazado de convergencia

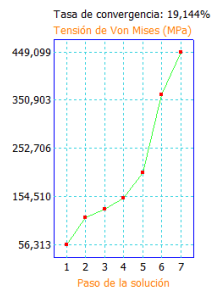


Figura 55. Tasa de convergencia en la simulación 4. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

Con las mismas configuraciones de malla y convergencia que en el ensayo anterior, habiendo introducido todos los parámetros y las mismas características del material, mismas restricciones y mismas fuerzas introducidas que en anteriores simulaciones, simulamos el ensayo para la estructura definitiva obteniendo como resultados:

- N° de nodos: 3.042.357
- N° de elementos: 1.504.071
- Tensión de Von Mises máxima: 449,1 MPa
- Desplazamiento máximo en Y: 6,97 mm
- Desplazamiento máximo en Z: 0,09896 mm
- Desplazamiento máximo en X: 0,985 mm

Como se puede apreciar la tensión de Von Mises supera ampliamente el límite elástico del material S275JR, con lo que la estructura fallará inmediatamente en la zona de la soldadura mencionada en el ensayo anterior, incluso sin someter a la estructura a una carga máxima como es la de 5.000 N. Por tanto este diseño no es factible para nuestras especificaciones.

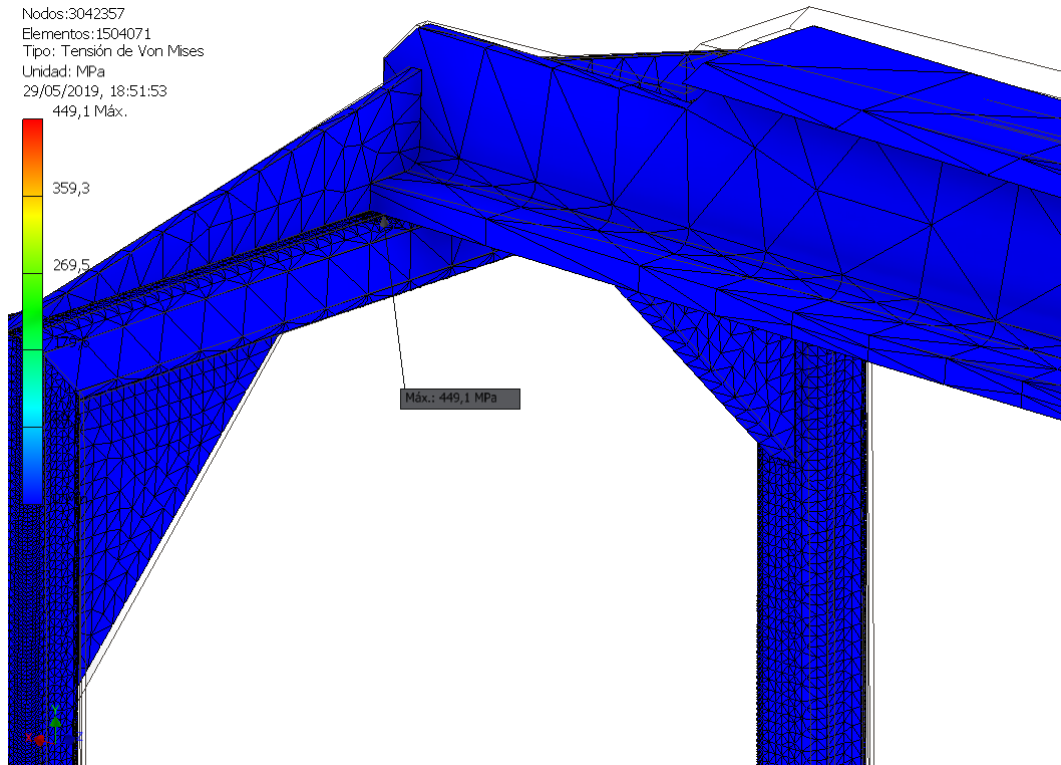


Figura 56. Tensión de Von Mises máxima en la estructura de la simulación 4. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

1.3.6.1.5. SIMULACIÓN 5 DE LA ESTRUCTURA DE LA LÍNEA DE PAVONADO

En la esta simulación, intentando mejorar el diseño de la estructura, así como bajar los costes de esta, se propone cortar a la mitad la viga IPN de la simulación 3 para comprobar si cumpliría con las especificaciones y, además bajaríamos el peso de la estructura.

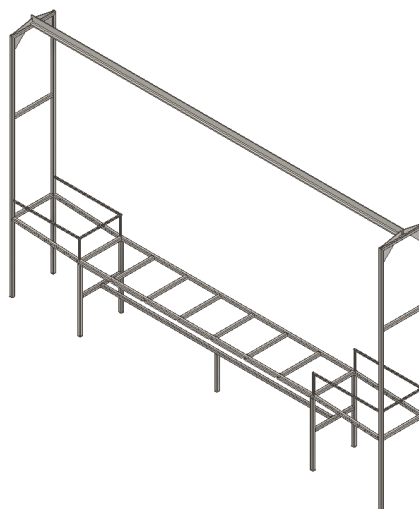


Figura 57. Diseño 5 de la estructura de la línea de pavonado. Elaboración propia “SolidWorks”.

Trazado de convergencia

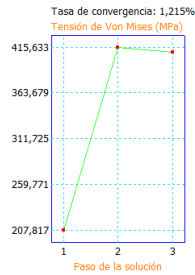


Figura 58. Tasa de convergencia en la simulación 5. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

Se utiliza la misma configuración de malla y convergencia que en los ensayos anteriores, al igual que las mismas características de material, restricciones y fuerzas. Con ello nos dan unos resultados de:

- N° de nodos: 1.344.261
- N° de elementos: 6.677.557
- Tensión de Von Mises máxima: 410,6 MPa
- Desplazamiento máximo en Y: 28,51 mm
- Desplazamiento máximo en Z: 0,1069 mm
- Desplazamiento máximo en X: 3,391 mm

Como en el ensayo anterior, este diseño no es funcional ni fiable para esta aplicación ya que la tensión de Von Mises supera holgadamente al límite elástico del material, fallando en la soldadura de las caras de la viga transversal con la estructura de la línea de pavonado.

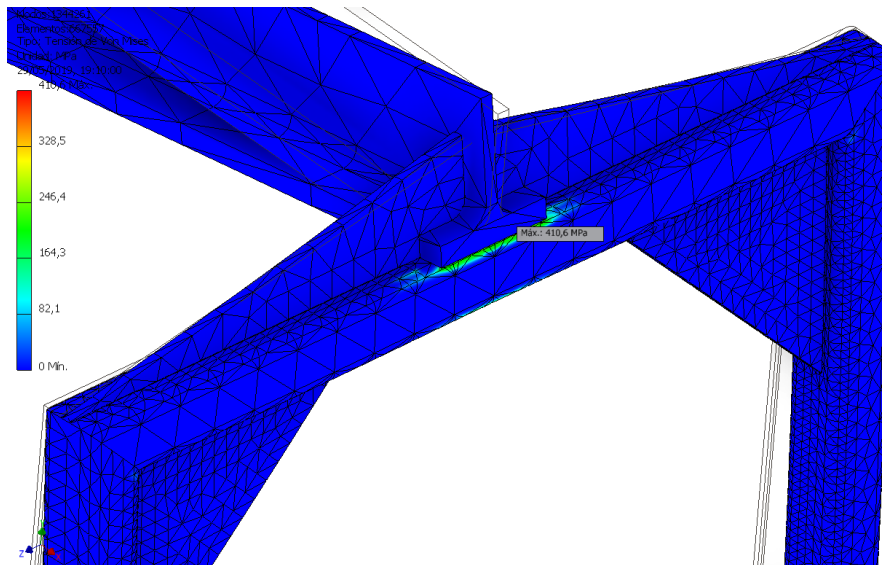


Figura 59. Tensión de Von Mises máxima en la estructura de la simulación 5. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

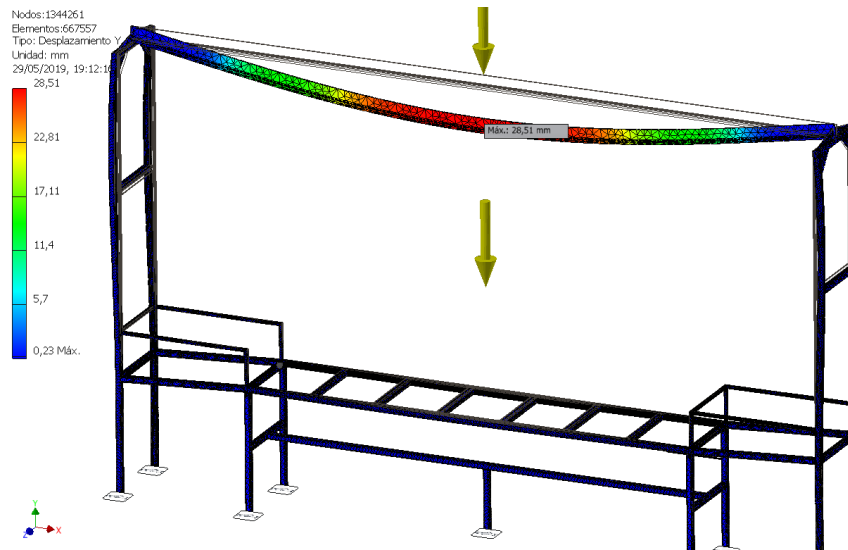


Figura 60. Desplazamiento máximo en la estructura en la simulación 5.
Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

1.3.6.1.6. CONCLUSIÓN

Como conclusión y elección de la estructura a utilizar para la línea de pavonado, se baraja la posibilidad de que se puedan usar las estructuras simuladas en los ensayos 2 y 3, ya que ambas cumplen con los requisitos establecidos, siendo la tensión máxima de Von Mises en ambas inferior en algo más bajo de la mitad del valor de 275 MPa, que es el límite elástico del material utilizado en todas las vigas. Además los desplazamientos son prácticamente inexistentes e inobservables para el ojo humano.

De entre estas dos estructuras, se decide optar por la de la simulación 2, que utiliza la viga HEB160, ya que al utilizar esta viga se comprueba que la zona más afectada de la estructura es la soldadura de la zona inferior de las cartelas (con un valor de 68,23 MPa), con lo que nos evitamos que la zona que más sufra sea directamente la zona de la soldadura entre la viga y la estructura, como ocurre en la simulación 3 con un valor de 103,7 MPa. Con esto evitamos que si la estructura fallase, rompiese por una de las soldaduras más importantes de la estructura y cuyas consecuencias pudieran ser peores que si falla por la soldadura de la cartela. Además el valor de la tensión de Von Mises es algo mayor en la estructura de la simulación 3 que en la de la 2, siendo los desplazamientos del orden de 6 mm en la simulación 3 y de 2 mm en la 3.

Otro factor a tener en cuenta a la hora de la elección de la estructura del bastidor de la simulación 2, ha sido los costes que pueden repercutir a la hora de fabricar y montar la estructura de la línea de pavonado. Esto es debido a que si utilizamos la viga HEB160 los operarios solo tendrían que hacer unas cuñas en los extremos de la viga y soldar al bastidor, mientras que si se usase

la viga IPN con las cartelas de sujeción, el tiempo de soldadura empleado por los operarios sería mayor ya que hay que soldar más cordones de soldadura y en zonas más complejas, repercutiendo así en el coste final de la línea de pavonado.

1.3.6.2. CUBA DE POLIPROPILENO

Para comprobar que las cubas cumplen con los requisitos y especificaciones de trabajo, debemos simular su comportamiento, intentando que este sea lo más cercano a la realidad posible. Las cubas están fabricadas con polipropileno (PP), plástico ya explicado, que tiene las siguientes características:

- Módulo de elasticidad: E 1.310 N/mm^2
- Alargamiento de rotura (%) 350
- Módulo de flexión: 1.470 N/mm^2
- Carga de rotura: $36,5 \text{ MPa}$

Editor de materiales: Polipropileno

Identidad	Aspecto	Físico
Información		
Térmico básico		
Conductividad térmica	1,980E-01 Con (m · K)	
Calor específico	2,731 J / (G · ° C)	
Coefficiente ...ción térmica	90,500 $\mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$	
Mecánico		
Comportamiento	Isótropo	
Módulo de Young	1,340 GPa	
Coefficiente de Poisson	0,39	
Módulo cortante	757,000 MPa	
Densidad	0,899 g/cm ³	
Resistencia		
Límite de elasticidad	30,300 MPa	
Resistencia ...a tracción	36,500 MPa	

Figura 61. Características del polipropileno. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

1.3.6.2.1. SIMULACIÓN 1 DE LA CUBA

La primera simulación de las cubas de polipropileno se hace con el diseño más básico, al cual se le han introducido restricciones fijas en los apoyos exteriores sobre los que apoya en la estructura. Los demás apoyos no se tienen en cuenta ya que se pretende ver las condiciones más extremas que pudiera aguantar y si en el ensayo introdujese las vigas que hacen contacto con las cubas mejorarían los resultados (las vigas que se suprimen son la transversal sobre la que descansan las cubas, y las vigas que rodean y hacen el hueco para que se puedan depositar las cubas).

