

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Diseño de un sistema de automatización en una cabina de pintura de piezas de acero para aumentar la productividad de una mediana empresa metalmecánica

Para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico.

Elaborado por

Juan Augusto de Jesús Huaylinos Goycochea

 [0009-0005-6661-6777](https://orcid.org/0009-0005-6661-6777)

Asesor

MSc. Ing. César Mendoza Suárez

 [0000-0002-1013-3187](https://orcid.org/0000-0002-1013-3187)

LIMA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor con el que siempre me han educado, formado, y apoyado en todas mis metas.

RESUMEN

El presente informe de suficiencia profesional presenta una propuesta de diseño de un sistema automatizado para una cabina de pintura de una mediana empresa metalmeccánica familiar con el objetivo de aumentar su productividad.

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, presenta un alcance del tipo explicativo, y el diseño de investigación utilizado es el pre-experimental. Así mismo se empleó la observación como técnica de recopilación de datos, teniendo como unidad de análisis una empresa metalmeccánica en el rubro de estructuras de naves industriales.

Mediante los datos recopilados en las pruebas del sistema automatizado propuesto, se obtuvieron como resultados un aumento en la productividad de la línea de pintura de 81.83% a 93.43%, es decir, un aumento del 11.59% en el proceso de pintado de perfiles de acero. Así mismo, se obtuvo un tiempo de recuperación de la inversión de 4.78 meses (aproximadamente) y una proporción de costo/beneficio de S/. 1.88.

Palabras claves: automatización, metalmeccánica, productividad, pintura, sistema, industrial.

ABSTRACT

The present professional sufficiency report presents a proposal for the design of an automated system for a paint booth of a medium-sized family metallurgical company with the aim of increasing its production.

This research has a quantitative approach, presents a scope of the explanatory type, and the research design used is the pre-experimental. Observation was also used as a data collection technique, having as an analysis unit a metallurgical company in the field of industrial warehouse structures.

Through the data collected in the tests of the proposed automated system, an increase in the productivity of the paint line was obtained from 81.83% to 93.43%, that means an increase of 11.59% in the process of steel profiles painting. Likewise, an investment recovery time of approximately 4.78 months and a cost/benefit ratio of S/. 1.88 were obtained.

Keywords: automation, metalworking, productivity, painting, system, industrial.

ÍNDICE

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
PROLOGO	xi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
CAPITULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1. GENERALIDADES	1
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	7
1.3. OBJETIVO DEL ESTUDIO	7
1.4. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	8
1.4.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	8
1.4.2. ANTECEDENTES NACIONALES	10
CAPITULO II MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	14
2.1. MARCO TEÓRICO	14
2.1.1. La automatización industrial	14
2.1.2. Sistema de control automático	17
2.1.3. Productividad	31
2.1.4. Eficiencia	34
2.1.5. Eficacia	34
2.1.6. Indicador económico VAN	34
2.1.7. Indicador económico TIR	35
2.1.8. Recuperación de la inversión de la inversión (PRI)	36
2.2. MARCO CONCEPTUAL	37

CAPITULO III HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES ...	38
3.1. HIPÓTESIS	38
3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	38
3.2.1. Variable Independiente (VI).....	38
3.2.2. Variable Dependiente (VD).....	39
CAPITULO IV METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
4.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	41
4.2. UNIDAD DE ANÁLISIS	42
4.3. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	42
4.3.1. RECOLECCIÓN DE DATOS.....	43
4.3.2. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	43
4.3.3. ANÁLISIS DE DATOS	43
4.4. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	44
CAPITULO V DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	45
5.1. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL ÁREA EN ESTUDIO..	45
5.1.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE PINTURA	45
5.1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PINTADO.....	46
5.2. PROPUESTA DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	49
5.2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA AUTOMATIZADO	49
5.2.2. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO.....	49
5.3. DESARROLLO DE DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN PROPUESTO	51
5.3.1. DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO.....	51
5.3.2. DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO	59
5.3.3. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO	66
CAPITULO VI ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	72
6.1. ANALISIS DE LOS RESULTADOS	72
6.1.1. RECOPIACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	72
6.1.2. COMPARACION DE RESULTADOS	74
6.2. ANALISIS ECONÓMICO	79
6.2.1. COSTOS MATERIALES	79
6.2.2. COSTOS DE MANO DE OBRA	80
6.2.3. COSTOS DE MÁQUINAS, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	80

6.2.4.	OTROS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA MEJORA..	81
6.2.5.	COSTO TOTAL DE LA INVERSIÓN	81
6.2.6.	BENEFICIO	82
6.2.7.	FLUJO DE CAJA.....	82
	CONCLUSIONES	85
	RECOMENDACIONES.....	86
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
	ANEXOS.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variable Independiente.	39
Tabla 2 Variable Dependiente.....	40
Tabla 3 Matriz de consistencia.....	44
Tabla 4 Lista de materiales del diseño mecánico.	51
Tabla 5 Lista de materiales del bastidor.	53
Tabla 6 Descripción de las entradas del PLC V130 J T38.....	62
Tabla 7 Descripción de las salidas del PLC V130 J T38.....	63
Tabla 8 Nivel de productividad actual en pintado de perfiles estructurales..	75
Tabla 9 Nivel de productividad con la propuesta en el pintado de perfiles estructurales	76
Tabla 10 Comparación de la productividad actual y propuesta de la mejora	77
Tabla 11 Costos directos por materiales.....	79
Tabla 12 Costo de mano de obra.....	80
Tabla 13 Costo de maquinarias, herramientas y equipos	81
Tabla 14 Otros costos que intervienen en la solución propuesta.....	81
Tabla 15 Otros costos que intervienen en la solución propuesta.....	81
Tabla 16 Beneficio de la mejora.....	82
Tabla 17 Flujo de caja.....	83
Tabla 18 Indicadores económicos	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Inversión mundial en Investigación y Desarrollo por regiones	2
Figura 2 Productividad por trabajador y por hora de Estados Unidos y la Unión Europea en el año 2014.....	4
Figura 3 Productividad por trabajador y por hora de los países de América Latina en 2014.	4
Figura 4 Productividad total de factores en el mundo entre 1999 y 2015.	5
Figura 5 Productividad total de factores del Perú y América Latina entre 1999 y 2015.	6
Figura 6 Sistema de control de lazo abierto.....	18
Figura 7 Sistema de control de lazo cerrado.	19
Figura 8 Familia de PLC de Siemens	22
Figura 9 Esquema de la línea de pintura.	46
Figura 10 Proceso de habilitado de perfiles estructurales en línea.....	47
Figura 11 Proceso de pintado manual en las cabinas.	47
Figura 12 Perfiles estructurales observados por mala calidad de pintado... ..	48
Figura 13 Modelamiento del sistema automatizado en cabina de pintura. ...	50
Figura 14 Esquema del diseño mecánico del sistema automatizado.....	52
Figura 15 Esquema del diseño estructural del bastidor.	53
Figura 16 Motorreductor montado en la estructura.....	54
Figura 17 Eje con rueda dentada soportado por dos chumaceras.....	55
Figura 18 Vista de corte del Bloque móvil deslizante con la cadena y el amarre de acero.....	56

Figura 19 Amarre de la pistola de pintura al brazo de acero mediante una abrazadera.....	56
Figura 20 Análisis estructural estático. Resultado de Esfuerzos.....	57
Figura 21 Análisis estructural estático. Resultado del Factor de Seguridad	58
Figura 22 Sistema automatizado en una cabina de pintura de piezas de acero	59
Figura 23 Diagrama de flujo del proceso de pintado automatizado.	61
Figura 24 Entradas y salidas del PLC V130 J T38.....	63
Figura 25 Diagrama de entradas del PLC.....	64
Figura 26 Diagrama de salidas del PLC.	65
Figura 27 Diagrama de conexión eléctrica de los variadores de velocidad .	66
Figura 28 Conexión de las pistolas de pintura	67
Figura 29 Conexión de los variadores de velocidad	68
Figura 30 Plano del diagrama unifilar del tablero de principal del sistema automatizado	69
Figura 31 Plano del diagrama unifilar del tablero de TP1	70
Figura 32 Plano del diagrama unifilar del tablero de TP2	71
Figura 33 Prototipo del sistema de automatización propuesto.	73
Figura 34 Pintado de perfiles estructurales mediante prototipo propuesto. .	74
Figura 35 Comparación de la productividad actual y mejorada.	78

PROLOGO

El presente trabajo de suficiencia profesional está conformado por 6 capítulos que a continuación se describen en forma breve:

En el Capítulo I se describe la realidad problemática, la formulación del problema de investigación; se indica el objetivo de estudio y se termina con la descripción de los antecedentes de investigaciones a nivel internacional y nacional.

En el Capítulo II se indica el marco teórico con toda la información básica y necesaria para comprender la investigación desarrollada. Asimismo, se presenta el marco conceptual.

En el Capítulo III se reseña la hipótesis del trabajo en investigación y se presenta la operacionalización de las variables dependiente e independiente.

En el Capítulo IV se describe la metodología que se ha utilizado en el proyecto, el tipo y diseño de investigación, la unidad de análisis y la matriz de consistencia.

En el Capítulo V se describe el desarrollo del sistema automatizado propuestos, el diseño mecánico, eléctrico y de automatización.

En el Capítulo VI se describen los análisis y los resultados obtenidos de la investigación.

Por último, se presentan las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas junto con los anexos.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

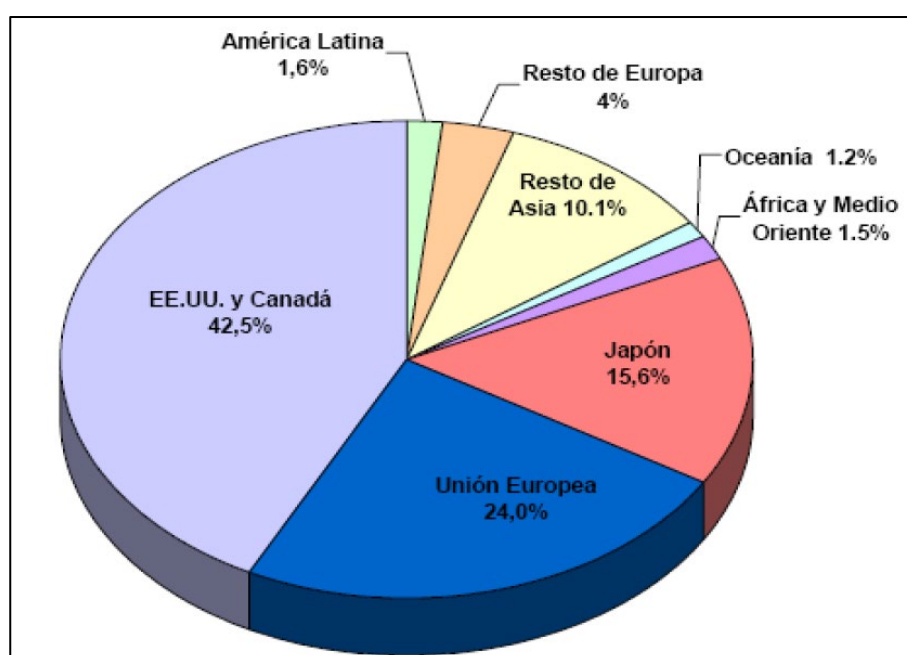
De acuerdo con Pedroza (2009), la inversión en la tecnología y en el desarrollo ha ido aumentando al pasar los años, siendo que en los inicios del siglo XXI ha representado un porcentaje significativo correspondiente a la inversión mundial. Esto se debe a que en el mundo se ha ido innovando los procedimientos que se emplean en los procesos productivos, con la incorporación de nuevos métodos que agilizan los sistemas, tal que los métodos tradicionales quedaron obsoletos, a pesar del desarrollo en la tecnología en el mundo. América Latina se encuentra en una contribución muy baja con respecto a la inversión mundial y en comparación a las otras partes del mundo, representando únicamente el 1.6% del total, como se indica en la figura 1.