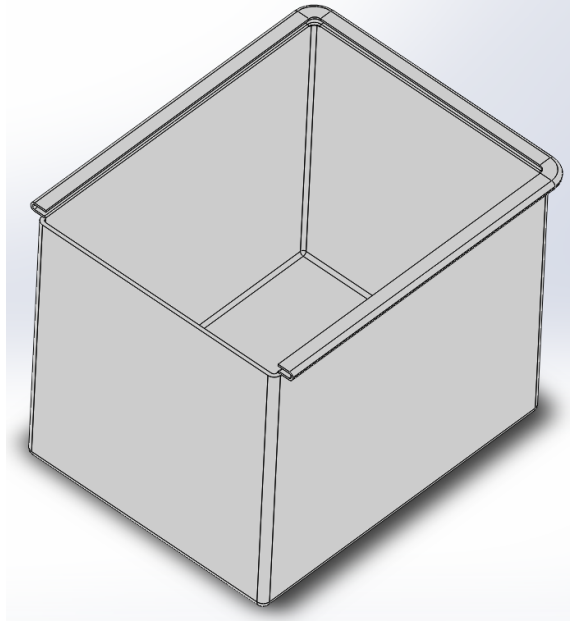


Figura 62. Primer diseño de la cuba. Elaboración propia “SolidWorks”.

En los estudios de las cubas se omite la fuerza de la gravedad, y se estima que las cubas van a tener que soportar una fuerza de 3.000 N debido a los siguientes cálculos:

Se supone que las cubas están llenas con 45 litros cada una, con ácido nítrico (HNO_3) que tiene una densidad de 1,51 kg/L (se toma esta sustancia como referencia ya que tiene la densidad más elevada de todas las disoluciones que puede haber en las cubas, provocando que salga un valor más crítico para la hora de hacer la simulación y estudiar los resultados).

$$d = \frac{m}{V}; m_{\text{HNO}_3} = V_{\text{HNO}_3} * d_{\text{HNO}_3} = 45 \text{ L} * 1,51 \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 67,95 \text{ kg}$$

$$F_{\text{HNO}_3} = m_{\text{HNO}_3} * a = 67,95 \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ = 665,91 \text{ N de la disolución de } \text{HNO}_3$$

A esta cantidad de disolución se le pueden añadir un volumen de 30 litros, ocupado por las piezas de acero a introducir en las cubas para pavonar. La densidad del acero es 7,85 kg/L.

$$m_{\text{acero}} = V_{\text{acero}} * d_{\text{acero}} = 30 \text{ L} * 7,85 \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 235,5 \text{ kg de acero}$$

$$F_{\text{acero}} = 235,5 \text{ kg} * 7,85 \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 2.307,9 \text{ N}$$

De donde la fuerza total que tienen que aguantar las cubas es:

$$F_{total} = F_{HNO_3} + F_{acero} = 665,91 + 2.307,9 = 2.973,81 \text{ N} \approx 3.000 \text{ N}$$

Se utiliza 3.000 N, para incrementar el valor crítico y, de esta forma, tener un margen de seguridad. En el programa de elementos finitos, se introduce la presión que ejerce esa fuerza de 3.000 N sobre cada cara de la cuba:

$$P_{cara \text{ inf}} = \frac{F_{total}}{S_{cara \text{ inf}}} = \frac{3.000 \text{ N}}{388 \text{ mm} * 493 \text{ mm}} \\ = 0,016 \text{ MPa cara inferior de la cuba}$$

$$P_{caras \text{ lat grand}} = \frac{F_{total}}{S_{caras \text{ lat grand}}} = \frac{3.000 \text{ N}}{394 \text{ mm} * 493 \text{ mm}} \\ = 0,015 \text{ MPa caras laterales grandes}$$

$$P_{caras \text{ lat peq}} = \frac{F_{total}}{S_{caras \text{ lat peq}}} = \frac{3.000 \text{ N}}{394 \text{ mm} * 388 \text{ mm}} \\ = 0,0196 \text{ MPa caras laterales pequeñas}$$

Estos valores están sobredimensionados, en especial, en las caras laterales para que la seguridad que aporten las cubas al proceso de pavonado sea considerable, de modo que cuando se produzca una acción fuera de lo normal como que cuando la cesta entre en la cuba se pueda producir un golpe o alguna de las piezas este mal colocada y apoye sobre alguna cara lateral, estas aguanten sin problema con las especificaciones.

Una forma más ajustada a la realidad de calcular el valor de la presión en las caras laterales sería con una distribución de presión variable en todas las caras, estando la mayor presión en el fondo de las caras laterales y siendo 0 la presión en el borde de las caras laterales. Sin embargo, en las simulaciones se sobredimensiona este valor y se pone constante por todas las caras, con el fin de que las cubas aguanten dichas cargas en la realidad, es decir, las simulaciones y los datos de los ensayos están sobredimensionados para que prime la seguridad y las cubas puedan aguantar cargas mayores de las que en la realidad va a soportar.

Para la simulación de la cuba se introducen elementos de malla curva con un tamaño medio de 0,080 y un total de 5 refinados, como ocurría en las simulaciones de la estructura.

Trazado de convergencia

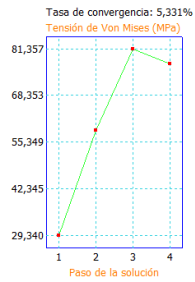


Figura 63. Tasa de convergencia de la simulación 1 de la cuba. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

Con estos parámetros introducidos, así como las características del material, las restricciones y las presiones correspondientes, se obtienen los siguientes resultados:

- Nº de nodos: 63.758
- Nº de elementos: 31.890
- Tensión de Von Mises máxima: 77,24 MPa
- Desplazamiento máximo en X: 22,83 mm
- Desplazamiento máximo en Y: 23,85 mm
- Desplazamiento máximo en Z: 63,62 mm

Tras hacer el ensayo y observar los resultados comprobamos que las cubas no van a aguantar con las especificaciones impuestas, ya que la tensión máxima de Von Mises es 77,24 MPa, más del doble que el límite elástico del polipropileno, que es 30,3 MPa. De todas formas las condiciones en las que se ha realizado la simulación no se ajustan del todo a la realidad pues lo que se quiere comprobar es si estas cubas por sí solas tienen las capacidades de soportar dichos esfuerzos; las vigas que faltarían por introducir son las ya mencionadas (donde descansa la parte inferior de las cubas y las que hacen el hueco donde se colocan las cubas).

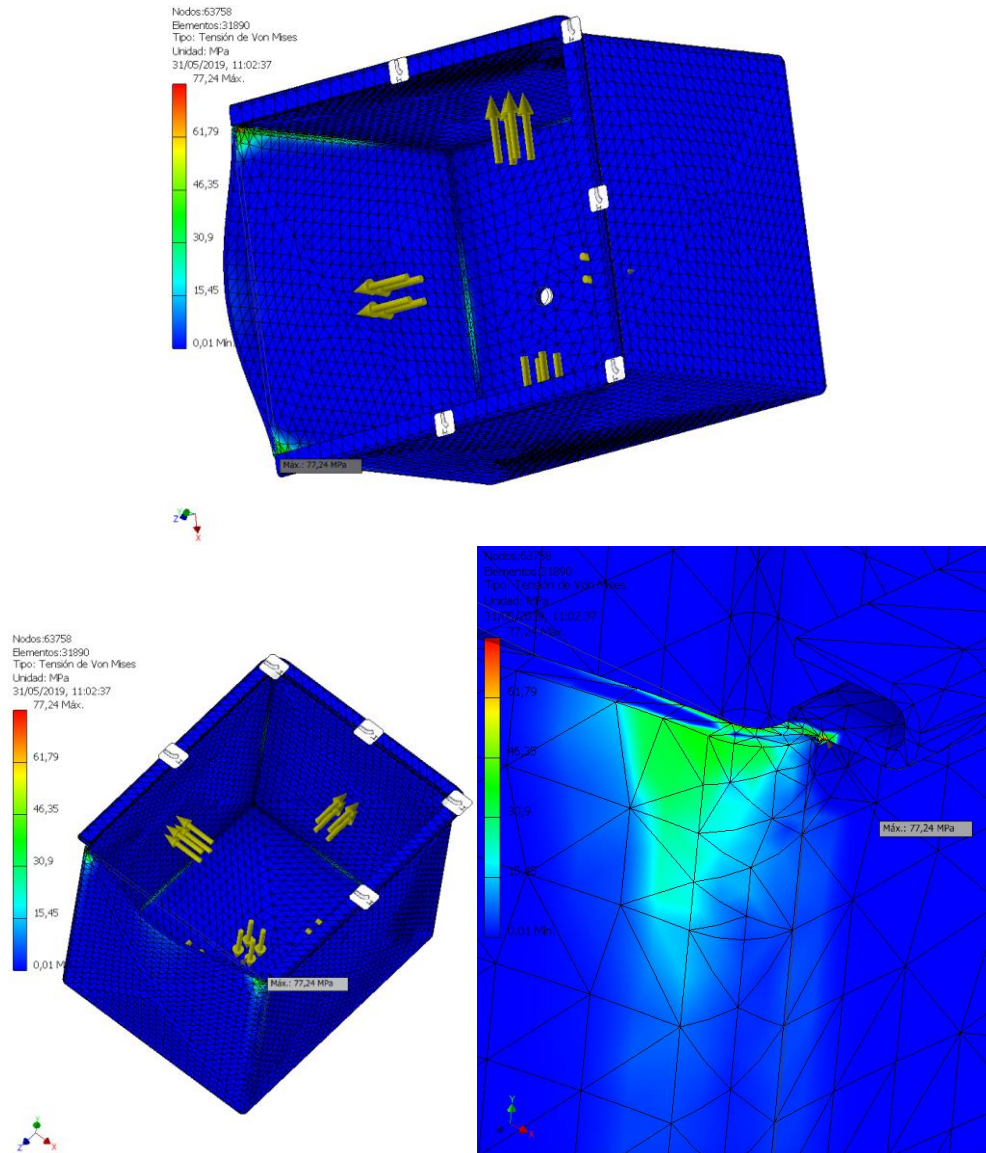


Figura 64. Tensión máxima de Von Mises en la simulación 1 de la cuba.
Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

Fruto de que la simulación la observamos sin los apoyos que en realidad tendrían las cubas podemos observar lo abombamientos que sufre el material de las cubas dado las presiones a las que se le somete. Estos desplazamientos son bastante considerados y a tener en cuenta pues son del orden de 20 mm en los ejes X e Y del espacio y del orden de 60 mm en el eje Z.

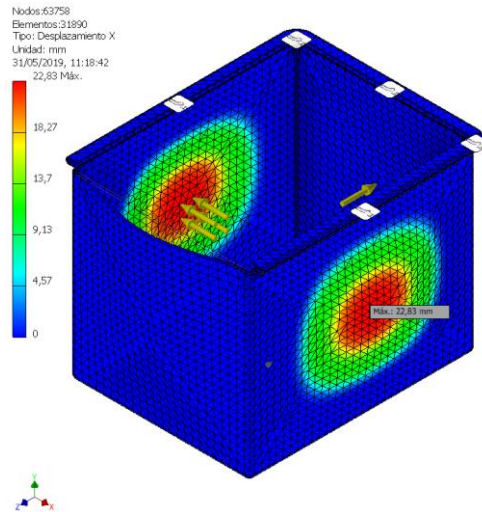


Figura 65. Desplazamiento máximo en X en la cuba en la simulación 1.
Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

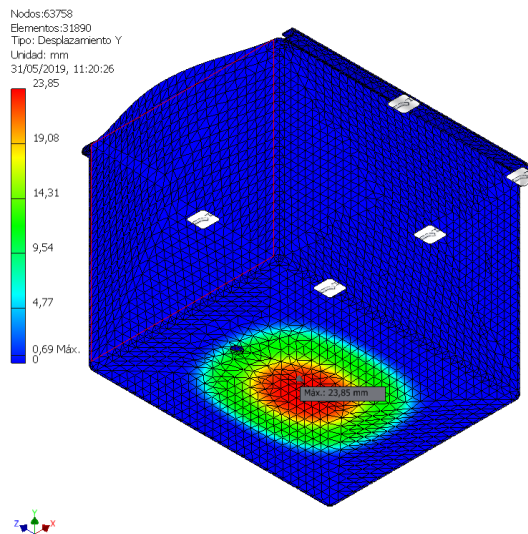


Figura 66. Desplazamiento máximo en Y en la cuba en la simulación 1.
Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

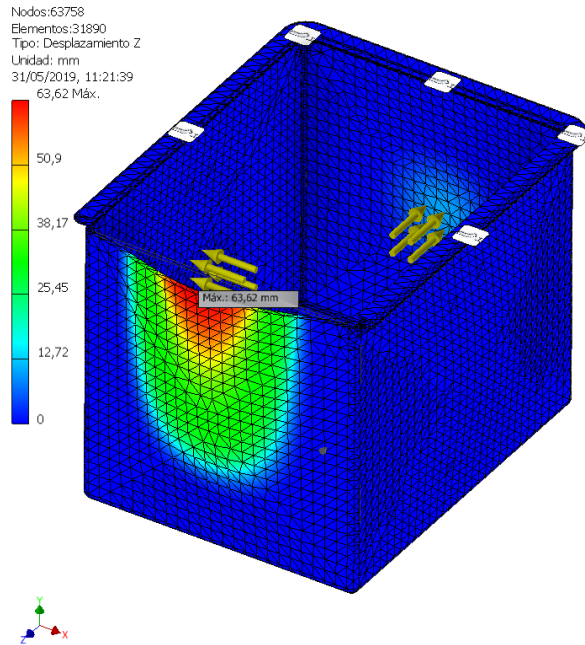


Figura 67. Desplazamiento máximo en Z en la cuba en la simulación 1.
Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

Por tanto este diseño de cuba en condiciones de trabajo como las dadas no va a cumplir con los esfuerzos requeridos y no es válida, teniendo que rediseñar el objeto introduciendo nervios o espesores más gruesos que cumplan con las especificaciones.

1.3.6.2.2. SIMULACIÓN 2 DE LA CUBA

Tras varias simulaciones y cambios en la cuba tratando de mejorar el diseño anterior, se le introdujeron nervios de refuerzo en todas las caras interiores de la cuba para mejorar la resistencia a la que se le somete. También, se introdujeron pequeñas mejoras a la cuba, como chaflanes de material en todas las esquinas que sufrían una tensión más elevada que la del resto de la cuba, y las esquinas de estos chaflanes, además, se redondeaban para que las esquinas no produjesen tensiones muy grandes.

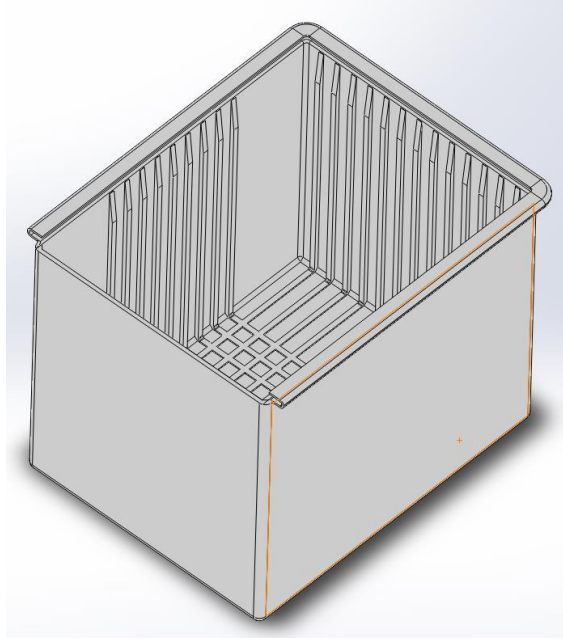


Figura 68. *Diseño de la cuba definitiva*. Elaboración propia “SolidWorks”.

Con estas mejoras llegamos al diseño definitivo de la cuba que cumple con las especificaciones, a parte, hay que tener en cuenta que las vigas que rodean a la cuba benefician para que no se produzcan tensiones como las del ensayo.

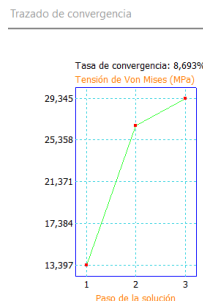
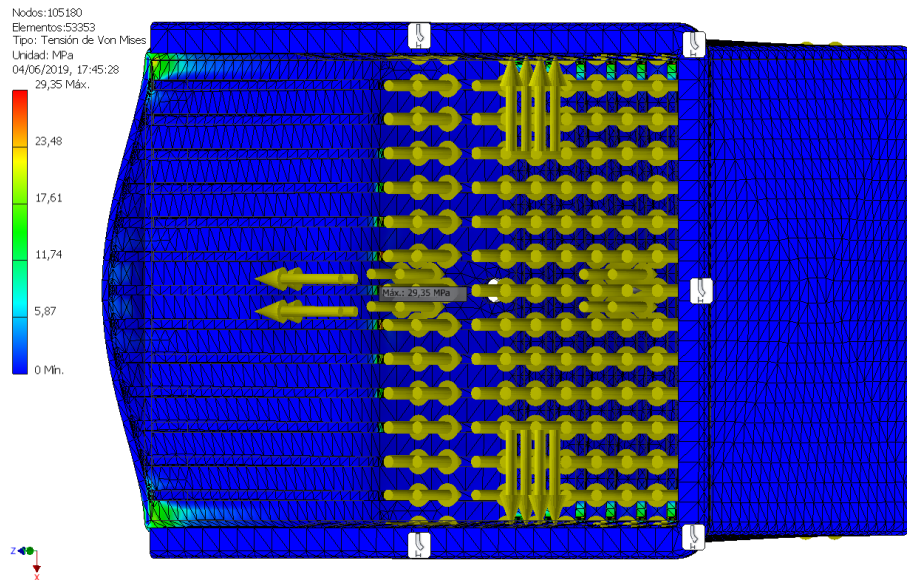
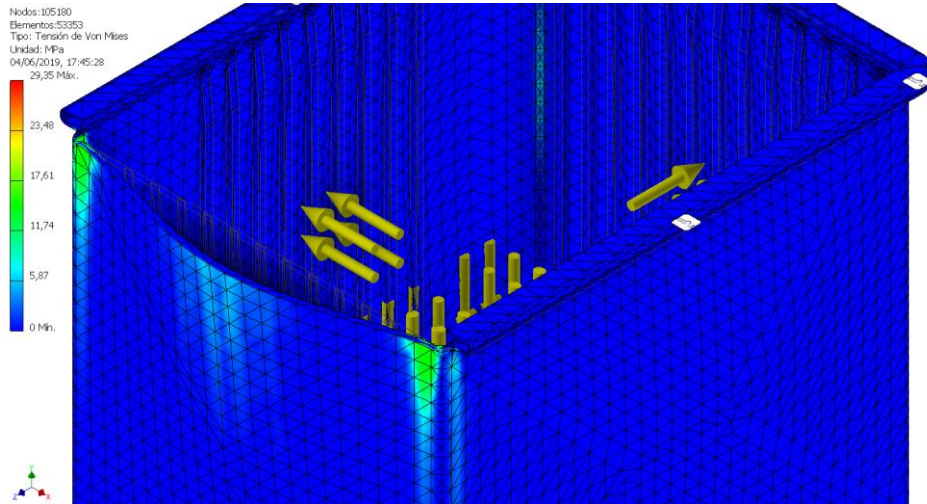


Figura 69. *Tasa de convergencia en la simulación 2 de la cuba*. Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

Introduciendo, como en la simulación anterior, las mismas características del material, así como iguales restricciones, y mismas presiones en las diferentes caras interiores de la cuba, se han obtenido los siguientes resultados:

- N° de nodos: 105.180
- N° de elementos: 53.353
- Tensión de Von Mises máxima: 29,35 MPa
- Desplazamiento máximo en X: 5,945 mm
- Desplazamiento máximo en Y: 11,04 mm
- Desplazamiento máximo en Z: 25,86 mm

Podemos comprobar que con las mejoras introducidas, la tensión máxima de Von Mises que se produce en la cuba por las presiones introducidas no llega al límite elástico del polipropileno (30,3 MPa), por lo que cumple con las especificaciones impuestas. La tensión máxima de Von Mises es 29,35 MPa y se encuentra en la unión entre los nervios de la cara de la base con los de la cara por donde se introduce la tapa.



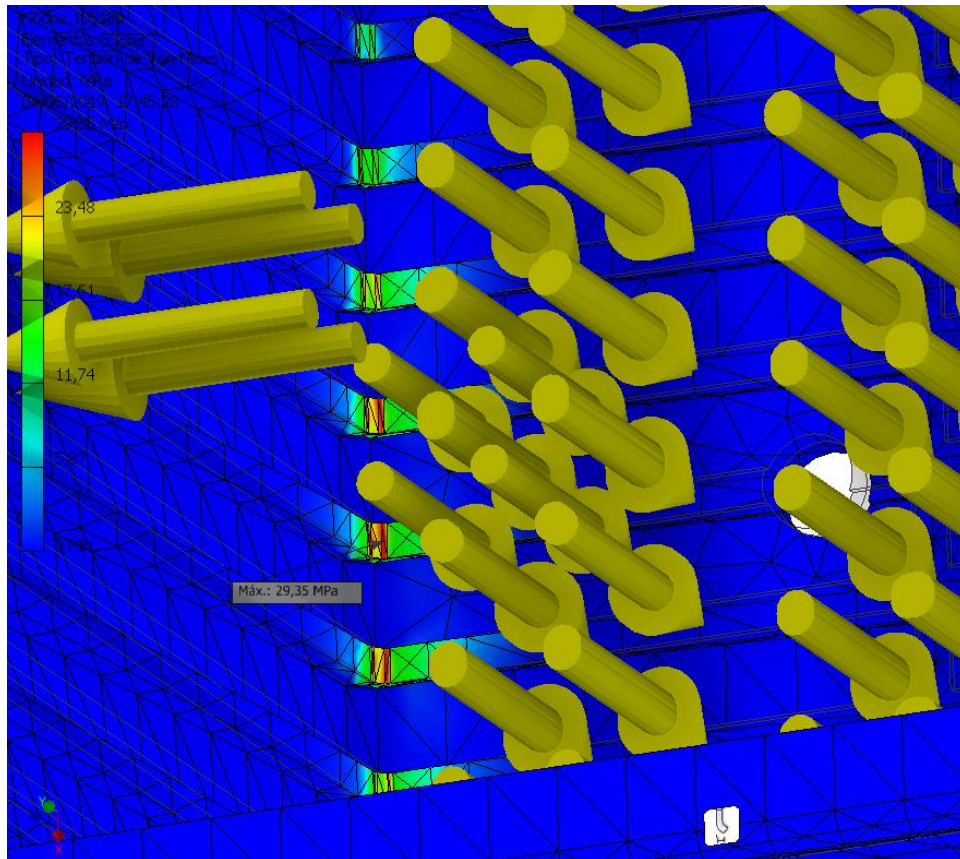


Figura 70. Tensión máxima de Von Mises en la simulación 2 de la cuba.
Elaboración propia "Autodesk Inventor".

Los desplazamientos en general, son muy inferiores que en la simulación 1, esto es consecuencia de que los nervios que se han añadido hacen una labor imprescindible para que la cuba soporte las especificaciones establecidas.

Además, hay que destacar que en la simulación no se tienen en cuenta las vigas que rodean a la cuba, ni la que hace de base en la cuba, de manera que los resultados en esta simulación son peores que si se hubiesen introducido. De esta manera, nos aseguramos que las cubas trabajarán bajo mejores circunstancias y darán buen rendimiento y fiabilidad.

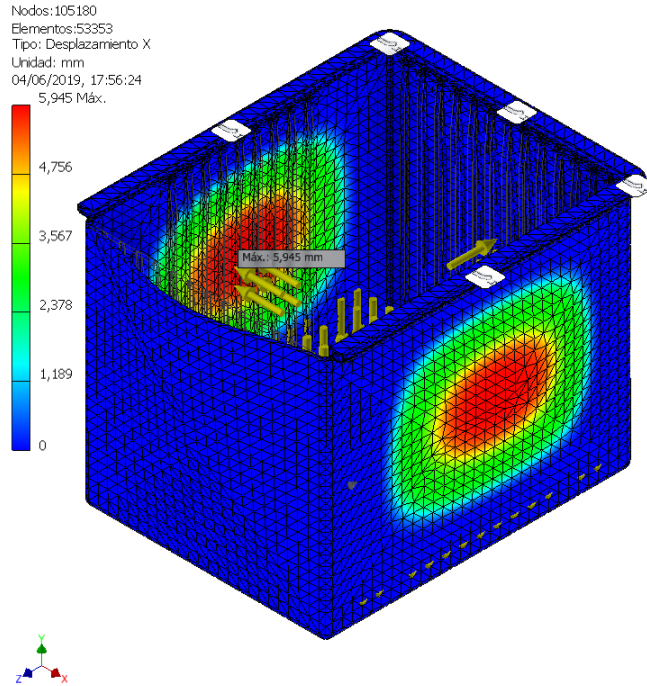


Figura 71. Desplazamiento máximo en X en la cuba en la simulación 2.
Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

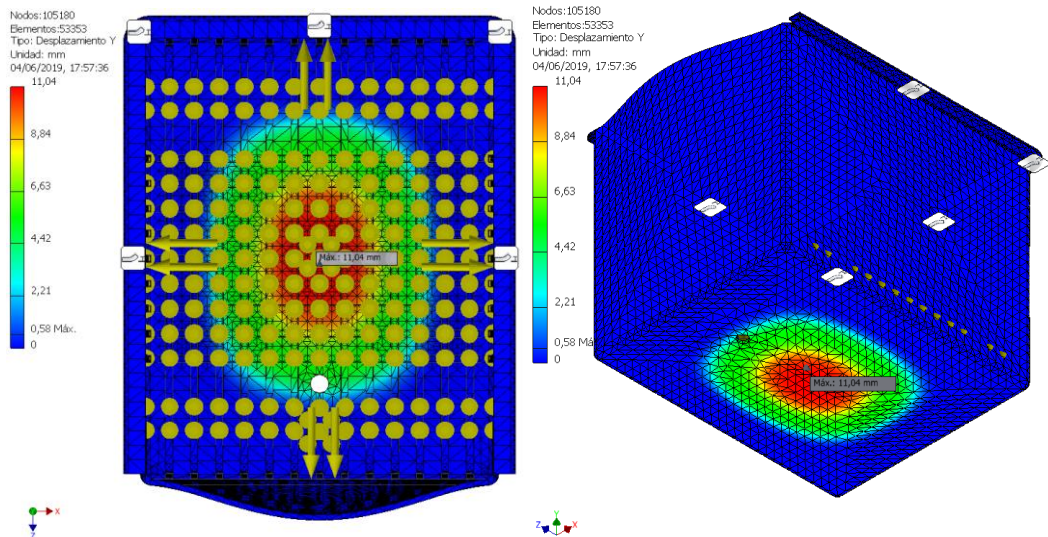


Figura 72. Desplazamiento máximo en Y en la cuba en la simulación 2.
Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

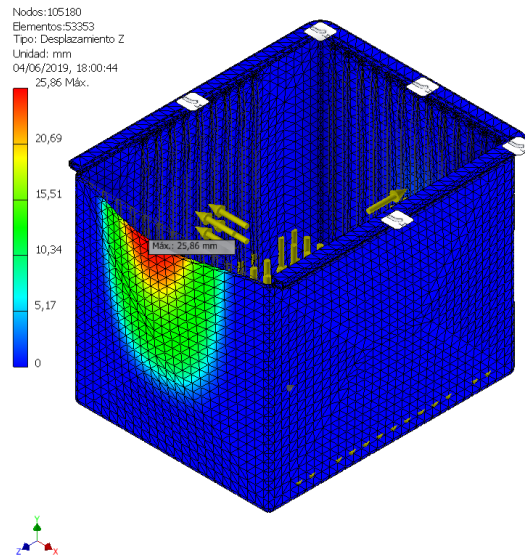


Figura 73. Desplazamiento máximo en Z en la cuba en la simulación 2.
Elaboración propia “Autodesk Inventor”.