Para el caso de Perú, perteneciente a América Latina, y considerado un país en progreso (de tercer mundo), la gran parte de las organizaciones privadas en el territorio presentan un desarrollo de tecnología precario, ya que se sitúan

en una etapa de iniciación de evolución a los sistemas automatizados, en donde, no logran competitividad con otros mercados, en donde sus procesos se encuentran automatizados aumentando sus productividades. (Peña y Martínez, 2017).

Figura 1

Inversión mundial en Investigación y Desarrollo por regiones



Fuente: Tomado de "Libro de Ciencia, Tecnología y Desarrollo" (p.28), por A. Pedroza, 2009, Universidad Autónoma Chapingo

La industria manufacturera corresponde una línea importante en el producto de un país, generando desarrollo al mismo, por lo que se considera que la automatización en este sector es indispensable, ya que aumenta la productividad, representa mayor competitividad, y genera soluciones a problemas de investigación que se presentan en todos los rubros y campos de la ciencia (García, 2001). Es por tal motivo que el presente documento de suficiencia se orienta en dar una alternativa de resolución a un dilema que se

presenta en empresas metalmecánicas, mediante el uso y aplicación de la automatización.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las organizaciones hoy en día se miden por la productividad que generan en sus procesos, lo que se le atribuye competitividad al medirse con los competidores, de tal forma que las empresas evalúan constantemente los sucesos en sus operaciones para evitar los problemas que afecten a su productividad, para así, poder ser eficiente en sus procesos, con mejoras en las propiedades, características de los productos, en los tiempos de reacción y en la reducción de costos, llevando consigo el uso de procedimientos y técnicas más sofisticadas que permitan responder de la mejor manera a los problemas presentados. (Prokopenko, 1989).

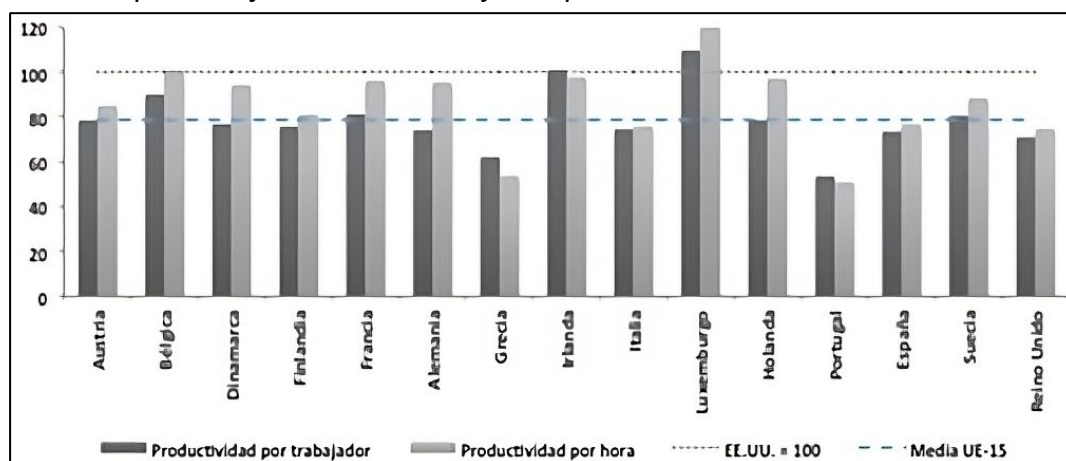
El incremento económico de un país está estrechamente relacionado con el incremento de la productividad, como lo describen en su obra Céspedes, Lavado y Rondán (2016). Debido a esto, investigadores, científicos, ingenieros, políticos y economistas de todo el mundo, colocan sus esfuerzos en la investigación y la resolución de conflictos que afectan la productividad, considerado este un factor determinante de largo plazo.

En un estudio sobre la productividad, se hace una comparación de los países de Latinoamérica con EE. UU. y Europa, ya que se desea analizar la situación de la región con los países desarrollados y de mayor productividad (Rodríguez, 2017). Para ello se presentan 2 gráficos en los cuales se muestran los niveles de productividad del año 2014, teniendo como referencia

a EE. UU. con un nivel de productividad de 100%. En la figura 2 se indica que el promedio de la productividad de las naciones de la Unión Europea posee un nivel alto y cercano al 80%, mientras que en la figura 3 se indica que el promedio de productividad de los territorios de América Latina se encuentra alrededor del 35%.

Figura 2

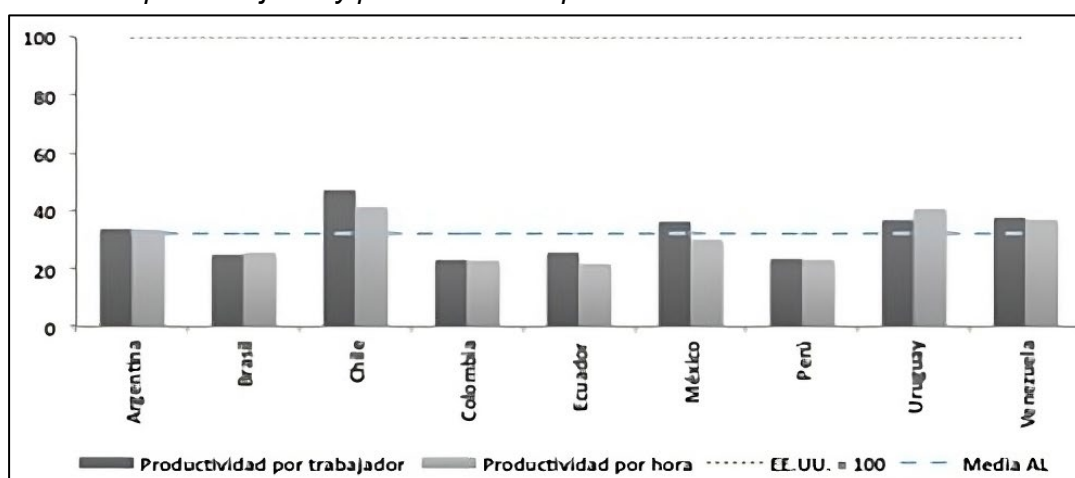
Productividad por trabajador en EE. UU. y Europa en el año 2014.



Fuente: A. Rodríguez, 2017, "La productividad en América Latina" (p.73), Universidad de Alcalá.

Figura 3

Productividad por trabajador y por hora de los países de Latinoamérica en 2014.



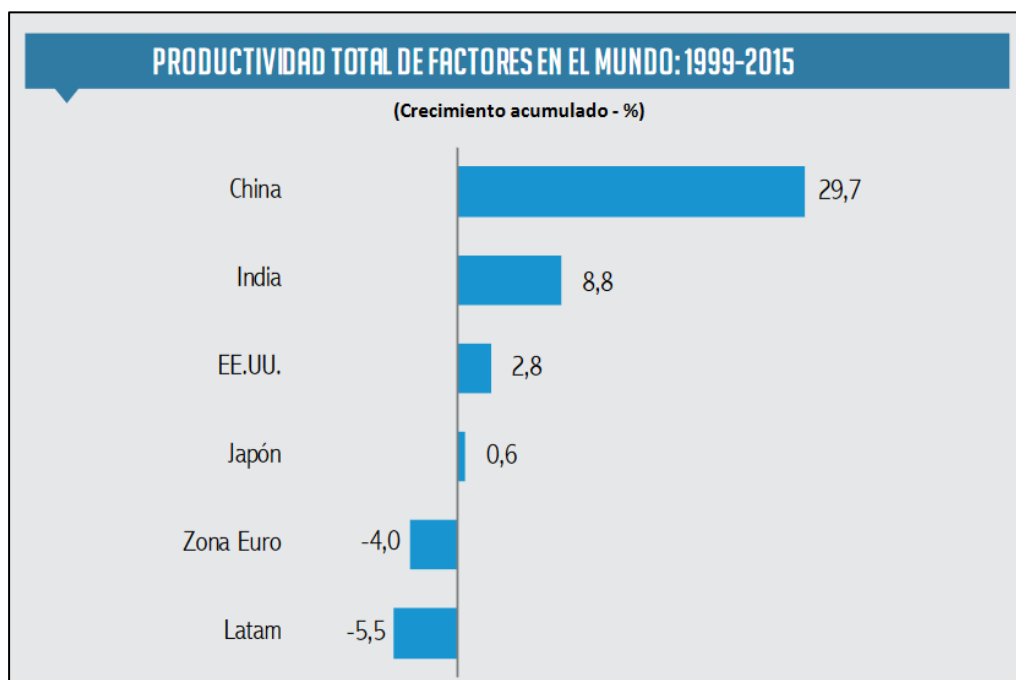
Fuente: A. Rodríguez, 2017, "La productividad en América Latina" (p.74), Universidad de Alcalá.

De este último gráfico se puede observar que el Perú tiene una productividad en niveles más bajos que oscila entre el 20% hasta el 25%.

Por otro parte, el Instituto de Economía y Desarrollo Empresarial (IEDEP) de la Cámara de Comercio de Lima, en la edición 759 de su revista “La Cámara”, señala que América Latina ha presentado una tendencia negativa del 5.5% del desarrollo de la productividad total de factores entre 1999 y 2015 como se puede observar en la figura 4. La productividad total de factores hace referencia, no solo a la productividad en la cual se emplea un solo insumo, sino también, de varios factores como son el equipo de trabajo, el capital, las herramientas, la maquinaria, etc.

Figura 4

Productividad total de factores en el mundo entre 1999 y 2015.

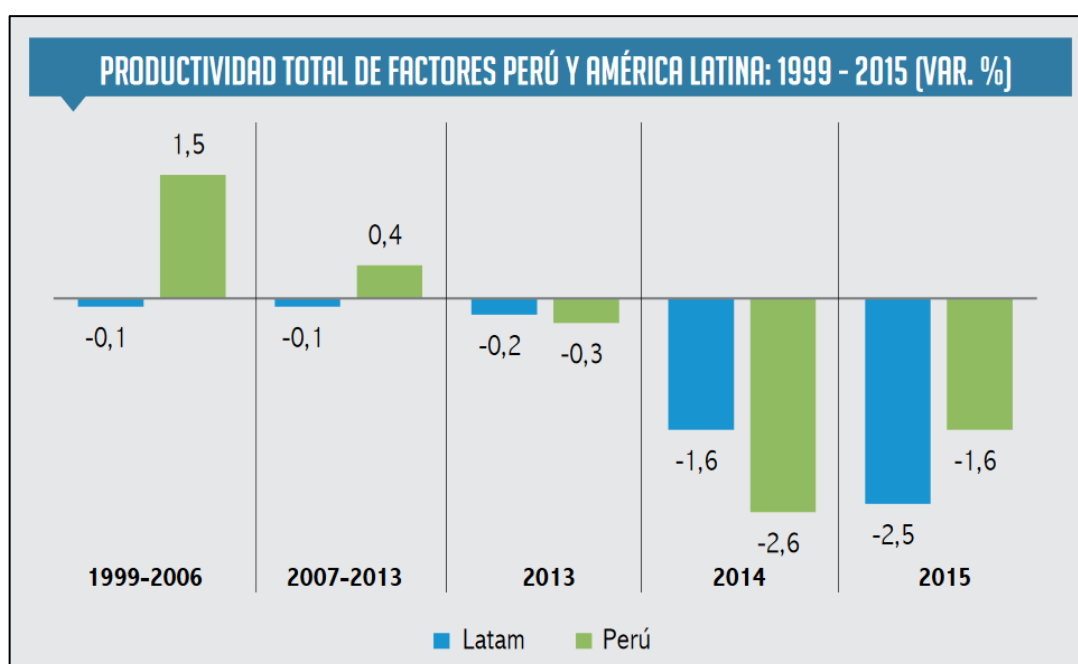


Fuente: C. Peñaranda, 2017, “Evolución de la productividad peruana mantiene una tendencia negativa” (p.8), La Cámara.

Asimismo, dentro de América Latina, desde 1999 hasta el 2006, el Perú tuvo una tasa de productividad con crecimiento positivo, no obstante, desde 2007 hasta el 2015 la tasa ha ido decreciendo hasta llegar a un -2.6% en el 2014 como se demuestra en la figura 5.

Figura 5

Productividad total de factores del Perú y Latinoamérica entre 1999 y 2015.



Fuente: C. Peñaranda, 2017, "Evolución de la productividad peruana mantiene una tendencia negativa" (p.8), La Cámara.

En el Perú existe una menor productividad en empresas medianas y pequeñas y que además vienen operando un menor tiempo en el mercado. Las empresas metalmecánicas medianas y pequeñas presentan una baja productividad, y se debe mayormente a que sus procesos se manejan de forma manual; y una actividad manual influye continuamente en los tiempos de producción como en la optimización de recursos, además depende de la

habilidad y destreza de los trabajadores, así como de sus estados emocionales. Debido a esto la totalidad de los productos no se entregan con los parámetros correspondientes a las normas de calidad que se exigen, y por consiguiente no se cumple el programa de producción establecido (Céspedes, Lavado y Rondán, 2016).

Las consecuencias que genera lo mencionado anteriormente son un alto número de reprocesos, lo que acarrea costos adicionales en materiales y mano de obra; la disminución del tonelaje producido diario; una baja productividad que impide llegar a las metas mensuales y finalmente el retraso en los tiempos de entrega a los clientes, demostrando una baja competitividad frente a otras empresas del rubro.

1.2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿En qué magnitud la actividad manual influye en la baja productividad de una mediana empresa metalmecánica?

1.3. OBJETIVO DEL ESTUDIO

Diseñar un sistema de automatización de una cabina de pintura de piezas de acero para aumentar la baja productividad de una mediana empresa metalmecánica.

1.4. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.4.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Castañeda y Nava (2018), en su trabajo de Grado “Sistema de control de aire y temperatura para una cabina de pintura, controlada por medio de un dispositivo móvil”, desarrollado en la Universidad Pedagógica de Bogotá, describen que su objetivo es implementar un sistema que brinde un buen ambiente y adecuado para el proceso de pintado automotriz. Se observa que la metodología utilizada fue del tipo cuantitativa. Ellos concluyeron que, mediante la construcción modular de una cabina de pintura mediante rieles, un sistema deslizante y su sistema de control ON-OFF se pudo reducir los tiempos de pintado de un vehículo en más del 50% en comparación con aquellos que son secados a temperatura ambiente, lo cual hace más eficiente su línea de producción.

Armas (2018), en su proyecto de titulación “Diseño de un modelo matemático aplicado a la minimización de tiempos no productivos y optimización de la productividad en la industria de alimentos” desarrollado en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, en Guayaquil, describe que su objetivo es lograr, mediante su modelo matemático, incrementar el rendimiento en cada fase del procedimiento, identificando acontecimientos que aplazan las actividades y optimizar el tiempo de elaboración de los productos. Ella implementó correctamente el uso de

un software específico con el que pudo incrementar el 9% de la línea de producción de la empresa que fue objeto de su estudio.

Varela (2015), en su trabajo de titulación “Diseño e implementación del sistema de monitoreo y control en la planta de pintura de una ensambladora de vehículos” desarrollado en la Universidad Tecnológica Equinoccial, en Quito, hace un análisis de los procedimientos industriales de las plantas de pintura, diseña una base de datos de producción, crea un procedimiento de armado de reportes y una interface de esquema tipo gráfica de las plantas de pintura que permita monitorear los procesos a distancia. Con ello se mejoró la gestión de verificación y reacción en los resultados al realizar los reportes de mantenimiento, se implementó una interfaz a la red industrial con lo que se hace el monitoreo de forma continua y se reduce el tiempo de respuesta mejorando la productividad.

Velastegui (2014), en su tesis “Diseño y construcción de una máquina para pintado de banda de cuero, por medio de pistolas de pulverización para la fábrica Gamacueros”, desarrollada en la Universidad Técnica del Norte, tiene como finalidad primordial pintar continuamente y automática bandas de cuero con lo cual logran reducir las horas hombre. Desarrolla una metodología explicativa y del tipo cuantitativo y llega a concluir que, en base a sus parámetros de diseño, su propuesta de implementación logra tener una eficiencia del 85%.

Belmar (2012), en su proyecto de fin de carrera “Instalación de un sistema automatizado de pintura en una fábrica de armarios eléctricos” desarrollado en la Universidad Carlos III de Madrid, en España, expone que su objetivo es realizar el sistema de automatización de la zona de galvanizado, pintura y curado que se desarrolla de forma manual. Utiliza una metodología del tipo explicativo y un enfoque mixto. Él concluye que su propuesta satisface los procesos que fueron el enfoque de estudio, ya que disminuye el costo fijo y genera que la producción se cuadruplica.

1.4.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Peña y Martínez (2017), en su tesis “Diseño y construcción de una cabina automatizada para el pintado de cilindros de GLP de 10 kg con capacidad de 600 cilindros por hora”, desarrollada en la Universidad César Vallejo, describen que su objetivo es minimizar los desperdicios que se generan en la pintura, evitar la polución y mejorar la producción entregando un producto con los superiores patrones de calidad, mediante su propuesta de innovación de la última etapa del proceso de envasado de los cilindros de GLP. Su metodología fue experimental, se usó el recurso de la observación y se tuvo a una guía de observación como instrumento para recopilación de la información que fue utilizada en campo. Concluyeron que la ejecución de su propuesta facultará

reducir los costos operativos, costos por mantenimiento, así mismo como la contaminación del medio ambiente.

Briones y Quispe (2017), exponen en su tesis “Diseño de un sistema automatizado de zarandeo para incrementar la productividad en la cantera Casa Blanca” desarrollada en la Universidad Privada del Norte, que su objetivo, mediante su propuesta de diseño, es aumentar la productividad, anulando reprocesos y optimizando los periodos de ocio. Su trabajo fue del tipo cuasi experimental y de un enfoque de investigación prospectivo–transversal. Terminan concluyendo que su propuesta permite incrementar en un 100% la productividad de la empresa y además obtienen una reducción de tiempo de 39.97 minutos respecto al actual.

Barrios (2017), en su tesis “Aplicación del estudio de trabajo, para incrementar la productividad en el proceso de pintado de parabrisas, en el área de serigrafía de la empresa AGP PERÚ S.A.C.”, desarrollada en la Universidad César Vallejo, describe que su finalidad es incrementar el rendimiento en la eficiencia y eficacia, mediante la aplicación de un estudio de trabajo. Además, describe que utilizó un diseño de investigación tipo cuasi experimental y con un enfoque cuantitativo. Finalmente, concluye que su propuesta de estudio de trabajo mejora el rendimiento en el procedimiento de pintura de los parabrisas con un incremento del 15.36%.

Yarasca y Espinoza (2015), en su tesis “Propuesta de implementación de un sistema de pintura electrostática para piezas metálicas utilizadas en tableros y celdas eléctricas”, desarrollada en la Universidad Ricardo Palma, proponen un proceso de fosfatado para eliminar las impurezas y mejorar el desengrase de los tableros metálicos, y un esquema de curado mediante hornos para mejorar el tiempo de secado de estos. Su metodología es descriptiva correlacional a través de una investigación cualitativa y cuantitativa, teniendo en cuenta la muestra del procedimiento de pintura en sí. Finalmente, concluyeron que con el diseño propuesto se mejoraría significativamente el proceso de pintado casi triplicando el rendimiento actual de la empresa donde se realizó su investigación.

Flores y Flores (2015), en su artículo “Sistema computacional para el pintado de superficies planas y su efectividad en los procesos de pintado en la provincia coronel Portillo”, publicado en la revista de investigación de la Universidad Privada de Pucallpa, indican que su objetivo fue determinar la eficiencia del sistema computacional que ellos estaban proponiendo frente al sistema convencional (pintado a mano). La investigación es del tipo aplicada ya que está orientada a solucionar un problema específico. Asimismo, utilizaron un diseño cuasi experimental, que fue realizado con un profesional experto en el procedimiento de pintado y así garantizar el entendimiento con respecto al sistema

computacional. Para las estimaciones se hizo uso de la estadística inferencial concluyendo al final que el sistema computacional para el pintado de superficies planas tuvo un resultado del 45% más eficiente y rentable.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. MARCO TEÓRICO

En esta parte se va a describir la teoría y los conceptos principales y más relevantes, que servirán para entender en forma adecuada el desarrollo del presente trabajo de suficiencia.