2. PLANOS

1. Conjunto Línea de Pavonado 1 sin revestimiento

1. Conjunto de Línea de Pavonado 1 con revestimiento

1.1. Bastidor “sin revestimiento”

1.1. Bastidor “con revestimiento”

1.2. Cuba

1.3. Tapa de la cuba

1.4. Cesta

1.4.1. Asa de la cesta

1.4.2. Estructura de la cesta

1.4.3. Soporte medio de la cesta

1.5. Pieza de revestimiento

2. Conjunto Línea de Pavonado 2

2.1. Valla protectora

2.1.1. Estructura de la valla protectora

2.2. Cuadro eléctrico de mando

3. PLIEGO DE CONDICIONES

3.1. DISPOSICIONES GENERALES

3.1.1. OBJETO DEL PLIEGO

En el pliego de condiciones lo que se indica son los objetivos generales que se exigen al contratista, para que lleve a cabo de forma correcta el proyecto “Diseño de una línea de pavonado en frío de piezas metálicas”. Para el buen transcurrir del proyecto se explican las condiciones técnicas, facultativas, económicas y legales, teniendo unas obligaciones concretas los participantes del proyecto en el proceso de ejecución.

Por consiguiente, este documento no recoge todos los detalles constructivos del proyecto, siendo responsabilidad del contratista que dichos detalles estén normalizados y cumplan las últimas normas técnicas.

3.1.2. DOCUMENTACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto consta de los siguientes documentos: memoria, anejos a la memoria, planos, pliego de condiciones, presupuesto y anexos.

Los documentos contractuales, que se encuentran en el contrato y son de debido cumplimiento, excepto que se autorice lo contrario, son todos los mencionados anteriormente excepto la memoria y los anexos en los cuales se describe informativamente el proyecto.

El contratista no podrá modificar ningún documento ni condición especificada en el contrato con base en los documentos contractuales y será el máximo responsable de los errores derivados de la falta de información de los documentos descriptivos del proyecto (memoria y anexos).

3.2. CONDICIONES TÉCNICAS

Para efectuar correctamente el proyecto, la empresa deberá de proveer al contratista toda la información necesaria y requerida, así como la información estructural de los elementos analizados.

El contratista deberá redactar a medida que se desarrolle el proyecto una serie de informes y un informe final que deberá documentar con resultados, pasos seguidos y fallos, en caso de que los hubiera, y reportar a la empresa.

Si el contratista tuviese que subcontratar parte de la realización del proyecto, deberá notificar que este subcontratamiento está cualificado para realizar dicha parte y deberá solicitar la aceptación de la empresa.

3.2.1. DOCUMENTOS SOPORTE

En este apartado se especifica los documentos que se deben entregar al finalizar el proyecto, los cuales se entregarán encuadernados todos conjuntamente.

- Índice. Transmite la subdivisión en la que se han dividido los diferentes apartados del proyecto, así como donde se encuentran. Representa el esquema seguido en el proyecto.
- Memoria. En este documento se explica y describe todo el proceso de pavonado, el estudio de la técnica, el proceso metodológico seguido en la línea de pavonado y se explica, también, cómo funciona esta y la solución final adoptada.
- Anejos a la memoria. Donde se documenta las comprobaciones mecánicas de los diferentes componentes en su evolución en el proyecto y se verifica que cumplen con las especificaciones. También, se describe el puesto de trabajo y la ergonomía de la línea de pavonado.
- Planos. Documentan de manera geométrica y gráficamente todos los componentes fabricados en este proyecto, una vez han sido validados con las comprobaciones mecánicas.
- Pliego de condiciones. Este documento regula las normas de comportamiento para la realización, desde el punto de vista técnico, facultativo, económico y legal entre los agentes del proyecto que intervienen en la ejecución del mismo.
- Presupuesto. Nos indica de forma aproximada el coste final del proyecto. Es un apartado orientativo.

3.3. CONDICIONES FACULTATIVAS

La dirección de fabricación será llevada a cabo por un ingeniero seleccionado previamente, el cual tiene obligación junto con el contratista de realizar el proyecto correctamente y en los tiempos estipulados.

El contratista será el responsable de seleccionar al equipo de fabricación, incluyendo al jefe de fabricación. El contratista deberá de proveer de toda la información que tenga en su mano al ingeniero encargado de la dirección de fabricación, así como de si sucediera alguna incidencia, tal podría ser atrasos en el cumplimiento del proyecto, siendo la dirección los últimos en tomar medida alguna.

3.3.1. JEFE DE FABRICACIÓN

El jefe de fabricación, el cual es elegido por el contratista, es el principal representante del contratista en todo el proceso de fabricación del proyecto, teniendo como responsabilidad la correcta realización del proyecto siguiendo

en todo momento las pautas y tiempos estipulados por la dirección del proyecto.

El jefe de fabricación tiene la obligación de acatar y hacer cumplir con las normas que dicten la dirección facultativa, así como de avisar en caso de cualquier incidente que ocurra.

Si el contratista tuviera que cambiar de jefe de fabricación por el tema que sea, este deberá de comunicarlo a la dirección facultativa y estos serán los que tomen la decisión última.

3.3.2. OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA

El contratista es el máximo responsable de la fabricación si no se cumpliera con alguna especificación tratada en el pliego de condiciones, siendo el segundo máximo responsable el jefe de fabricación.

El contratista es el encargado de disponer de cualquier certificado necesario de maquinaria, de calidad de los materiales y equipo usado en la fabricación. Deberá comunicar cualquier incidencia que se produzca en la fabricación.

El contratista, obligatoriamente, deberá ir a todas las reuniones que se produzcan con la dirección facultativa, en caso de que este no pudiese ir tendría que justificarlo y enviar a un representante por él, siendo este el jefe de fabricación principalmente.

3.3.3. PLAZOS Y COMIENZOS DE LA FABRICACIÓN

El día de comienzo y los plazos estipulados para la fabricación del proyecto vendrán definidos en el contrato documento que tendrá que acatar y no podrá modificar el contratista, siendo este el máximo responsable que que estos plazos se cumplan y comunicando si hubiese alguna modificación.

El jefe de fabricación o en su caso el contratista podrán pedir nuevos plazos de fabricación o una fecha de inicio nueva a la dirección facultativa con motivos debidamente justificados, posteriormente, habrá una reunión de la dirección facultativa que evaluarán las causas y tomarán decisiones.

3.3.4. FALLOS DE FABRICACIÓN O MONTAJE

Si se detectasen fallos o defectos de montaje o fabricación el contratista deberá de informar instantáneamente, y se deberá volver a realizar el montaje en caso de que fuera necesario.

Si dichos defectos son responsabilidad del contratista o de su equipo de fabricación, el contratista deberá de correr con los gastos.

3.3.5. GARANTÍA

La línea de pavonado tendrá una garantía de cinco años desde el momento que se entregue al cliente. Durante este tiempo, cualquier fallo del tipo que

sea será arreglado o en su caso reemplazado sin ningún tipo de coste para el cliente.

3.4. CONDICIONES ECONÓMICAS

3.4.1. GARANTÍAS

Antes de la fecha de firma del contrato el contratista deberá entregar las referencias bancarias de los trabajadores u otras entidades, además la empresa podrá pedir estas referencias en cualquier momento para comprobar que el contratista cumple con los objetivos del contrato.

3.4.2. GASTOS E IMPUESTOS

Cualquier gasto o impuesto de la disposición del estado, municipio o provincia que derive del contrato firmado hasta la fecha correrá a cargo del contratista, excepto si se trata del IVA.

Las partes no podrán recurrir ninguna modificación tributaria que afecte a dicho contrato y no podrá ser causa de revisión de precios.

3.4.3. PRECIOS CONTRADICTORIOS

Si fuera necesario cambiar el precio estipulado para el proyecto por la razón que se diese, se procedería de la siguiente forma: primero el adjudicatario presentaría un escrito con su firma, en el cual comunicase el nuevo precio que bajo su punto de vista sería el ideal, posteriormente la dirección facultativa estudiaría si es viable o no el nuevo precio.

Si se da el caso de que ambas consideraciones coinciden por ambas partes se reflejará en un acta el nuevo precio contradictorio.

Si por el contrario ambas partes no llegan a un acuerdo, se propondrá a la propiedad que adopte la medida que esta crea conveniente, pudiendo ser que se apruebe el precio que demanda el adjudicatario o derivar la ejecución del proyecto a otro adjudicatario.

Para fijar el precio contradictorio se deberá proceder una vez se vaya a fabricar una nueva unidad, ya que si se hubiese empezado a construir una unidad, el adjudicatario, obligatoriamente, tendría que hacer frente con el precio estipulado de partida hasta concluir con la construcción de dicha línea de pavonado.

3.4.4. RECLAMACIÓN POR AUMENTO DE PRECIO

El contratista, una vez haya firmado el contrato de ejecución del proyecto con un precio ya definido, no podrá reclamar bajo ninguna circunstancia de error o de omisión de datos el precio fijado para la ejecución del proyecto.

Los errores en los precios de materiales o errores aritméticos en las unidades del importe se podrán modificar en cualquier momento y no serán objeto de rescisión del contrato firmado.

3.4.5. REVISIÓN DE PRECIOS

En el momento de firmar el contrato, los precios de mano de obra, materiales y cargas sociales pueden variar debido a las épocas anormales del año, en las cuales estos precios varían al alza o a la baja en un 5%, pudiéndose hacer una revisión de estos precios solicitada por cualquiera de las partes, y se actuará en consecuencia en los precios en las tareas que resten para completar la unidad del proyecto. El contratista podrá solicitar al propietario la revisión de los precios al alza en cuanto se produzca una variación de estos en el mercado.

3.4.6. EQUIVOCACIONES DEL PRESUPUESTO

Tras la firma del contrato del contratista, este debiera haber estudiado y leído con detenimiento todos los documentos del proyecto, en especial el presupuesto, ya que una vez firmado el contrato no habrá cambio posible en cuanto a errores o defectos a unidades y precios. Sin embargo, si el número de unidades o, en su caso, el precio, ambos se descontarán del presupuesto final.

3.4.7. PAGOS

El propietario deberá efectuar los pagos en los plazos establecidos y su importe corresponderá al de las certificaciones expedidas por el Ingeniero Director.

3.4.8. SUSPENSIÓN POR RETRASO DE PAGOS

El contratista, aunque los pagos se pudieran hacer con algún retraso, no podrá en ninguna situación parar los trabajos o trabajar a ritmo más lento para no establecer con los tiempos predeterminados en el proyecto.

3.4.9. INDEMNIZACIÓN POR EL RETRASO DE LOS TRABAJOS

La indemnización que deberá abonar el contratista por no cumplir con los tiempos establecidos para llevar a cabo correctamente el proyecto serán igual a la suma de los perjuicios de todo tipo que se pudieran dar en esta circunstancia.

3.4.10. MEJORAS DE FABRICACIÓN

Sólo se admitirán aquellas en la que la compañía contratadora haya ejecutado mediante un escrito a la dirección facultativa, con mejoras en los trabajos y calidad de los ya existentes, en los materiales y aparatos previstos en el contrato. De ningún modo se admitirán aumentos en las unidades previstas a fabricar, a menos de un error en las mediciones del presupuesto

o, en caso, de que el contratista justifique mediante un informe el aumento de las unidades demandas.

3.5. CONDICIONES LEGALES

3.5.1. MARCO JURÍDICO

La ejecución de todo el proyecto tendrá que estar vinculado a las leyes y normas vigentes del estado, por lo que la empresa ejecutora del proyecto deberá acatar dichas leyes y seguir con el plan establecido en el contrato, donde los documentos estipulan las condiciones de trabajo y se adaptan a las normas establecidas en la ley.

3.5.2. RÉGIMEN DE INTERVENCIÓN

Si el contratista resulta que no sigue con las instrucciones del contrato o no hace caso de las órdenes que le da la empresa, esta le avisará para que, en un máximo de 10 días desde dicha notificación, excepto en caso de urgencia, el contratista deba encaminar el proyecto cómo se estipula en el contrato o bien seguir las órdenes de la empresa.

Si pasado este tiempo, el contratista no ha resuelto las medidas dadas, la empresa podrá establecer un régimen de intervención parcial o total en contra del contratista.

Tras esto, la empresa intervendrá junto al contratista que deberá de enseñar e informar de la fabricación ejecutada, material gastado y material que haya inventariado, el cual se quedará la empresa y que no servirá al contratista para seguir con el trabajo.