2.1.1. La automatización industrial

La mayoría de los procesos automatizados presentes en la industria están conformados por un grupo de mecanismos, instrumentos, artefactos o dispositivos que realizan determinadas tareas o actividades repetitivas, reduciendo en gran medida la intervención del hombre. La automatización industrial posee como finalidad la optimización de los tiempos de producción y costos, entregando una mayor cantidad de producto y garantizando la calidad de estos. (Belmar, 2012)

En su libro F. Ebel (2008) define que “la técnica de automatización es una disciplina que abarca varias especialidades y que, por lo tanto, recurre a conocimientos y métodos de diversas ciencias de ingeniería.” (p.15)

La automatización industrial, de acuerdo a lo mencionado por Pérez (2015), es una herramienta indispensable con la cual se optimiza los procesos y se es más competitivo, sustituyendo la mano de obra, la fuerza, la destreza y el intelecto humano por una gran variedad de dispositivos mecánicos, neumáticos, eléctricos e informáticos integrados en un sistema complejo y controlados mediante funciones programadas, manteniendo determinadas magnitudes (como por ejemplo, la velocidad, la presión) dentro de unos rangos establecidos.

Asimismo, la automatización industrial está presente en todos los campos económicos, por ejemplo, en la fabricación de automóviles, productos farmacéuticos, productos alimenticios, productos químicos, productos de plástico, en la industria agropecuaria, la industria petrolera, la industria metalmeccánica, la industria de la construcción y la minería, entre otros. Excelentes utilidades se obtienen en todos estos rubros. También es aplicable en el manejo de las comunicaciones e información, en la administración de servicios, en la administración de procesos, dirección del recurso humano, administración del mantenimiento, gestión

de la ingeniería, y hasta la administración comercial y marketing.
(Belmar, 2012)

La automatización industrial aspira desarrollar la competencia en todas las áreas industriales, por lo que es necesario analizar las ventajas y desventajas al momento de introducirse en un proceso de innovación.

Entre las ventajas se presentan:

- ✓ Crecimiento de la productividad.
- ✓ Perfeccionamiento en la calidad de los bienes.
- ✓ Optimización de costos laborales.
- ✓ Reducción de costos por reprocesamiento de productos.
- ✓ Ahorro de costos por consumo de energía.
- ✓ Incremento de la seguridad laboral.
- ✓ Integración de los sistemas mediante redes industriales.

Entre las desventajas se presentan:

- ✓ Inversión inicial muy alta.
- ✓ Resistencia al cambio por parte del personal obrero y administrativo.
- ✓ Ausencia de conocimientos.
- ✓ Obsolescencia de las máquinas.
- ✓ Falta de personal capacitado.
- ✓ Escases de capital humano especializado.
- ✓ Capacitación constante a los operadores y personal involucrado.

Además, gracias a los grandes avances en los métodos numéricos en ordenadores, se ha generado un acelerado desarrollo en tecnologías que poseen como base las matemáticas y las ciencias físicas, y sirven como herramientas para crear sistemas automáticos complejos. Notables ejemplos son las tecnologías CAD (Diseño asistido por computadora), CAM (Manufactura asistida por computadora) y CAE (Ingeniería asistida por computadora), pues la optimización en el diseño, análisis y fabricación de sistemas basados en estas tecnologías, siguen representando un gran aporte para la industria. (Paz, 2018)

2.1.2. Sistema de control automático

Para mantener una o más variables de un determinado proceso, funcionando de una manera deseada, es necesario un sistema que controle en forma automática dichas variables y además adquiera la lectura de sus valores en tiempo real, y así identifique el estado en el cual se vienen desarrollando. (Chacha, 2016)

Este tipo de sistema viene a ser un conglomerado de elementos tecnológicos que se encargan de regular, coordinar y manejar el desarrollo del proceso industrial que viene a ser parte del sistema completo, con la finalidad de alcanzar los objetivos deseados. Dicho de una manera más técnica se refiere a que posee un dominio de los parámetros de salida, manipulando los parámetros de entrada o de control. (Castañeda y Nava, 2018)

De acuerdo con lo descrito por Ogata (2011), los sistemas de control más comunes son:

- **Sistema de control de lazo abierto:** En este modelo de sistema de control no existe una retroalimentación por parte del parámetro de salida, significando que el parámetro de entrada no se ve alterada por la señal de salida. Como ejemplo se presenta a una lavadora automática, ya que esta no mide la limpieza de la ropa, solo la lava en base a un tiempo específico. Las ventajas que presenta este tipo de control son: una implementación sencilla, mantenimiento rápido, costos reducidos, es estable y conveniente cuando es complicado medir la variable de salida. En la figura 6 se contempla un esquema funcional (diagrama de bloques) de la representación de un sistema de control en lazo abierto (Ogata, 2011).

Figura 6

Sistema de control de lazo abierto.

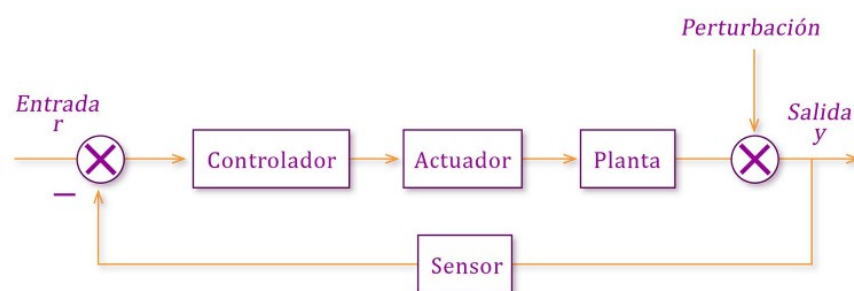


Fuente: M. Morales, 2013, "Sistemas de control moderno Volumen I: Sistemas de tiempo continuo" (p.13), Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

- **Sistema de control de lazo cerrado:** En este modelo de sistema el controlador posee una retroalimentación por parte de la variable de salida con el fin de minimizar el error del sistema y direccionar a la variable de salida a un valor deseado. La temperatura de un ambiente vendría a ser una ilustración de sistema de control de lazo cerrado, debido a que, comparando la temperatura referencial con la real, el termostato puede o no accionar la calefacción para garantizar un nivel de temperatura adecuado. Este modelo de sistema de control es favorable cuando se presentan perturbaciones impredecibles que afecten al sistema. En la figura 7 se observa un esquema funcional de la representación de un sistema de control en lazo cerrado (Ogata 2011).

Figura 7

Sistema de control de lazo cerrado.



Fuente: M. Morales, 2013, "Sistemas de control moderno Volumen I: Sistemas de tiempo continuo" (p.13), Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

De acuerdo con lo mencionado por F. Ebel (2008), los procesos automáticos modernos requieren, principalmente, de tres partes:

- ✓ Sensores para conocer la situación del sistema.
- ✓ Actuadores para ejercer las acciones de control.
- ✓ Unidades de control para procesar el programa y definir las acciones.

Posteriormente, se deriva a describir los componentes principales de los sistemas de control.

2.1.2.1. Controladores

Las compañías visionarias, poseen en sus procesos de control y en su maquinaria, diversos dispositivos electrónicos modernos, los cuales ofrecen alta eficiencia, flexibilidad y confiabilidad. Uno de los dispositivos, considerado fundamental en un proceso automatizado, es el llamado Controlador Lógico Programable (PLC), o autómatas programables, el cual tuvo sus inicios en los años 70 y se ha ido mejorando con el avance de la tecnología y nuevos componentes electrónicos como los microprocesadores. Los PLC se fabrican utilizando los microprocesadores más modernos y lo último en componentes electrónicos, lo cual lo hace un dispositivo de alta confiabilidad y robusto frente al ruido, cargas eléctricas, altas temperaturas, vibraciones mecánicas, humedad, etc. (Rosales, 2016)

Los PLC son instrumentos electrónicos programables, lo que significa que poseen una memoria en la cual se generan una serie de instrucciones de forma secuencial y ordenada que incluyen operaciones lógicas, cálculos matemáticos, y funciones de acuerdo con las necesidades que se requieran. A diferencia de las computadoras de escritorio y laptops, los PLC son diseñados para un entorno industrial y pueden recibir múltiples señales de entrada y también generar múltiples señales de salida, realizando diversas acciones en tiempo real. (Ramírez, 2019)

El avance tecnológico constante ha llevado, según Mandado (2009), a una actual conceptualización del autómatas programable: “Computador cuya organización (elementos de entrada y salida, forma constructiva, etc.) y cuya arquitectura (lenguajes de programación, tipos de datos, etc.) están especialmente orientadas a la implementación de sistemas electrónicos de control industrial.” (p.68). En la figura 8, se observan los autómatas programables del fabricante Siemens y sus variaciones dentro de la misma familia de dispositivos.

Figura 8

Familia de PLC de Siemens



Fuente: P. Mandado, 2009, "Autómatas programables y sistemas de automatización" (p.81), Editorial Marcombo S.A.

Para Mandado (2009), los procesos industriales que van desde sistemas muy básicos hasta sistemas de manufactura realmente complejos hacen que los atributos del autómata programable sean diferentes dependiendo del escenario que deben controlar. Debido a esto es que los fabricantes ofrecen diversos grupos de PLC con características especiales y que a su vez cada grupo esté constituido por diversos componentes diferenciados por el nivel de parámetros y por los juicios fundamentales que hay que tener en cuenta y que a continuación se describen de forma abreviada:

- **Unidad central:** Denominado también CPU (Central Processing Unit), y se encuentra formado por el microprocesador, las unidades de memoria y un procesador de comunicaciones convirtiéndolo en un subsistema del PLC.
- **Capacidad de memoria de datos y de programa:** Es la cantidad de posiciones de las memorias de instrucciones y de datos, respectivamente.
- **Capacidad de entradas y salidas digitales:** Es el número máximo de parámetros de entradas y salidas digitales que controla el PLC.
- **Modularidad de entradas y salidas:** Es la capacidad del PLC que incrementa la cantidad de entradas y salidas, digitales y analógicas.
- **Módulos específicos de entradas y salidas:** Comercializados como sistemas electrónicos de PLC's acoplables para ejecutar una operación determinada de forma óptima (en tiempo reducido).
- **Recursos de comunicaciones:** Uso de procesadores de comunicaciones que habilitan el enlace a un bus de campo y a una red Ethernet Industrial.
- **Interfaz máquina – usuario:** Dispositivo usualmente denominado HMI (Human Machine Interface) que es de utilidad para la conexión entre el usuario y la máquina para

cambiar determinados parámetros, gestionar alarmas, examinar el estado de variables, etc.