La empresa ordenará un nuevo concurso donde se evaluarán las ofertas de petición para adjudicar un nuevo contratista, pues el contratista incumplidor deberá ejercitar el derecho de rescisión de contrato si es que la intervención de la empresa es total.

Durante el período que abarca el régimen de intervención, el contratista incumplidor podrá tener información de cómo prosiguen los trabajos de fabricación, sin poder en ningún caso entorpecer o dificultar las órdenes expuestas por la empresa.

Sin embargo, durante este periodo, el contratista puede volver a su puesto original justificando el mal hacer de sus tareas y reivindicando que llevará a buen fin y cumpliendo con lo establecido la marcha del proyecto.

Si debido a la intervención o de hacerse un nuevo contrato, hubiera un excedente de gasto, este deberá ser pedido al contratista incumplidor, sin que pueda disponer de ninguno derecho para intentar no pagarlo.

Por el contrario, si con dicha intervención o si se hubiera firmado un nuevo contrato y se hubiese producido una bajada en los costes, este beneficio iría destinado íntegramente para la empresa, sin que el contratista pudiese beneficiarse en ningún caso.

3.5.3. ACCIDENTES DE TRABAJO Y DAÑOS A TERCEROS

El contratista es el máximo responsable de que se cumplan todas las normas de seguridad en el trabajo de fabricación, siendo el que debe proveer a los trabajadores de los equipos de seguridad necesarios y debe vigilar que los trabajadores cumplen, obligatoriamente, con las medidas de seguridad expuestas. La propiedad no tendrá ninguna responsabilidad en caso de incumplimiento de las leyes de seguridad laboral o en su caso de si se produjera un accidente, en cuyos casos el máximo responsable sería el contratista.

3.5.4. RESPONSABILIDAD CIVIL

El contratista estará obligado a cubrir su responsabilidad civil para que, en el caso de que algún trabajador o subcontrata incumplan, este cubierto.

El contratista deberá tomar las medidas oportunas para no exponer a sus trabajadores o a terceras personas a cualquier tipo de accidente ni a exponer la salud de aquellos, siendo el máximo responsable en caso de accidente.

Si se produjera un accidente, la indemnización correría a cargo del contratista, dejando sin responsabilidad ninguna a la propiedad y a la dirección facultativa.

3.5.5. PERMISOS Y CERTIFICADOS

El contratista es el encargado de pedir permisos o certificados, los cuales serán pagados por la propiedad. También es el máximo responsable de que se cumplan todas las leyes vigentes de seguridad estatal, municipal o local.

3.5.6. RESCISIÓN DEL CONTRATO

El contrato quedará inhabilitado si se cumple cualquiera de las circunstancias siguientes:

- Comenzar el trabajo en una fecha de inicio no estipulada.
- Demorarse con los plazos de entrega.
- Incumplimiento de órdenes o acciones firmadas en el contrato por parte del contratista.
- Fallos en los materiales por negligencia del contratista
- Modificaciones en los precios del contrato mayores al 7%.

3.5.7. DISPOSICIONES LEGALES

NORMATIVA DE ÍNDOLE GENERAL PARA LA INDUSTRIA

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Ley 54/2003, de 12 de noviembre, de reforma del marco normativo de la Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 171/2004, de 30 de enero, por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales.
- Directiva 89/391/CEE, relativa a la aplicación de las medidas para promover la mejora en la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo.
- Ley 50/1998, de 30 de diciembre, de Medidas Fiscales, Administrativas y del Orden Social, que modifica la Ley 31/1995 en sus artículos 47, 48 y 49.
- Real Decreto Legislativo 5/2000, de 4 de agosto, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley sobre Infracciones y Sanciones en el Orden Social.
- Convenio 155 de la OIT sobre seguridad y salud de los trabajadores, de 22 de junio de 1981.
- Real Decreto 707/2002, de 19 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre el procedimiento administrativo especial de actuación de la Inspección de Trabajo y Seguridad Social y para la imposición de las medidas correctoras de incumplimientos en materia de prevención de riesgos laborales en el ámbito de la Administración General del Estado.
- Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria.
- Real Decreto 825/1993, de 28 de mayo, que determina Medidas Laborales y de Seguridad Social específicas a las que se refiere el artículo 6 de la Ley 21/1992.
- Orden de 29 de julio de 1993, que desarrolla el Real Decreto 825/1993.
- Real Decreto 697/1995, de 28 de abril, que desarrolla el Reglamento de Registro de Establecimientos Industriales de la Ley 21/1992.
- Real Decreto 2526/1998, de 27 de noviembre, que modifica el artículo 17.1 del anexo al Real Decreto 697/1995.
- Real Decreto A1823/1998, de 28 de agosto, sobre Composición y Funcionamiento de la Comisión para la Competitividad industrial, desarrollando la Ley 21/1992.

3.6. ESTUDIO DE SEGURIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE

3.6.1. INTRODUCCIÓN

Según la Constitución Española, los poderes públicos tienen el deber de velar por la seguridad e higiene en el trabajo. Bajo este mandato aparece la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL), modificada por la Ley 54/2003 del 12 de diciembre. La Ley de Riesgos Laborales se clasifica en:

- Plan de Prevención de Riesgos Laborales.
- Derecho a la Protección frente a los riesgos laborales.
- Planificación de la actividad preventiva.
- Riesgo grave para la salud.
- Evaluación de Riesgos.
- Modalidades de los Servicios de Prevención.

En el ámbito de trabajo, cualquier daño laboral estará condicionado por el riesgo asociado, pudiendo producir desde accidentes laborales, enfermedades derivadas del trabajo, hasta síntomas como estrés, fatiga, estados depresivos, etc.

Toda empresa deberá gestionar un método de Prevención de Riesgos Laborales, implementando y aplicando un plan de prevención de riesgos, donde se debe incluir:

- Determinar una metodología de organización preventiva.
- Nombramiento del personal encargado de la prevención de riesgos laborales.
- Simulación, procedimientos y procesos.
- Cualquier recurso necesario para implantar las acciones.

Los dos objetivos primordiales para la implantación de un plan de riesgos laborales son: la evaluación de los riesgos laborales y la planificación de la actividad preventiva.

Para el diseño y fabricación de un proyecto de maquinaria hay que tener en cuenta que se debe establecer un nivel de riesgo razonable en el puesto de trabajo, así como una serie de normas de seguridad en dicho puesto para provocar que el puesto de trabajo sea seguro y la máquina a realizar tenga suficiente fiabilidad. Además, deberemos documentar en un AMFE las posibles situaciones de peligro, como su resolución para evitar cualquier riesgo, también, sería conveniente delimitar en el AMFE las partes peligrosas de la máquina para tenerlas controladas y evitar accidentes.

3.6.2. TIPOS DE PELIGROS QUE INTERVIENEN EN LA FABRICACIÓN Y MONTAJE DE LA LÍNEA DE PAVONADO

3.6.2.1. PELIGRO MECÁNICO

Conjunto de condiciones que pueden provocar un riesgo debido a la acción de las máquinas empleadas, piezas o materiales a utilizar, pudiendo provocar cortes, atrapamientos, impactos, aplastamientos, cizallamientos, etc.



Figura 74. Algunas señales para peligros mecánicos.

<https://www.seton.es/senalizacion-vertical/paneles-pictogramas-peligro/paneles-pictogramas-peligro-asociado-maquinas>

3.6.2.2. PELIGRO ELÉCTRICO

Este riesgo puede provocar descargas eléctricas que pueden variar de quemaduras hasta la muerte.



Figura 75. Algunas señales para peligros eléctricos.

<https://www.seton.es/senalizacion-vertical/paneles-pictogramas-peligro/paneles-pictogramas-peligro-electrico>

3.6.2.3. PELIGRO TÉRMICO

Este tipo de peligro puede variar entre provocar lesiones como quemaduras, hasta malestar físico (estrés, fatiga, etc) en los trabajadores debido a que los factores climáticos no se adecuan a la normativa.



Figura 76. Ejemplo de señal para peligro térmico.

<https://www.seton.es/senalizacion-vertical/paneles-pictogramas-peligro/paneles-pictogramas-peligro-termico>

3.6.2.4. PELIGRO PRODUCIDO POR RUIDOS O VIBRACIONES

El ruido o vibraciones que provocan las máquinas que se utilizan para fabricar o montar la línea de pavonado pueden repercutir en una sordera o en enfermedades neurológicas.



Figura 77. Algunas señales para peligros por ruido o vibraciones.
<https://www.seton.es/senalizacion-vertical/paneles-pictogramas-peligro/paneles-pictogramas-senalizacion-peligro>

3.6.2.5. PELIGROS PRODUCIDOS POR LOS MATERIALES EMPLEADOS

El problema que existe con los materiales utilizados o que se pueden desprender de los procesos de fabricación o montaje de la línea de pavonado es que pueden ser sustancias nocivas para la salud, teniendo carácter corrosivo, tóxico y/o irritante, pueden ser inflamatorios pudiendo causar fuego o explosión.



Figura 78. Algunas señales para peligros por materiales empleados.
<https://www.seton.es/senalizacion-vertical/paneles-pictogramas-peligro/paneles-pictogramas-peligro-atmosfera-medioambiente>

3.6.2.6. OTROS PELIGROS

En las instalaciones donde se va a proceder a fabricar y montar las líneas de pavonado se pueden dar otro tipo de riesgos, no menos importantes que los anteriores:

- Caídas de objetos o cargas suspendidas.
- Caídas de los trabajadores en el mismo nivel o a distinto nivel.
- Golpes y/o cortes contra objetos o herramientas.
- Atropellos por vehículos industriales.
- Mal manejo de cargas con posturas no recomendables.



Figura 79. Algunas señales para peligros por caídas y en obras o almacenes.

<https://www.seton.es/senalizacion-vertical/paneles-pictogramas-peligro/paneles-pictogramas-peligro-almacen-obras>

3.6.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE LOS PELIGROS

Las medidas de seguridad obligatorias intentan reducir o eliminar en el máximo porcentaje posible que si se produce un accidente cause el menor peligro posible, además se intenta limitar la exposición de los peligros a los trabajadores.

3.6.3.1. MEDIDAS PREVENTIVAS DE LOS TRABAJADORES

La empresa tiene la obligación de sustentar a sus trabajadores con los equipos de protección individual (EPIS) que se estimen oportunos para la fabricación y montaje de la línea de pavonado, evitando así o minimizando cualquier tipo de riesgo.

Los EPIS obligatorios durante la jornada de trabajo serán los siguientes, sin distinción para cualquier trabajador u persona que esté en las inmediaciones. El no cumplimiento supondrá sanciones económicas para el trabajador o en su caso el despido automático.

- Botas de seguridad.
- Guantes de seguridad.
- Buzo de trabajo.
- Gafas de seguridad.
- Casco de protección (optativo).
- Auriculares de seguridad (optativo).
- Arnés de seguridad (cuando sea oportuno).
- Mascarilla protectora de vías respiratorias (cuando sea oportuno).
- Máscara de protección facial (cuando sea oportuno).



Figura 80. Algunas señales de los EPI. <https://www.seton.es/senalizacion-vertical/paneles-pictogramas-peligro/paneles-pictogramas-uso-epi-obligatorio>

3.6.3.2. MEDIDAS PREVENTIVAS DE LAS MÁQUINAS USADAS PARA LA FABRICACIÓN Y MONTAJE DE LA LÍNEA DE PAVONADO

Todas las máquinas deberán llevar las siguientes informaciones, de tal forma que se entienda y lea claramente:

3.6.3.2.1. DISPOSITIVOS DE INFORMACIÓN

Toda máquina vendrá con información sobre su correcto funcionamiento, siendo este claramente entendible y sin ningún tipo de ambigüedad que pueda llevar a confusión al operario. NO tendrá que tener mucha carga escrita para no ser una sobrecarga para quién necesita información.

Si la máquina pudiese funcionar automáticamente sin la necesidad de un operario, por la salud de este la máquina vendrá provista de una alarma luminosa que indique que está trabajando. Esta estará dispuesta de forma que se vea fácilmente en el cuadro de mando y junto a un botón de parada de emergencia.

3.6.3.2.2. DISPOSITIVOS DE ADVERTENCIA

Todas las máquinas dispondrán de dispositivos visuales que indiquen y señalicen el estado de la máquina sin ningún tipo de ambigüedad para evitar confusiones.

El operario tendrá que mantener la máquina a punto, revisando periódicamente que estos dispositivos actúan correctamente.

Se aplicarán las prescripciones de las normas específicas que apliquen las Directivas comunitarias sobre colores y señales de seguridad.

3.6.3.2.3. MARCADO CE

Procedimiento por el cual el fabricante asegura a los clientes que el producto comercializado exige con las normas de seguridad y de salud.

El marcado CE se materializa con el símbolo “CE” más una información adicional. Las letras del símbolo CE se realizan según el dibujo adjunto y deben tener una dimensión vertical no inferior a 5 mm.

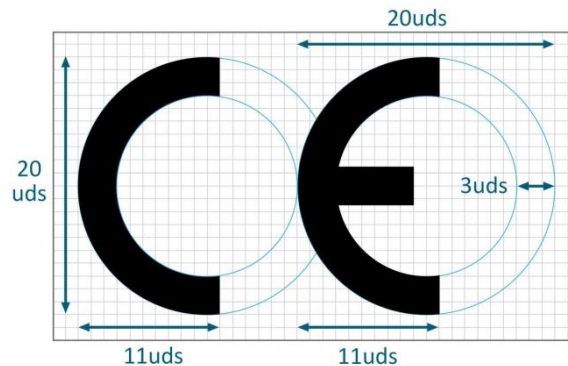


Figura 81. *Marcado CE*. <https://www.marcado-ce.com/acerca-del-marcado-ce/que-es-marcado-ce.html>

A parte del símbolo “CE”, este viene acompañado por una serie de informaciones adicionales que vienen determinadas por las normas armonizadas y guías DITE para cada familia de productos, entre las que se incluyen:

- Número de identificación del organismo notificado.
- Nombre o marca distintiva del fabricante.
- Dirección del fabricante.
- Nombre o marca distintiva de la fábrica.
- Las dos últimas cifras del año en el que se ha estampado el marcado CE en el producto.
- Número del certificado CE de conformidad.
- El número de la norma armonizada y en caso de verse afectada por varias los números de todas ellas la designación del producto, su uso previsto y su designación normalizada e información adicional que permita identificar las características del producto atendiendo a sus especificaciones técnicas.

		Marcado de conformidad CE que consiste en el símbolo "CE" establecido en la Directiva 93/68/CEE	
IRPEN S.A.U. Gran Vía de les Corts Catalanes, 814 08013 Barcelona (Spain)		Nombre o marca comercial del fabricante o distribuidor	
14		Los dos últimos dígitos del año en que se fijó el marcado	
CPR-P03-LTR-01-1409		Número del certificado de conformidad CE	
EN 1013:2013		Número de la norma europea y el año de publicación	
Placas de plástico perfiladas translúcidas, que se utilizan como una única capa o se montan para formar una construcción de varias capas, para: - Colocación discontinua de cubiertas en edificios. - Paredes y techos internos y externos			
Rovilux RO-02 estándar			
Placas de Poliéster (GRP)			
Resistencia Impacto Cuerpo Duro Pequeño		No Aplicable	
Resistencia Impacto Cuerpo Blando Grande (montaje)		Conforme	
Comportamiento al Fuego Exterior		PND	
Reacción al Fuego		B tolt (t1)	
Permeabilidad al Vapor de Agua		F (NP)	
Permeabilidad al Agua / Aire		1,5 x 10 ⁻⁵ (mg/m ² h.Pa)	
Tolerancias Dimensionales		Conforme	
Durabilidad (tras envejecimiento), como:			
- Variación Índice Amarilleamiento		Conforme	
- Variación Transmisión de luz		PND	
Emisión de sustancias peligrosas		PND	
		Descripción del producto y uso previsto.	
		Información sobre características esenciales.	

Figura 82. Ejemplo de marcado CE.

<https://irpen.wordpress.com/2014/10/28/informacion-sobre-el-marcado-ce/>

El fabricante debe salvaguardar que esta información del marcado CE se localice por orden de preferencia:

- En el producto.
- En una etiqueta adherido al producto.
- En su envase o embalaje.
- En la documentación que acompaña al producto.

3.6.3.2.4. MANUAL DE INSTRUCCIONES

Cada máquina deberá ir provista de un manual de instrucciones en el que se indiquen:

- Las recomendaciones provistas por el marcado CE, además de los recordatorios para realizar los mantenimientos de la máquina, siendo conveniente que figuren datos como las direcciones del importador o la de los reparadores, etc.
- Las condiciones habituales de uso de la máquina.
- Los puestos de trabajo que pudieran ocupar los operarios.
- Todo tipo de instrucción para que los operarios utilicen sin ningún tipo de duda ni riesgo dicha máquina.
- La puesta en servicio.
- La manutención de la máquina con su indicación de masa y los diversos elementos que la componen.
- La forma de transportar dicha máquina.
- La instalación, el montaje, el desmontaje y el reglaje.

El manual de instrucciones deberá estar redactado en la lengua oficial y en una lengua comunitaria, debiendo incluir los planos del conjunto y de cada elemento que compone la máquina, para poner en servicio, conservar, inspeccionar, reparar y comprobar el buen funcionamiento de la máquina, salvaguardando la seguridad de los operarios que trabajen con ella.

3.6.3.3. REQUISITOS DE SALUD Y SEGURIDAD QUE DEBE CUMPLIR LA FABRICACIÓN Y MONTAJE DE LA LÍNEA DE PAVONADO

La línea de pavonado debe de ser analizada para evaluar los riesgos que puede desencadenar en su fabricación y montaje, y proceder a evitarlos en su etapa de diseño y fabricación teniendo en cuenta el análisis efectuado.

3.6.3.3.1. PRINCIPIOS DE LA INTEGRACIÓN DE LA SEGURIDAD

Los operarios no deben de correr ningún riesgo a la hora de fabricar, montar, utilizar o mantener la línea de pavonado o alguno de sus componentes, para ello hay que seguir las indicaciones de seguridad previstas por el fabricante. Para ello hay que seguir estas pautas:

- Integrar la seguridad en la etapa de diseño y fabricación evitando los posibles riesgos.
- Adoptar las medidas de seguridad oportunas para aquellos riesgos que no se puedan eliminar por completo.
- Informar en todo momento de los posibles fallos potenciales que no han sido capaces de eliminar. Proceder a dar formación específica para estos casos, asegurando la salud del trabajador con cualquier protección individual que se requiera.
- El fabricante tendrá en cuenta que en las etapas de diseño y fabricación los operarios pueden tener problemas con sus equipos de protección individuales, debiendo cambiar estos por otros en caso de molestias con el calzado, etc.

3.6.3.3.2. MATERIALES Y PRODUCTOS USADOS EN LA FABRICACIÓN

Todos los materiales, sustancias o productos usados en la fabricación, o cualquier producto creado en esta etapa, no originará daño alguno a los operarios que trabajen con ello.

3.6.3.3.3. DISEÑO DE LA MÁQUINA CON OBJETIVOS PARA SU MANIPULACIÓN EN EL MONTAJE

Para el montaje de la línea de pavonado se darán las correspondientes y oportunas instrucciones para que este se efectúe con fiabilidad y sin generar ningún tipo de riesgo.

- Todos los elementos se podrán manipular con seguridad.
- Cuando el peso, tamaño o forma de cualquier parte o elemento de la línea de pavonado no se puedan hacer manualmente, estos deberán

ser trasladados mediante manipulación aérea o bien irán provistos de algún mecanismo para poder ser transportados mediante medios de elevación.

3.6.3.3.4. ROTURAS EN SERVICIO

Todas las partes de la línea de pavonado están estudiadas para que puedan resistir los esfuerzos habituales y especificados en los documentos cumpliendo con un factor de seguridad, en caso de que las condiciones puedan ser extremas. Por tanto la línea de pavonado debe funcionar bajo las exigencias requeridas a lo largo de su vida útil.

El fabricante indicará en las instrucciones la frecuencia y el tipo de mantenimiento necesario para que la máquina funcione con seguridad y fiabilidad durante su vida útil. Además indicará los elementos potencialmente desgastables y su forma de cambiarles.

3.6.3.3.5. ARISTAS CORTANTES

No habrá ninguna arista cortante que pueda producir un corte o una herida.

3.6.3.3.6. DECLARACIÓN “CE” DE CONFORMIDAD

La firma de la declaración “CE” de conformidad permite al fabricante colocar en cualquier sitio de los establecidos en la máquina el marcado “CE”. Pero antes de poder poseer la declaración “CE” de conformidad el fabricante debe asegurarse que la siguiente información va a estar disponible en las respectivos controles que puedan surgir:

- Plano conjunto de la máquina.
- Planos detallados y completos, con sus correspondientes cálculos, pruebas, simulaciones, etc., que permitan asegurar que la máquina cumple con los requisitos de seguridad y salud.

El fabricante se asegurará en última instancia, con una inspección general que las líneas de pavonado cumplen con los requisitos y especificaciones establecidas.

3.6.3.3.7. EXAME “CE” DE TIPO

El examen “CE” de tipo es el procedimiento por el cual un organismo de control comprueba y certifica que la máquina en cuestión cumple con los requerimientos del Real Decreto 56/1995.

El fabricante deberá presentar una solicitud de examen “CE” de tipo ante un único organismo de control para el modelo de máquina, debiendo presentar el nombre y dirección del fabricante, el lugar de fabricación de la máquina y el expediente técnico de fabricación de la máquina.

El organismo de control procederá al examen “CE” de tipo según las siguientes normas:

- Comprobar que dicho modelo de máquina está fabricado según el expediente técnico presentado por el fabricante y que cumplirá con seguridad las especificaciones impuestas por el fabricante.
- Comprobar que las normas han sido utilizadas correctamente.
- Efectuar las simulaciones y ensayos pertinentes para asegurar el buen funcionamiento de los requisitos de la máquina.

Cuando el modelo analizado cumpla con estas normas, el organismo de control elaborará un certificado “CE” de tipo y se lo comunicará al solicitante. Este certificado recopilará todas las conclusiones del examen. El fabricante deberá informar al organismo de control de la más mínima modificación que se haga en el modelo de la máquina.

3.7. ESTUDIO DE CALIDAD EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE

El control de la calidad contribuye a conocer si los productos acabados cumplen con las especificaciones que se delimitaron en la fase de diseño, de esta forma se verifica que los productos van a prestar las características y propiedades que se transmiten al cliente durante toda su vida útil de una manera fiable manteniendo una buena relación entre prestaciones y coste.

Durante la etapa de control es necesario encontrar errores para tratar de evitarlos o corregirlos de raíz, esto se consigue teniendo control no solo al finalizar el producto sino en las etapas iniciales e intermedias del proceso de diseño, fabricación y montaje.

3.7.1. CONTROL DE CALIDAD DE LA DOCUMENTACIÓN DE FABRICACIÓN

Este apartado se materializa con una memoria que debe contener:

- Los planos del taller.
- Los planos de cada componente de la línea de pavonado con todos los detalles constructivos e información necesaria para su fabricación.
- Un plan de control donde se inspeccionen parte de las etapas de fabricación o todas aquellas que el fabricante dicte necesarias. Se especificarán el tipo de inspección que es (visual, mecánica, etc), la decisión que se debe de tomar, los medios con los que se debe hacer, etc.

3.7.2. CONTROL DE CALIDAD DE LA FABRICACIÓN

- Comprobar la conformidad del producto terminado con respecto a las especificaciones de diseño iniciales.

- Identificar las causas de la posible variabilidad entre modelos del mismo producto, para mejorar los métodos de corrección y prevención de los posibles fallos en las etapas y con ello lograr que todos los productos terminados cumplan con las mismas especificaciones.

3.7.3. CONTROL DE CALIDAD DE LA DOCUMENTACIÓN DE MONTAJE

- Planos de montaje que indiquen el movimiento de los elementos de la línea de pavonado durante el montaje, los medios de los que se provee para estos movimientos y toda la información necesaria para el manejo de cada componente.
- Un plan de inspección que indique los procedimientos de control interno del montaje.

3.8. ESTUDIO DE SEGURIDAD EN EL PUESTO DE TRABAJO DE LA LÍNEA DE PAVONADO

3.8.1. INTRODUCCIÓN

Según la Constitución Española, los poderes públicos tienen el deber de velar por la seguridad e higiene en el trabajo. Bajo este mandato aparece la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL), modificada por la Ley 54/2003 del 12 de diciembre. La Ley de Riesgos Laborales se clasifica en:

- Plan de Prevención de Riesgos Laborales.
- Derecho a la Protección frente a los riesgos laborales.
- Planificación de la actividad preventiva.
- Riesgo grave para la salud.
- Evaluación de Riesgos.
- Modalidades de los Servicios de Prevención.

En el ámbito de trabajo, cualquier daño laboral estará condicionado por el riesgo asociado, pudiendo producir desde accidentes laborales, enfermedades derivadas del trabajo, hasta síntomas como estrés, fatiga, estados depresivos, etc.

Toda empresa deberá gestionar un método de Prevención de Riesgos Laborales, implementando y aplicando un plan de prevención de riesgos, donde se debe incluir:

- Determinar una metodología de organización preventiva.
- Nombramiento del personal encargado de la prevención de riesgos laborales.
- Simulación, procedimientos y procesos.
- Cualquier recurso necesario para implantar las acciones.

Los dos objetivos primordiales para la implantación de un plan de riesgos laborales son: la evaluación de los riesgos laborales y la planificación de la actividad preventiva.

El puesto de trabajo de la línea de pavonado tendrá una serie de normas de seguridad con el fin de que sea seguro para el operario que se encuentre en este puesto. Además, deberemos documentar en un AMFE las posibles situaciones de peligro, como su resolución para evitar cualquier riesgo, también, sería conveniente delimitar en el AMFE las partes peligrosas de la máquina para tenerlas controladas y evitar accidentes.

3.8.2. TIPOS DE PELIGRO QUE INTERVIENEN EN EL PUESTO DE TRABAJO DE LA LÍNEA DE PAVONADO

Los peligros que pueden intervenir en el puesto de trabajo de las líneas de pavonado son los siguientes:

- Peligro mecánico, ya que si no se siguen las normas de seguridad propuestas puede haber atrapamientos, aplastamientos, impactos, etcétera por la acción del polipasto.
- Peligros producidos por los materiales empleados en las cubas, ya que el contacto con alguno de los líquidos empleados en las cubas puede ser nocivo para la salud del trabajador, pudiendo tener carácter corrosivo, pudiendo provocar quemaduras o siendo irritante o tóxico para el ser humano.
- También podrían afectar peligros como caídas de objetos o cargas suspendidas, caídas de los trabajadores en el mismo nivel o manejo de cargas con posturas no recomendables.