- **Protección de la propiedad intelectual y seguridad:** Capacidad de un PLC para imposibilitar que agentes sin autorización consigan leer o modificar la programación o que agentes externos sin autorización consigan causar daños en una puesta en marcha por medio del manejo del programa de control. Un ejemplo común de esto es habilitar a los usuarios una combinación como clave con diversos rangos de acceso.
- **Lenguajes de programación:** Es una tipología de código que se utiliza para generar el programa que establece el proceso que lleva a cabo el PLC.

2.1.2.2. Sensores

Para que un proceso industrial o fabricación de un producto pueda ser controlado y tener un seguimiento adecuado por un sistema electrónico es indispensable que reciba información del desarrollo de variables físicas (como, por ejemplo, la fuerza, la presión, la velocidad, la temperatura, etc.), es por ello que se requieren de dispositivos que se encarguen de transformar esas variables físicas no eléctricas en variables eléctricas. Estos dispositivos o instrumentos son conocidos, en general, como sensores, pero también suelen denominarlos como captadores, detectores, transductores y transmisores. (Mandado, 2009)

De manera similar, para García (2001), un sensor viene a ser aquel instrumento que responde a ciertas características físicas ocasionando una señal eléctrica que es medible. Las señales de salida del sensor son de magnitudes pequeñas y requieren un tratamiento de amplificación y filtrado. Ese elemento interno que se encarga de convertir la señal y acondicionarla se denomina transductor, pero de forma cotidiana y en el contexto de la automatización y robótica, el término sensor hace referencia a todo el conjunto.

En su libro, Serna (2010) explica que debido a que existe una gran variedad de sensores, es importante categorizarlos y agruparlos para así comprender de una mejor manera su funcionamiento y sus propiedades. Como esta tarea no es sencilla, estos dispositivos se clasifican de varias maneras. A continuación, se mencionan los principales.

De acuerdo con las señales que generan, se clasifican en:

- **Sensores Digitales:** Este tipo de sensor brinda información por medio de una señal digital, esto es, un valor “0” lógico o un valor “1” lógico, o también un código formado de estos.
- **Sensores Analógicos:** Este tipo de sensor brinda información por medio de una señal analógica (que puede ser

corriente, voltaje), esto es, que puede admitir un sinfín de valores de un rango.

De acuerdo con la naturaleza del funcionamiento, se clasifican en:

- **Sensores de posición:** Este tipo de sensor se activa debido al cambio de posición que ocupa en cada instante algún elemento.
- **Sensores fotoeléctricos:** Este modelo de sensor se manifiesta debido a la acción de la luz que incide sobre este.
- **Sensores magnéticos:** Este tipo de sensor detecta los campos magnéticos originados por corrientes eléctricas o imanes.
- **Sensores de temperatura:** Este tipo de sensor detecta variaciones de la temperatura del ambiente donde se encuentran.
- **Sensores de humedad:** Este tipo de sensor presenta cambios debido al nivel de humedad en un ambiente determinado.
- **Sensores de presión:** Este tipo de sensor detecta y mide la magnitud de la presión que ejercen los fluidos sobre este.
- **Sensores químicos:** Este tipo de sensor presenta cambios debido a los compuestos químicos que caen sobre este.

De acuerdo con los componentes utilizados en su fabricación, se clasifican en:

- **Sensores mecánicos:** Este tipo de sensor hace uso de contactos mecánicos que actúan como interruptores activando o desactivando algún dispositivo o circuito.
- **Sensores resistivos:** Este tipo de sensor hace uso de resistencias eléctricas en su interior.
- **Sensores capacitivos:** Este tipo de sensor hace uso de condensadores que reaccionan ante metales y no metales.
- **Sensores inductivos:** Este tipo de sensor hace uso de bobinas para generar campos magnéticos.
- **Sensores piezoeléctricos:** Este tipo de sensor hace uso de materiales cerámicos o cristales como el cuarzo.
- **Sensores semiconductores:** Este tipo de sensor está conformado por elementos semiconductores que dependiendo de ciertas condiciones pueden o no conducir corriente eléctrica.

Al momento de seleccionar un sensor, hay que tener en consideración determinados aspectos, que ayuden a lograr un rendimiento óptimo en el sistema donde se aplica, como son:

- ✓ Velocidad de respuesta.
- ✓ El ambiente donde se sitúan.
- ✓ Área de acción.
- ✓ Seguridad en el funcionamiento.
- ✓ Voltaje de alimentación.

- ✓ Consumo de corriente
- ✓ Rango de temperatura para un buen funcionamiento.
- ✓ Robustez frente al ruido y agentes externos.
- ✓ Calidad de lectura y respuesta.
- ✓ Precio.

Asimismo, es importante tener conocimiento de las características técnicas que poseen los sensores, y que entregan una amplia información sobre la calidad de estos, como son:

- **Resolución:** Es la menor modificación en el valor de la entrada que se puede percibir en el valor de la salida.
- **Sensibilidad:** Es la relación o proporción entre el cambio del valor de salida y el cambio del valor de la entrada.
- **Error:** Es la modificación del valor medido que se obtiene por el sensor, con respecto al valor real. El valor está dado en porcentaje.
- **Precisión:** Es el punto más alto del error que se espera en la medición.
- **Repetitividad:** Es el índice de error generado cuando se realiza la misma medición varias veces.

2.1.2.3. Actuadores

En su libro, Corona (2014) menciona que los actuadores vienen a ser dispositivos que efectúan la conversión de una magnitud física en otro tipo de magnitud física con determinadas propiedades que

consiguen interaccionar con el sistema que los rodea. Por ejemplo, la posición, velocidad, aceleración y fuerza frecuentemente son variables implicadas en esta conversión. De acuerdo con su funcionamiento, estos actuadores se clasifican en neumáticos, hidráulicos y eléctricos.

- **Actuador neumático:** Transforman la energía contenida del aire en un recipiente en trabajo mecánico de actividad rotacional o lineal. El aire se comprime al ejercer presión en las paredes del envase que lo contiene y conforma una forma de energía mecánica que se almacena para ser de su uso posteriormente y valerse para originar fuerza y desplazamiento sobre cierto componente o mecanismo. Como ejemplo de actuadores neumáticos, se presentan a los cilindros neumáticos de efecto simple, doble efecto y sus variantes.
- **Actuador hidráulico:** Los actuadores hidráulicos poseen un funcionamiento muy similar a los actuadores neumáticos, pues los dos son mecanismos que convierten la energía contenida de un fluido a presión en trabajo mecánico de actividad rotatorio o lineal, con la diferencia de que en los actuadores hidráulicos el fluido que se utiliza es frecuentemente aceite mineral pues posee propiedades importantes en el funcionamiento de estos actuadores. Una gran ventaja es la capacidad de operar con presiones muy

altas, lo que eleva la relación potencia-peso. El aceite mineral utilizado también posee un valor bajo de compresibilidad a diferencia del aire en los actuadores neumáticos, lo que permite un desplazamiento suave del mecanismo y ofrece una gran estabilidad frente a las cargas. De forma similar a los actuadores neumáticos, en los actuadores hidráulicos se presentan como ejemplo a los cilindros hidráulicos de efecto simple, doble efecto y sus variantes.

- **Actuador eléctrico:** Los actuadores eléctricos se encargan de cambiar la energía eléctrica en trabajo mecánico de movimiento rotacional o lineal. La base de su desempeño se sustenta en el fenómeno que ocasiona una bobina conductora por la cual circula una corriente eléctrica y que está adentro de un campo magnético. El resultado del escenario descrito es una fuerza electromagnética en la bobina, que genera el desplazamiento de esta, de manera perpendicular al sentido del campo magnético. Entonces, si se requiere de una fuerza mayor de desplazamiento, se debe aumentar la cantidad de espiras en la bobina. Esta bobina se conoce comúnmente como el devanado de un motor eléctrico. Como ejemplos de actuadores eléctricos se presentan a los motores de corriente continua, motores de corriente alterna y servomotores, donde los motores de corriente alterna son los actuadores que se

utilizan con mayor frecuencia, debido a que la fuente de alimentación está apta en la red de distribución eléctrica.

2.1.3. Productividad

De acuerdo con Bocangel et al. (2021), se refiere a la productividad como un parámetro que permite medir el grado de producción, tanto de bienes y servicios, que son los agentes de salidas, a través de los recursos utilizados, que son los agentes de entradas, evaluando la eficiencia de los procesos, siendo los bienes o servicios tangibles o intangibles que se utilizan en un periodo de tiempo determinado. Por tanto, la productividad es medida mediante la eficiencia y eficacia, como se muestra a continuación:

$$\text{Valor} = 100\% - (\text{Eficiencia} \times \text{Eficacia})$$

$$\text{Valor} = 100\% - \left(\frac{\text{Salida útil de materia prima}}{\text{Entrada de materia prima}} \times \frac{\text{Resultado alcanzado}}{\text{Resultado previsto}} \right)$$

Donde:

Salida útil de materia prima: Es la porción de tonelaje obtenido en las condiciones esperadas.

Entrada de materia prima: Es la porción de tonelaje ingresante a la línea de pintura.

Resultado alcanzado: Son las horas hombre productivas durante el proceso de pintado.

Resultado previsto: Son las horas hombre trabajadas durante el pintado de los perfiles estructurales.

De acuerdo con lo indicado por Carro (2000), la productividad conlleva la optimización del proceso productivo. Esa optimización supone una evaluación comparativa beneficiosa entre la cuantía de recursos empleados en producir y la cuantía de servicios y bienes que se han producido. Por tanto, la productividad es una razón entre lo que ha sido originado por un sistema (productos o salidas) y los medios aprovechables de diferente naturaleza para originarlos (suministros o entradas).

De manera similar, Prokopenko (1989) menciona que un concepto general de la productividad viene a ser la razón entre lo que se produce por un sistema y los recursos necesarios y suministros que se utilizaron para alcanzarla. Por consiguiente, la productividad está definida como el empleo eficaz de diversos recursos (como son el capital, el trabajo, la energía, tierra, suministros, etc.) en la producción de bienes y servicios. Un incremento de la productividad representa la generación de más producto (mayor calidad y volumen) empleando la misma cantidad de recursos o insumos. Otra forma en la cual se define la productividad viene a ser la relación entre la cantidad que se produce y el tiempo que se tomó en fabricarlos. Como el tiempo es una magnitud universal y no puede ser controlado por el hombre, viene a ser un excelente denominador, de tal manera que a menor tiempo de fabricación se obtiene un sistema más productivo.