3.8.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE LOS PELIGROS

3.8.3.1. MEDIDAS PREVENTIVAS DE LOS TRABAJADORES

La empresa, donde se encuentre montada la línea de pavonado, tiene la obligación de sustentar a los trabajadores de este puesto de trabajo con los equipos de protección individual (EPIS) que se indicarán a continuación, siendo su uso obligatorio para todo trabajador o personal ajeno que se encuentre o pase por este puesto de trabajo.

- Botas de seguridad.
- Buzo de trabajo.
- Guantes de seguridad anti corrosivos que lleguen hasta el antebrazo.
- Máscara de protección facial.



Figura 83. Algunas señales de los EPI. <https://www.seton.es/senalizacion-vertical/paneles-pictogramas-peligro/paneles-pictogramas-uso-epi-obligatorio>

3.8.3.2. MEDIDAS PREVENTIVAS DE LAS LÍNEAS DE PAVONADO

Todas las líneas de pavonado deberán llevar las siguientes informaciones (explicadas en el apartado 3.6.3.2.), de tal forma que se entienda y lea claramente:

- Dispositivos de información acerca de la línea de pavonado.
- Dispositivos de advertencia.
- Marcado CE de la línea de pavonado.
- Manual de instrucciones de la línea de pavonado.
- Se incluirá un perímetro de seguridad alrededor de cada línea de pavonado marcado con cinta, para que durante este en funcionamiento la línea de pavonado no se pueda estar en este espacio, a no ser de que el operario este acreditado para ello

4. PRESUPUESTO INDUSTRIAL

El estudio del análisis económico de este proyecto se basa en una producción anual de 500 líneas de pavonado 1 “con revestimiento”.

Aunque dependiendo de lo que el cliente necesite o el presupuesto que se pueda gastar, también se le ofrece el presupuesto de la línea de pavonado 1 “sin revestimiento” o la línea de pavonado 2.

4.1. COSTE DE MATERIALES

Para presupuestar el coste de los materiales separamos, por un lado, la materia en bruto y, por otro lado, los productos que se compran a terceros.

La cantidad de acero que se pretende comprar para la producción anual de 500 líneas de pavonado se presupuesta según la siguiente información, obtenida por “CYPE Ingenieros S.A.”, en la cual se calcula el precio del acero dependiendo de una serie de características, como tipo de pieza, de perfil, serie, acabado, unión y altura de colocación, de las cuales va a depender el resultado del precio. Se estudia el precio de la viga HEB160 y el precio del resto de estructura y se determina que el precio más alto es el que va a constar para hacer el presupuesto, dicho precio es 1,64 €/kg.

Revisión Independiente ✓

Tipo de piezas

Simples
 Compuestas

Tipo de perfil

Perfiles laminados en caliente
 Perfiles huecos acabados en caliente




Tipo de acero

S275JR
 S355JR

S275J0
 S355J0

S275J2
 S355J2

Colocación en obra

Simplemente apoyado
 Con uniones soldadas en obra
 Con uniones atornilladas en obra

Series

IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN
 L, LD, T, redondo, cuadrado, rectangular o pletina



Acabado

Con imprimación antioxidante
 Galvanizado en caliente



Altura de colocación (m)

Hasta 3 Más de 3

Figura 84. Características para el cálculo del precio del acero S275JR para la viga HEB160.

http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=0|0|0|EAV010|ea_pieza_vigas%20viga_eav:_1_0_0_0_0_0_0_1_1

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1 Materiales					
m07alad10dab	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	1,000	0,96	0,96
				Subtotal materiales:	0,96
2 Equipo y maquinaria					
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,018	3,19	0,06
				Subtotal equipo y maquinaria:	0,06
3 Mano de obra					
mo047	h	Oficial 1º montador de estructura metálica.	0,019	19,37	0,37
mo094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,011	18,29	0,20
				Subtotal mano de obra:	0,57
4 Costes directos complementarios					
Coste de mantenimiento decenal: 0,05€ en los primeros 10 años.			2,000	1,59	0,03
				Costes directos (1+2+3+4):	1,62
Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada			Aplicabilidad ₁	Obligatoriedad ₂	Sistema ₃
UNE-EN 10025-1:2006 Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Parte 1. Condiciones generales de suministro.			1.9.2005	1.9.2006	2+

Figura 85. Cálculo del precio del acero S275JR para la viga HEB160.

http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=0|0|0|EAV010|ea_pieza_vigas%20viga_eav:_1_0_0_0_0_0_0_1_1

Figura 86. Características para el cálculo del precio del acero S275JR para la estructura de la línea de pavonado.

http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=0|0|0|EAV010|ea_pieza_vigas%20viga_eav:_1_0_0_0_0_0_0_1_1

Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe	
1 Materiales						
mm07aia005b	kg	Acero UNE-EN 10210-1 S275J0H, en perfiles huecos acabados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series redondo, cuadrado o rectangular, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	1,000	1,02	1,02	
				Subtotal materiales:	1,02	
2 Equipo y maquinaria						
mq08sol020	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,018	3,19	0,06	
				Subtotal equipo y maquinaria:	0,06	
3 Mano de obra						
m0047	h	Oficial 1º montador de estructura metálica.	0,018	19,37	0,35	
m0094	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,010	18,29	0,18	
				Subtotal mano de obra:	0,53	
4 Costes directos complementarios						
				2,000	1,61	0,03
Coste de mantenimiento decenal: 0,05€ en los primeros 10 años.				Costes directos (1+2+3+4): 1,64		
Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada			Aplicabilidad _y	Obligatoriedad _y	Sistema _y	
UNE-EN 10210-1:2007 Perfiles huecos para construcción acabados en caliente, de acero no aleado de grano fino. Parte 1. Condiciones técnicas de suministro.			1.2.2007	1.2.2008	2+	

Figura 87. Cálculo del precio del acero S275JR para la estructura de la línea de pavonado.

http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=0|0|0|EAV010|ea_pieza_vigas%20viga_eav:_1_0_0_0_0_0_0_1_1

MATERIALES PREFABRICADOS				
Referencia	Proveedor	nº unidades/máquina	Importe	
			€/pieza	€/lote
Polipasto de cadena eléctrico	Vicinay Cemvisa	1	350	175.000
Pata regulable en altura	Bosch Rexroth Assembly Technologies	9	1,7	76.500
Rodillo transportador de gravedad	Interroll	18	15	135.000
Arandela ISO 7089-8-200 HV	Würth	36	0,08	1.440
Perno de cabeza hexagonal DIN EN 28765-M8x1x50	Würth	36	0,9	16.200
Grifo	DVGW	7	9	31.500
Perno de cabeza hexagonal DIN EN 24017-M6x1x16	Würth	9	0,65	2.925
Arandela ISO 7089-6-200 HV	Würth	9	0,06	270
Total				438.835

Tabla 05. Coste de los materiales pedidos a terceros para la línea de pavonado 1 con revestimiento. Elaboración propia "Excel".

MATERIALES A FABRICAR								
Referencia	Proveedor	Peso (kg)			Bruto	Precio	Importe	
		Neto		€ /kg			€/unidad	€/lote
		Unidad	Nº unidades/máquina					
Acero-Bastidor	CYPE Ingenieros, S.A.	681,6	681,6	783,84	1,64	1.285,50	642.748,80	
Polipropileno (PP)	Hebei Yuanmingzhengyue	8,22	57,54	66,17	0,83	7,85	27.460,97	
Acero-Planchas	incafe	9,8	9,8	11,27	146,36	1.649,48	824.738,60	
Acero-Cesta	CYPE Ingenieros, S.A.	2,62	10,48	12,05	1,64	4,94	9.882,64	
Total							1.504.831,01	

Tabla 06. Coste de los materiales fabricados por la propia empresa para la línea de pavonado 1 con revestimiento. Elaboración propia “Excel”.

Por tanto, resulta un coste total de materiales de 1.943.666,01 € para la producción anual de 500 líneas de pavonado, haciendo un total de 3.887,332 € por unidad de costo o línea de pavonado.

4.2. MANO DE OBRA DIRECTA

En lo relativo a la mano de obra directa (operarios con responsabilidad directa sobre un puesto de trabajo durante el proceso de fabricación), se debe fijar los días y horas de trabajo efectivas que estos efectuarán.

Para ello, la máquina se fabricará y montará en una empresa perteneciente al territorio de la Comunidad de Castilla y León.

Según el convenio colectivo del sector del metal de la provincia de Valladolid se establece una jornada laboral de 1.774 horas anuales.

Se establece que los días de trabajo son 365 días anuales (siendo año no bisiesto). A esta cifra se le descuenta los días de vacaciones, los fines de semana y los días festivos. A partir de estos datos, se calculará la jornada efectiva dividiendo el número de horas anuales estipuladas en el convenio entre los días reales trabajados.

DÍAS TRABAJADOS	
DN: DÍAS NATURALES	365
D: DEDUCCIONES	138
DÍAS FESTIVOS	14
SÁBADOS	52
DOMINGOS	52
VACACIONES	20
DR: DÍAS REALES (DR = DN - D)	227
Horas anuales	1744
JD Jornada efectiva	7,682819

Tabla 07. Datos de los días trabajados por el personal. Elaboración propia “Excel”.

Con lo que nos queda una jornada laboral de 7,68 horas al día.

Por otro lado, se establece la remuneración para cada trabajador según su cualificación.

TABLA SALARIAL						
Concepto	Oficial 1ª	Oficial 2ª	Oficial 3ª	Especialista	Peón	Aprendiz
Salario base/día	26,68€	25,40€	24,71€	24,43€	24,43€	16,32€
Plus/día	18,44€	17,21€	17,16€	16,99€	16,94€	7,01€
Salario/día	45,12€	42,61€	41,87€	41,42€	41,37€	23,33€
Remuneración anual	19.687,81€	18.691,43€	18.307,96€	18.094,35€	18.070,52€	11.272,04€
Salario/hora	11,06€	10,50€	10,28€	10,16€	10,15€	6,33€

Tabla 08. Salarios del personal. Elaboración propia “Excel”.

4.3. COSTE DEL PUESTO DE TRABAJO

En el coste del puesto de trabajo se hace referencia al precio de los equipos necesarios para la fabricación y producción de las líneas de pavonado, así como sus gastos asociados (intereses, amortizaciones, mantenimiento y energía consumida). Calculándose como:

$$C.P.T. = \text{Interés} + \text{Amortización} + \text{Mantenimiento} + \text{Energía consumida}$$

El precio de la inyectora y del centro de mecanizado (fresadora) se pone ya que está pensado que dichas máquinas sean de segunda o, incluso, tercera mano, debido a que el uso que se va a dar a estas máquinas va a ser muy reducido a lo largo del año, por lo que dichas máquinas se podrían usar para la demanda de piezas de terceros (otra opción que se baraja es que las cubas se mandasen a fabricar al exterior).

Máquina	Precio de adquisición C (€)	Amortización (p años)	Funcionamiento Hf (h/año)	Costo del puesto de fabricación (€/h)						Total horario f (€)	Total anual (€)
				Vida prevista Ht (h)	Interés de la inversión horario lh (€)	Amortización horario Ah (€)	Mantenimiento horario Mh (€)	Energía consumida horaria Eh (€)			
Sierra de corte alternativa	1.500	150	1.816	18.160	0,008	0,006	0,033	0,778	0,825	11.058,076	
Máquina de soldadura MIG	5.000	500	1.816	18.160	0,028	0,006	0,110	1,090	1,233	16.521,634	
Inyectora	22.000	2.200	1.816	18.160	0,121	0,006	0,485	1,246	1,857	24.879,302	
Fresadora	5.000	500	1.816	18.160	0,028	0,006	0,110	0,467	0,610	8.176,892	
Plegadora	1.095	110	1.816	18.160	0,006	0,006	0,024	0,467	0,503	6.736,296	
Robot de pintura	15.000	1.500	1.816	18.160	0,083	0,006	0,330	0,358	0,777	10.405,670	

Tabla 09. Coste de los puestos de fabricación. Elaboración propia “Excel”.

Siendo la relación entre los puestos de trabajo y los operarios que las manejan, la siguiente:

Puesto de fabricación	MOD											
	Denominación	Kw	Rango del operario				Salario/hora	N.º de operarios	Tiempo de trabajo (h/día)	Días trabajados / año	Coste de procesado / día	Coste de procesado / año
			1a	2a	3a	Esp						
Sierra de corte alternativa	5			x		10,28€	1	7,682819	227	78,98	17.928,32	
Máquina de soldadura MIG	7	x				11,06€	1	7,682819	227	84,97	19.288,64	
Inyectora	8		x			10,50€	1	7,682819	227	80,67	18.312,00	
Fresadora	3	x				11,06€	1	7,682819	227	84,97	19.288,64	
Plegadora	3			x		10,28€	1	7,682819	227	78,98	17.928,32	
Robot de pintura	2						0					

Tabla 10. Coste del procesado según la cualificación de los trabajadores. Elaboración propia “Excel”.

4.4. COSTE TOTAL

En este apartado, se calcula el precio de venta del producto, para lo cual se tendrán en cuenta los siguientes conceptos:

- El coste total de la materia prima, tanto la obtenida a través de terceros como la fabricada por la empresa
- El coste de mano de obra directa e indirecta, siendo esta última un 22% de la primera.
- Coste de fabricación, que es el total del coste de todos los puestos de fabricación.
- Cargas Sociales. Porcentaje aplicado sobre la remuneración de la MOD y MOI, y que representan el conjunto de aportaciones de la empresa a diversos departamentos y organismos oficiales. En este caso, se supone un 40%.
- Gastos generales: costo total necesario para el funcionamiento de la empresa (excluyendo los ya calculados). Se aplicará un 45% de la MOD.
- El coste total en fábrica es la suma de los anteriores.
- Al coste total en fábrica se le suma un beneficio industrial, en este caso, un 18% del coste en fábrica.
- Para comercializar el producto se le añade un 21% de IVA.

4.4.1. COSTE TOTAL DE LA LÍNEA DE PAVONADO 1 “CON REVESTIMIENTO”

Coste total			
Coste materia prima		1.943.666,01 €	
Coste MOD		92.745,92 €	
Coste MOI	22% coste MOD	20.404,10 €	22%
Coste de fabricación		77.777,87 €	
Cargas Sociales	40% mano de obra	45.260,01 €	40%
Gastos Generales	45% coste MOD	41.735,66 €	45%
Coste total en fábrica		2.221.589,57 €	
Beneficio Industrial	18% coste total en fábrica	399.886,12 €	18%
Precio de venta en fábrica		2.621.475,69 €	
IVA	21% precio venta en fábrica	550.509,90 €	21%
Precio total		3.171.985,59 €	
Precio total unitario	500 Líneas de pavonado	6.343,97 €	500

Tabla 11. Presupuesto industrial total de la línea de pavonado 1 con revestimiento. Elaboración propia “Excel”.

Con lo que el precio de una línea de pavonado 1 “con revestimiento” asciende a un total de 6.343,97 €.

4.4.2. COSTE TOTAL DE LA LÍNEA DE PAVONADO 1 “SIN REVESTIMIENTO”

Si el cliente pidiese una línea de pavonado 1 “sin revestimiento”, obviamente, el precio sería menor ya que en la materia prima habría que quitar las planchas de acero para hacer el revestimiento de la línea de pavonado y los tornillos y las arandelas de métrica 6, quedando un total de 4.349,81 €.

MATERIALES PREFABRICADOS				
Referencia	Proveedor	nº unidades/máquina	Importe	
			€/pieza	€/lote
Polipasto de cadena eléctrico	Vicinay Cemvisa	1	350	175.000
Pata regulable en altura	Bosch Rexroth Assembly Technologies	9	17	76.500
Rodillo transportador de gravedad	Interroll	18	15	135.000
Arandela ISO 7089-8-200 HV	Würth	36	0,08	1.440
Perno de cabeza hexagonal DIN EN 28765-M8x1x50	Würth	36	0,9	16.200
Grifo	DVGW	7	9	31.500
Total				435.640

Tabla 12. Coste de los materiales pedidos a terceros para la línea de pavonado 1 sin revestimiento. Elaboración propia “Excel”.

MATERIALES A FABRICAR							
Referencia	Proveedor	Peso (kg)			Precio	Importe	
		Neto		Bruto		€/kg	€/unidad
		Unidad	Nº unidades/máquina				
Acero-Bastidor	CYPE Ingenieros, S.A.	681,6	681,6	783,84	1,64	1.285,50	642.748,80
Polipropileno (PP)	Hebei Yuanmingzhengyue	8,22	57,54	66,171	0,83	7,85	27.460,97
Acero-Planchas	incafe	0,22	1,54	1,771	146,36	259,20	129.601,78
Acero-Cesta	CYPE Ingenieros, S.A.	2,62	10,48	12,052	1,64	4,94	9.882,64
Total							809.694,19

Tabla 13. Coste de los materiales fabricados por la propia empresa para la línea de pavonado 1 sin revestimiento. Elaboración propia “Excel”.

Coste total			
Coste materia prima		1.245.334,19 €	
Coste MOD		92.745,92 €	
Coste MOI	22% coste MOD	20.404,10 €	22%
Coste de fabricación		77.777,87 €	
Cargas Sociales	40% mano de obra	45.260,01 €	40%
Gastos Generales	45% coste MOD	41.735,66 €	45%
Coste total en fábrica		1.523.257,75 €	
Beneficio Industrial	18% coste total en fábrica	274.186,40 €	18%
Precio de venta en fábrica		1.797.444,15 €	
IVA	21% precio venta en fábrica	377.463,27 €	21%
Precio total		2.174.907,42 €	
Precio total unitario	500 Líneas de pavonado	4.349,81 €	500

Tabla 14. Presupuesto industrial total de la línea de pavonado 1 sin revestimiento. Elaboración propia “Excel”.

4.4.3. COSTE TOTAL DE LA LÍNEA DE PAVONADO 2

Por otra parte, si el cliente decidiera encargar una línea de pavonado 2, el coste sería mayor que el de los modelos anteriores, ya que habría que añadir

costes de materiales a los iniciales de la línea de pavonado 1 con revestimiento, ascendiendo hasta los 8.327,80 €.

MATERIALES PREFABRICADOS				
Referencia	Proveedor	nº unidades/máquina	Importe	
			€/pieza	€/lote
Polipasto de cadena eléctrico	Vicinay Cemvisa	1	350	175.000
Pata regulable en altura	Bosch Rexroth Assembly Technologies	13	17	110.500
Rodillo transportador de gravedad	Interroll	18	15	135.000
Arandela ISO 7089-8-200 HV	Würth	36	0,08	1.440
Perno de cabeza hexagonal DIN EN 28765-M8x1x50	Würth	36	0,9	16.200
Grifo	DVGW	7	9	31.500
Perno de cabeza hexagonal DIN EN 24017-M6x1x16	Würth	9	0,65	2.925
Arandela ISO 7089-6-200 HV	Würth	9	0,06	270
Sensor fotoeléctrico de barrera, unidireccional	Pepperl+Fuchs	4	48,21	96.420
Sensor de presión	MagDeal	7	29,99	104.965
Rueda para transporte industrial	Alex	8	18	72.000
Perno de cabeza hexagonal DIN EN 24017-M8x1x16	Würth	32	0,7	11.200
Tuerca hexagonal normal ISO 4036-M8-8	Würth	32	0,11	1.760
Total				759.180

Tabla 15. Coste de los materiales pedidos a terceros para la línea de pavonado 2. Elaboración propia "Excel".

MATERIALES A FABRICAR							
Referencia	Proveedor	Peso (kg)			Precio	Importe	
		Neto		Bruto		€/kg	€/unidad
		Unidad	Nº unidades/máquina				
Acero-Bastidor	CYPE Ingenieros, S.A.	681,6	681,6	783,84	1,64	1.285,50	642.748,80
Polipropileno (PP)	Hebei Yuanmingzhengyue	8,22	57,54	66,171	0,83	7,85	27.460,97
Acero-Planchas	incafe	9,8	9,8	11,27	146,36	1.649,48	824.738,60
Acero-valla-cesta	CYPE Ingenieros, S.A.	101,87	407,48	468,602	1,64	768,51	384.253,64
Total							1.879.202,01

Tabla 16. Coste de los materiales fabricados por la propia empresa para la línea de pavonado 2. Elaboración propia "Excel".

Coste total			
Coste materia prima		2.638.382,01 €	
Coste MOD		92.745,92 €	
Coste MOI	22% coste MOD	20.404,10 €	22%
Coste de fabricación		77.777,87 €	
Cargas Sociales	40% mano de obra	45.260,01 €	40%
Gastos Generales	45% coste MOD	41.735,66 €	45%
Coste total en fábrica		2.916.305,57 €	
Beneficio Industrial	18% coste total en fábrica	524.935,00 €	18%
Precio de venta en fábrica		3.441.240,57 €	
IVA	21% precio venta en fábrica	722.660,52 €	21%
Precio total		4.163.901,09 €	
Precio total unitario	500 Líneas de pavonado	8.327,80 €	500

Tabla 17. Presupuesto industrial total de la línea de pavonado 2. Elaboración propia "Excel".

5. CONCLUSIONES

La conclusión a este proyecto es que cualquiera de las líneas de pavonado diseñadas en el proyecto cumplan con las especificaciones propuestas para evitar cualquier posible accidente.

Se puede admitir como conclusión que la compra de una línea de pavonado mejora la metodología “Lean Manufacturing” de la empresa.

Además, todos los modelos diseñados en este proyecto pueden ser motivo de mejora o “kaizen”, la cual es una filosofía que tiene como significado la mejora continua.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kreml JF. 2,618,578 BLACKENING STAINLESS STEEL [Internet]. 1952 [cited 2019 May 20]. Available from: <https://patentimages.storage.googleapis.com/d7/9c/78/17dfd33130943e/US2618578.pdf>
2. Fink RR, Campell DJ. METHOD OF PRODUCING ABLACK OXDE COATING ON FERROUS METALS [Internet]. 3,279,957, 1966 [cited 2019 May 20]. p. 2. Available from: <https://patentimages.storage.googleapis.com/9d/f2/a6/2070b9c3f902cb/US3279957.pdf>
3. Pearlman MB. TREATMENT OR FERROUS METAL SURFACES TO PREVENT CORROSION [Internet]. 3,578,508, 1971 [cited 2019 May 20]. p. 4. Available from: <https://patentimages.storage.googleapis.com/67/d1/0c/5e6631e6d76a7e/US3578508.pdf>
4. Smollett. BLACK OXIDE COATING FOR STAINLESS STEELS [Internet]. 3,915,759, 1974 [cited 2019 May 20]. Available from: <https://patentimages.storage.googleapis.com/61/d7/42/353d921b1aa4f1/US3915759.pdf>
5. 3,899,367 1 COMPOSITIONS AND METHODS FOR BLACKENING HARDENED STEEL [Internet]. [cited 2019 May 20]. Available from: <https://patentimages.storage.googleapis.com/58/de/08/f7d7907f5268ae/US3899367.pdf>
6. Menke JT. 5,104,463 BLACKENING PROCESS FOR STAINLESS STEELS [Internet]. 1990 [cited 2019 May 20]. Available from: <https://patentimages.storage.googleapis.com/0b/2d/7b/4ee9d9b10b1bf3/US5104463.pdf>
7. Zubiaurre S, Arsuaga Ferreras JM, Garzón Sánchez B. Química. Bachillerato, 2. Madrid: Anaya; 2009.
8. Milazzo G, Caroli S, Sharma VK, International Union of Pure and Applied

- Chemistry. Electrochemistry Commission. Tables of standard electrode potentials [Internet]. New York: Wiley; 1978 [cited 2019 May 20]. 421 p. Available from: <https://www.worldcat.org/title/tables-of-standard-electrode-potentials/oclc/237246138?referer=di&ht=edition>
9. Decapado y Pasivado del acero inoxidable Serie Materiales y sus Aplicaciones, volumen 4 [Internet]. 2004 [cited 2019 May 20]. Available from: www.outokumpu.com/stainless
 10. Bilurbina Alter L, Liesa Mestres F. Corrosión y protección [Internet]. Edicions UPC; 2003 [cited 2019 May 20]. 276 p. Available from: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.3/36748>
 11. Blackfast - Cost-effective all purpose metal blacking solution [Internet]. [cited 2019 May 20]. Available from: <https://blackfast.com/metal-blackening/>
 12. Blackening Time Reduced using Automated Tru Temp System [Internet]. [cited 2019 May 20]. Available from: https://www.birchwoodtechnologies.com/blackening_time_reduced_using_automated_tru_temp_system/
 13. Ampere Metal Finishing Ltd. - Our Facility & Machinery [Internet]. [cited 2019 May 20]. Available from: <https://www.amperemetal.com/facility.html>
 14. Special barrel blackening line | GALVABAU AG [Internet]. [cited 2019 May 20]. Available from: <https://www.galvabau.swiss/en/portfolio/special-barrel-blackening-line/>
 15. Melton T. The Benefits of Lean Manufacturing: What Lean Thinking has to Offer the Process Industries. Chem Eng Res Des [Internet]. 2005 Jun 1 [cited 2019 May 20];83(6):662–73. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263876205727465?via%3Dihub>
 16. AENOR. UNE EN ISO 10025-2. Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. AENOR; 2006. p. 36.
 17. Mondelo PR, Gregori E, Barrau P. EDICIONS UPC AULA POLITÈCNICA / ETSEIB Ergonomía 1 Fundamentos [Internet]. Edicions UPC. Barcelona; 1999 [cited 2019 May 20]. Available from: www.edicionsupc.es
 18. Carmona A, Cnmp B, Insht S. Artículo de fondo Datos antropométricos de la población laboral española Informe de resultados [Internet]. [cited 2019 May 20]. Available from: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Rev_INSHT/2001/14/artFondoTextCompl.pdf
 19. AENOR. UNE-EN ISO7250. Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico. Madrid: AENOR; 1998. p.

28.

20. AENOR. UNE-EN 547-3:1997+A1. Seguridad de las máquinas. Medidas del cuerpo humano. Madrid: AENOR; 2008. p. 11.

7. ANEXOS

7.1. Polipasto de cadena eléctrico LX011A-M50500-007-1

7.2. Pata regulable en altura 3842511893

7.3. Rodillo transportador de gravedad Interroll serie 1100 montaje atornillado (Acero de 50 x 1,5 (∅ tubo/grosor [mm]), 12 (∅ eje [mm]), longitud de montaje 500 mm)

7.4. Grifo KFE-Kugelhahn

7.5. Sensor fotoeléctrico de barrera, unidireccional LA39/LK39/31/40a/116

7.6. Rueda para transporte industrial Alex Serie ZV-PS 2-2306