En su libro, Carro (2000), nos explica que se presenta un error semántico acerca del vocablo productividad. Es importante detallar los conceptos de los términos eficiencia, rendimiento, aprovechamiento y rentabilidad, debido a que el diccionario de la lengua no proporciona el significado técnico de estos. A continuación, se describen los términos mencionados, incluyendo ciertos ejemplos:

- **Rendimiento:** Es una medida del nivel de empleo de un capital (un terreno, una máquina, etc.). Por ejemplo, la capacidad teórica de un horno es de 1000 kilogramos por hora y debido a paradas de la máquina o dificultades con el procesamiento del producto, se llegó a producir 850 kilogramos por hora en un periodo dado, entonces el rendimiento sería el cociente de esos valores expresado en porcentaje, resultando 85%.
- **Aprovechamiento:** Es una medida del nivel de empleo de las materias primas y los suministros. Por ejemplo, si se considera que, para producir un tipo de pan, de acuerdo con la forma natural del proceso, se llega a consumir de manera estándar 0.90 kilogramos de harina por cada kilogramo de producto final. Ahora, en un periodo determinado, el consumo promedio real resulta de 0.95 kilogramos de harina por cada kilogramo de producto final, entonces el aprovechamiento sería el cociente de estos valores expresado en porcentaje, resultando 94.74%.
- **Rentabilidad:** La tasa de rentabilidad es la proporción entre la ganancia obtenida y el costo total de los bienes utilizados en

producirla. Varias compañías decidieron utilizar este índice con distintas variantes con el fin de alcanzar valores más realistas o prácticos.

2.1.4. Eficiencia

De acuerdo con Bocangel et al. (2021), la eficiencia es el empleo de recursos de un modo más acorde a fin de satisfacer la necesidad de un determinado proceso, por lo que se entiende a la eficiencia como la manera correcta en relación con los recursos existentes para una determinada actividad.

2.1.5. Eficacia

De acuerdo con Bocangel et al. (2021), la eficacia se encuentra relacionada con concretar los objetivos que se han definido, es decir, mediante el desarrollo de un conjunto de actividades se logra cumplir lo establecido, por lo tanto, se entiende como la cualidad o capacidad de lograr un objetivo en particular.

2.1.6. Indicador económico VAN

Es un indicador económico empleado para obtener la rentabilidad de una inversión o un proyecto al calcular el valor actual en flujos de efectivo futuro que se generaría al realizar un proyecto, por lo que para el cálculo del VAN se refiere al descuento del flujo del efectivo futuro esperado considerando una tasa de descuento apropiada, por lo que, de tener un VAN positivo, esto indica que se genera más ingresos que el capital,

mientras que un VAN negativo indica que el proyecto está en pérdida. La metodología en su uso consiste en el descuento al momento actual de todos los flujos de capital del proyecto (Beltrán y Cueva, 2021).

La fórmula para el cálculo de VAN es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+K)^t} - I_0$$

Donde:

V_t , manifiesta los flujos en cada estadio L .

I_0 , es la valía del desembolso de dinero inicial.

n , es la cantidad de estadios que se ha considerado.

K , d o TIR es el interés a considerar.

2.1.7. Indicador económico TIR

La Tasa Interna de Retorno (TIR), se emplea en análisis de inversiones y finanzas, pues se entiende como la tasa que rinde de una inversión o un plan, por lo que el TIR se emplea para evaluar si un proyecto es rentable, ya que la tasa de retorno es mayor a la esperada. Por lo tanto, es una herramienta útil para comprobar la rentabilidad relativa en distintos proyectos y determinar cual ofrece una mayor tasa de rendimiento (Beltrán y Cueva, 2021).

La fórmula para el cálculo del TIR es:

$$0 = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)^1} + \frac{F_n}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n}$$

$$0 = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{F_j}{(1 + TIR)^j}$$

Donde:

F_j = Flujo neto en el estadio j

I_0 = Inversión en el estadio 0

n = Horizonte de evaluación

2.1.8. Recuperación de la inversión (PRI)

Es conocido también como período de recuperación o payback, por lo que es un indicador clave en el análisis de inversiones al permitir establecer el estadio de recuperación de una inversión inicial de un proyecto. Por ello, para su cálculo se realiza la fracción del gasto de capital inicial por el flujo de caja neto originado por el proyecto en distintos periodos, siendo el tiempo de periodo de recuperación la suma de flujos de efectivo netos hasta que dicha suma sea mayor o igual a la inversión inicial. Por lo expuesto, en conjunto con el TIR y el VAN son los indicadores claves para determinar la viabilidad de un proyecto (Beltrán y Cueva, 2021).

$$PRI = a + \frac{(b - c)}{d}$$

Donde:

a: Año, mes o periodo inmediato anterior donde se rescata la inversión

b: Inversión inicial

c: Utilidad efectiva acumulada del año, mes o periodo inmediato anterior donde se rescata la inversión

d = Flujo de caja efectivo del año, mes o periodo donde se rescata la inversión

2.2. MARCO CONCEPTUAL

En esta sección se describirán aquellas terminaciones que, dependiendo del contexto en el cual se hacen mención, poseen significados diferentes.

- a) **Ruido:** En esta investigación, este término hace referencia a una perturbación o señal inusual que se produce en un sistema electrónico y que puede o no afectar la información con la cual se está trabajando.
- b) **Arquitectura:** Este término hace referencia a la representación de un sistema, sus interrelaciones, la correspondencia de funciones que existe entre el hardware y software y la interacción con el ser humano.
- c) **Tensión:** Este término se utiliza para indicar una diferencia de potencial eléctrico de dos puntos en una red eléctrica.
- d) **Corriente:** Este término hace referencia al desplazamiento de cargas eléctricas que recorren a lo largo de un conductor o material.

CAPITULO III

HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.1. HIPÓTESIS

El diseño y uso de un sistema de automatización en una cabina de pintura de piezas de acero aumentará la productividad de una mediana empresa metalmeccánica.

3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Seguidamente, se establecen las variables que se están estudiando en el presente trabajo de suficiencia:

3.2.1. Variable Independiente (VI)

V.I.: Automatización de una cabina de pintura de piezas de acero.

De acuerdo con Ebel (2008) La automatización implica la integración del conocimiento de diversas ramas de la ingeniería (por ejemplo, la ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica, etc.). Esta variable abarca el desarrollo de los diseños mecánicos, eléctricos y electrónicos que se

integran en el sistema automatizado. En la tabla 1 se detallan las dimensiones e indicadores de esta variable.

Tabla 1

Variable independiente.

Variable Independiente (V.I.): Automatización de una cabina de pintura			
Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
La automatización implica la integración del conocimiento de diversas ramas de la ingeniería (por ejemplo, la ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica, etc.).	Área mecánica	Dimensión volumétrica del sistema	Ficha de levantamiento de información en campo
	Área eléctrica	Voltaje de alimentación	Ficha de levantamiento de información en campo
	Área de automatización	Cantidad de variables analógicas y digitales	Ficha de levantamiento de información en campo

Nota: Variable independiente basada en el libro “Fundamentos de la técnica de automatización” de Ebel (2008). Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Variable Dependiente (VD)

V.D.: Productividad.

De acuerdo con Carro (2000), una forma de medir el nivel de productividad es mediante el cociente de una cantidad física de salida (por ejemplo, toneladas, unidades, metros, etc.) y una cantidad física de entrada (por ejemplo, horas-máquina, horas hombre, etc.). En la tabla 2, se detallan las dimensiones e indicadores de esta variable.

Tabla 2*Variable dependiente.*

Variable Dependiente (V.D.): Productividad			
Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Una forma de medir el nivel de productividad es mediante el cociente de una cantidad física de salida (por ejemplo, toneladas, unidades, metros, etc.) y una cantidad física de entrada (por ejemplo, horas-máquina, horas hombre, etc.)	Producción	Cantidad de toneladas producidas	Ficha de recolección de datos
	Tiempo	Horas máquina	Ficha de recolección de datos

Nota: Variable dependiente basada en el libro “Administración de las Operaciones – Productividad y Competitividad” de Carro (2000). Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente informe posee un enfoque cuantitativo. Un enfoque cuantitativo, de acuerdo a lo indicado por Hernández (2014), primero, debe tener un proceso secuencial desde el planteamiento del problema, determinación del objetivo, establecimiento de la hipótesis y variables, e idear un plan para probar dicha hipótesis en un contexto determinado y extraer una serie de conclusiones; segundo, porque existe la necesidad de ser medible, estimar y evaluar magnitudes relacionadas al problema de investigación, con el uso de la recopilación de la información, la indagación estadística y la cuantificación; y, tercero, porque se desarrolla en la “realidad externa” del individuo, dicho de otro modo, en la realidad objetiva donde el punto de vista o pensamiento de los individuos no interfieren en los resultados.

El presente trabajo de suficiencia posee un alcance del tipo explicativo. El tipo de alcance explicativo de la investigación, también expuesto por Hernández

(2014), debe estar orientado a dar respuesta por los motivos de los fenómenos ya sea físicos o sociales. Se enfoca en exponer el porqué de un determinado evento o fenómeno y explicar las condiciones en las cuales se presentan.

Se ha determinado que el diseño de investigación para el presente informe es pre-experimental, teniendo como referencia a Espinoza (2010), quien define que en el diseño de investigación pre-experimental se debe considerar un sector con pre-prueba y post prueba, para posterior comparar las mediciones realizadas en el grupo antes de la prueba con los resultados después del tratamiento aplicado.

4.2. UNIDAD DE ANÁLISIS

En su libro, Hernández (2014) señala que la unidad de análisis depende del problema planteado y de la magnitud de la investigación. En el presente documento, la unidad de análisis será la cabina de pintado de la línea de pintura electrostática de la mediana empresa metalmecánica familiar con razón social “ESTANTERIAS METÁLICAS JRM S.A.C.”, situado en el distrito de San Juan de Lurigancho, en la región de Lima y que ofrece la fabricación de estructuras metálicas para la instalación y montaje de almacenes y naves industriales.

4.3. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN

Dentro de las etapas de la investigación, considerando el enfoque cuantitativo, el alcance experimental y diseño explicativo, se expone:

4.3.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica de recopilación de los datos a emplear será la observación, pues permite reunir y organizar información acerca del objeto de estudio que posee conexión con el problema de investigación, y los instrumentos a utilizar serán las fichas de recolección de los datos. En el anexo 1, se muestra la ficha de levantamiento de dimensiones en campo y datos eléctricos. En el anexo 2, se presenta la ficha de recolección de productividad.

4.3.2. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

El procesamiento es la codificación de la información, y se realiza transfiriendo los datos recolectados en las fichas de observación hacia un documento digital mediante uno o varios softwares de gestión, y luego se procede a organizarlos. En este caso se hará empleo de hojas de cálculo de Microsoft Excel y hojas de texto de Microsoft Word.

4.3.3. ANÁLISIS DE DATOS

En este apartado se indican los softwares de análisis de datos, interpretación, modelado, y simulación que se utilizarán en la investigación. En este caso, se utilizarán los softwares de Microsoft Excel, AutoCAD, SolidWorks y softwares de programación y simulación de acuerdo con los dispositivos electrónicos seleccionados en el desarrollo de la investigación.

4.4. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 3

Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TECNICA E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATO
¿En qué medida la actividad manual influye en la productividad de una mediana empresa metalmeccánica?	Diseñar un sistema de automatización de una cabina de pintura de piezas de acero para aumentar la productividad de una mediana empresa metalmeccánica.	El diseño y uso de un sistema de automatización en una cabina de pintura de piezas de acero aumentará la productividad de una mediana empresa metalmeccánica.	V.I.: Automatización de una cabina de pintura de piezas de acero.	- Dimensión volumétrica del sistema. - Voltaje de alimentación. - Cantidad de variables analógicas y digitales.	➤ Técnica: Observación ➤ Instrumento: Ficha de levantamiento en campo
			V.D.: Productividad.	- Cantidad de toneladas producidas por hora	➤ Técnica: Observación ➤ Instrumento: Ficha de recolección de datos

Nota: Matriz de consistencia donde se presenta el problema, objetivo, hipótesis y las variables con sus respectivos indicadores.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V

DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

5.1. DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL ÁREA EN ESTUDIO

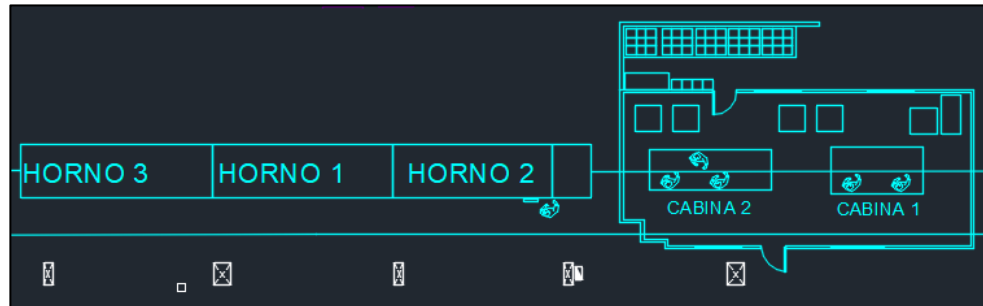
5.1.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE PINTURA

Dentro de la instalación industrial de la empresa metalmecánica se puede identificar diversas áreas, por ejemplo, la zona de trabajo de mecanizado, de corte, de soldadura, de limpieza mecánica y el de pintado. El presente trabajo se centra específicamente en esta última área, el área de la línea de pintura.

La línea de pintura, como se puede observar en la figura 9, se divide en 2 etapas: La primera es la etapa de pintado de polvo electrostático de los perfiles estructurales en las cabinas 1 y 2, luego se pasa a la segunda etapa donde se realiza el curado de la pintura a través de los hornos 1, 2 y 3.

Figura 9

Esquema de la línea de pintura.



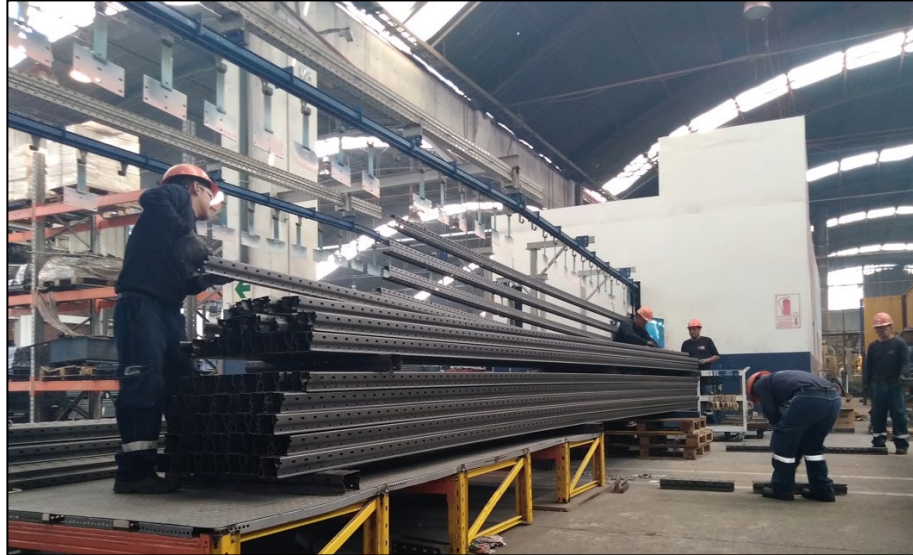
Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PINTADO

Una vez que los perfiles estructurales salen del área de limpieza mecánica, son apilados en parihuelas de madera y colocados a los costados de la cadena de transmisión de la línea de pintura. Cuando ya se tienen una cantidad considerable de tonelaje acumulado se procede a accionar la cadena de transmisión, y los habilitadores cuelgan los perfiles de acero en los ganchos para sostenerlos en la cadena de transmisión en grupos de 5 y así sean trasladados a las cabinas de pintado como se ve en la figura 10. Dentro de las cabinas de pintura, se tienen 3 operarios por cada cabina; un operario se encarga de habilitar la pintura en polvo y configurar la máquina de pintado para el funcionamiento de las pistolas de pintura y los otros 2 operarios se encargan de rociar la pintura en los perfiles estructurales de forma manual, como se indica en la figura 11.

Figura 10

Proceso de habilitado de perfiles estructurales en la línea de pintura.



Fuente: Fotografía tomada en la planta industrial.

Figura 11

Proceso de pintado manual en las cabinas.



Fuente: Fotografía tomada en la planta industrial.

Este proceso, al ser realizado por operarios, no forma capas muy uniformes en los perfiles estructurales, algunos de ellos presentan porosidades o exceso de pintura, como se puede ver en la figura 12. Estos perfiles estructurales al ser evaluados por el departamento de Control de Calidad son reportados como producto no conforme y son derivados nuevamente al área de limpieza mecánica para su reproceso, lo cual supone un gasto adicional en insumos, en horas máquina y en horas hombre.

Figura 12

Perfiles estructurales observados por mala calidad de pintado.



Fuente: Fotografía tomada en la planta industrial.

5.2. PROPUESTA DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

5.2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

Para progresar en el rendimiento en la línea de pintura se propone utilizar un sistema automatizado que reemplace a los operarios y a la vez incorpore nuevas ventajas como son: mayor velocidad del trabajo, uniformidad, calidad del pintado en todas las piezas y reducción de los reprocesos.

Para el sistema automatizado se propone la implementación de un PLC, el cual, a través de una lógica de programación nos permita controlar la activación de las pistolas de pintado, el accionamiento de los motores que generarán el movimiento recíprocante de las pistolas de pintura y así controlar los parámetros, tales como el desplazamiento de perfiles metálicos, rociado de pintura y tiempo del proceso; no obstante, se puede incluir un instrumento de medición de espesores de pintura para identificar posibles zonas que no quedaron uniformes después del proceso.

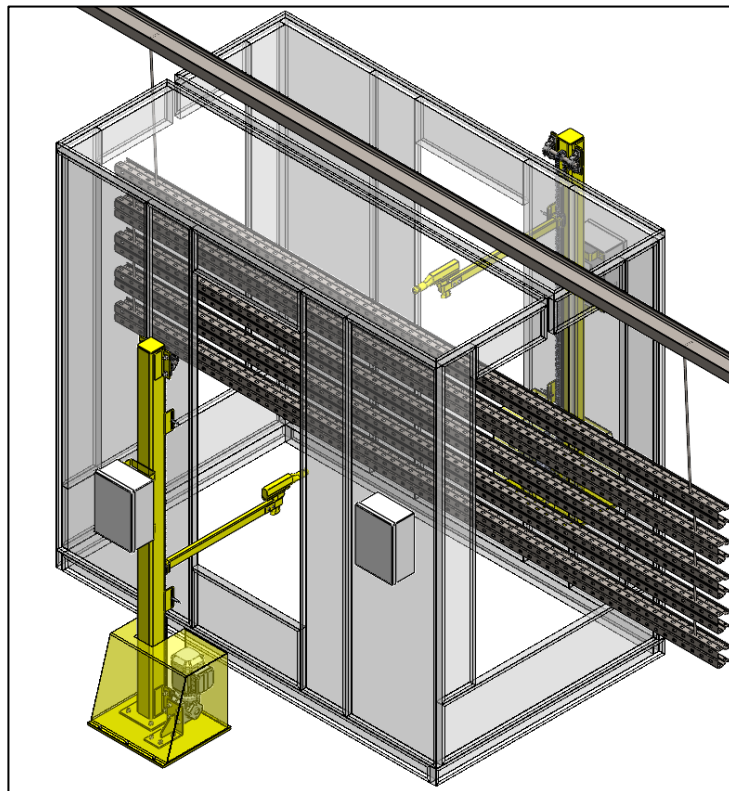
5.2.2. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

En la figura 13, se observa que se tienen dos estructuras que soportan un brazo metálico cada una para sujetar las pistolas de pintura, las cuales están conectadas a su tanque de abastecimiento de pintura en polvo electrostático y a la vez al tablero de control para el encendido, el control del movimiento y el apagado del mismo. Al mismo tiempo, se tienen instalados sensores ultrasónicos que detectarán el ingreso de los

perfiles estructurales, y darán la señal para el inicio del pintado. Mediante esta señal los brazos metálicos comenzarán a desplazarse en movimiento lineal oscilatorio y, simultáneamente, las pistolas estarán rociando la pintura en polvo electrostática sobre los perfiles estructurales de manera uniforme. La velocidad de movimiento de estos brazos estará controlada y dependerá de la velocidad de la cadena de transmisión, la cual es constante para determinadas temperaturas del horno de curado. Una vez que el juego de perfiles estructurales termine de pasar por la cabina pintura, los brazos se detendrán y esperarán la señal para el ingreso del siguiente grupo y así sucesivamente.

Figura 13

Modelamiento 3D del sistema automatizado en la cabina de pintura.



Fuente: Captura de la imagen del modelamiento 3D.

5.3. DESARROLLO DEL DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN PROPUESTO

5.3.1. DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO.

La parte estructural del sistema automatizado está compuesto principalmente por un bastidor, en el cual se tiene sujetado, mediante pernos, un riel de acero, chumaceras con rodamientos para los ejes superior e inferior, el tablero de control y un motorreductor que generará el movimiento rotacional. Por consiguiente, se muestra la tabla 4 con la lista de materiales general del sistema. El esquema estructural mecánico se muestra en la figura 14.

Tabla 4

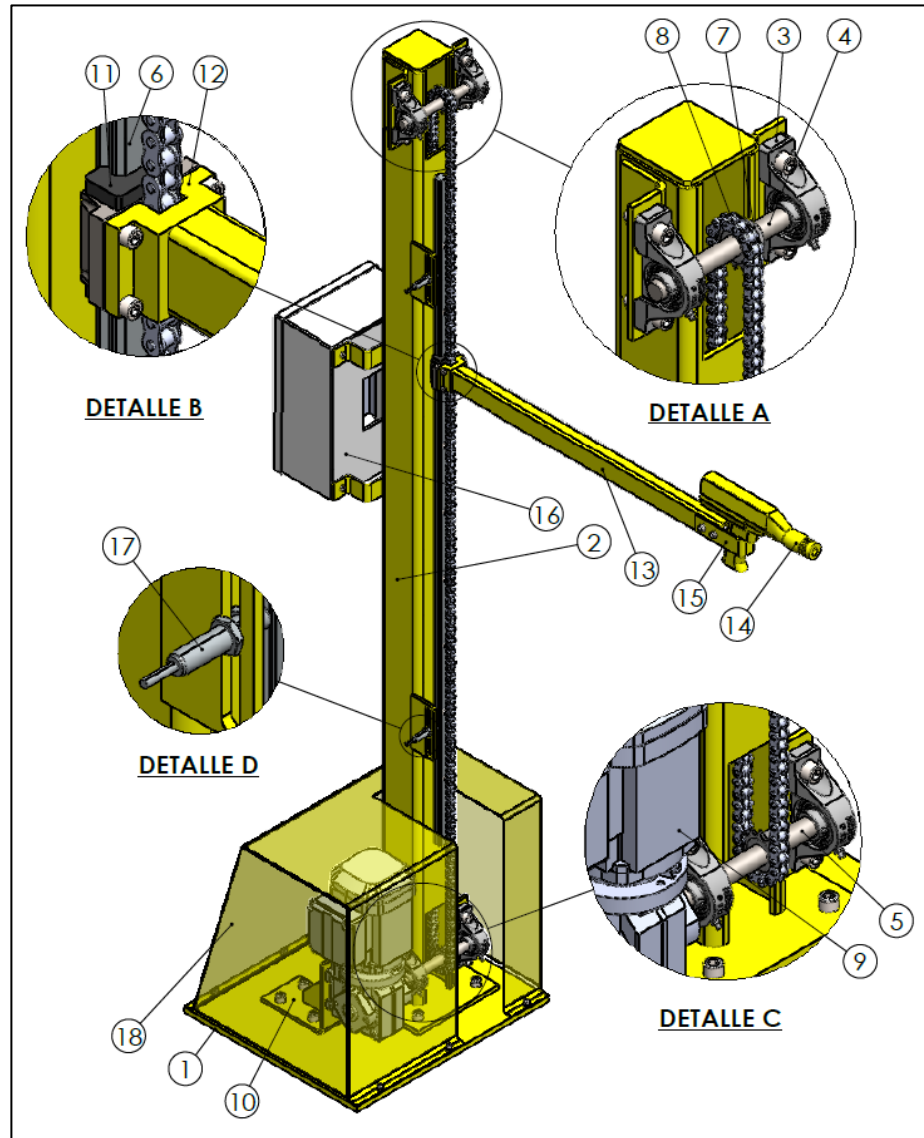
Lista de materiales del diseño mecánico.

N°	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	Base principal	ASTM A36	1
2	Bastidor	ASTM A36	1
3	SKF_UCP 204	Hierro fundido/Acero	4
4	Eje Ø20x210mm	VCN Bonificado	1
5	Eje Ø20x320mm	VCN Bonificado	1
6	Riel de acero THK	Acero inoxidable	1
7	Rueda dentada de 12 dientes	VCN	2
8	Cadena HV410 1/2"x1/8"	Acero al carbono	1
9	Motorreductor 0.5HP	Hierro fundido/Acero	1
10	Soporte de motorreductor	ASTM A36	1
11	Bloque móvil deslizante THK	Acero inoxidable	1
12	Amarre macho pequeño	AISI 1045	1
13	Brazo soporte de pistola	ASTM A36	1
14	Pistola de pintura	Plástico	1
15	Abrazadera para pistola	ASTM A36	1
16	Tablero de control 150x250x350	Poliéster	1
17	Sensor inductivo	Acero inoxidable	2
18	Protector Base	Acero galvanizado	1

Nota: Lista de la descripción de los componentes que conforman la estructura del diseño mecánico. Fuente: Elaboración propia.

Figura 14

Esquema del diseño mecánico del sistema automatizado.



Fuente: Elaboración propia. Captura de la imagen del modelamiento 3D.

El bastidor está compuesto por componentes estructurales de material acero ASTM A36 y el tubo cuadrado de ASTM A500 GrB/C. Seguidamente, en la tabla 5, se indica la lista de materiales del bastidor y en la figura 15 su esquema estructural.

Tabla 5

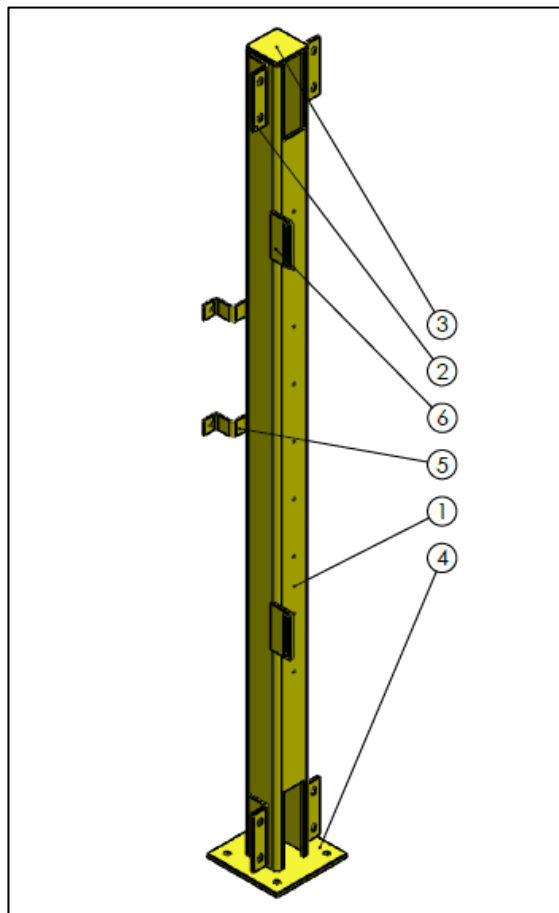
Lista de materiales del bastidor.

N°	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	Tubo cuadrado 1/4"x100x2100	ASTM A500 GrB/C	1
2	Plancha plegada 1/4"x150x110	ASTM A36	4
3	Tapa cuadrada 1/4"x94	ASTM A36	1
4	Base cuadrada 3/8"x210	ASTM A36	1
5	Plancha plegada 1/8"x40x330	ASTM A36	2
6	Plancha 1/4"x120x60	ASTM A36	2

Nota: Lista de la descripción de los componentes estructurales que conforman el bastidor. Fuente: Elaboración propia.

Figura 15

Esquema del diseño estructural del bastidor.

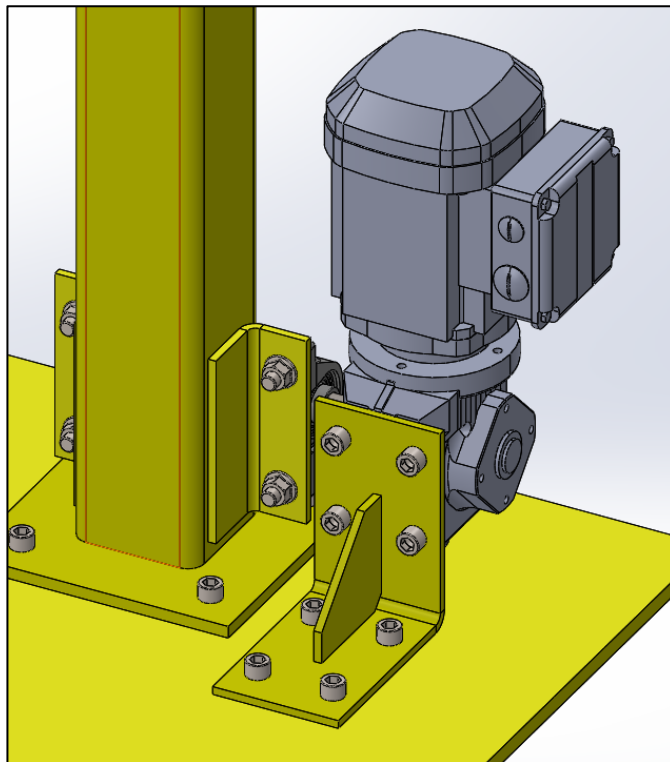


Fuente: Elaboración propia. Captura de la imagen del modelamiento 3D.

El motorreductor (que genera el movimiento rotacional) está sujeto a un soporte de plancha plegada reforzado con una cartela, ambas de material ASTM A36, como se puede observar en la figura 16.

Figura 16

Motorreductor montado en la estructura.

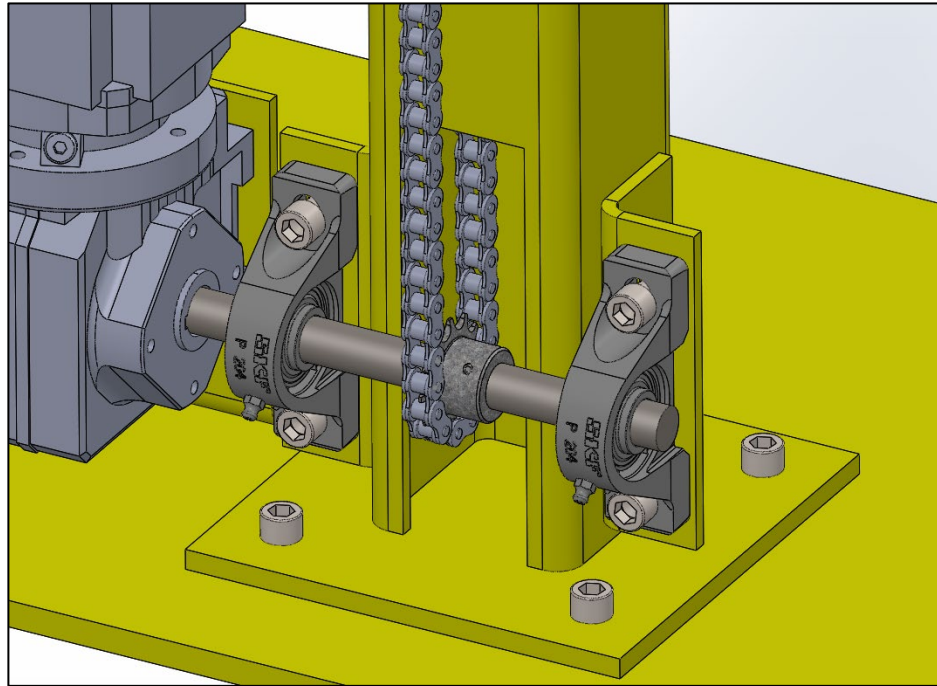


Fuente: Elaboración propia. Captura de la imagen del modelamiento 3D.

Al mismo tiempo, este motorreductor está montado en un eje, el cual está soportado por las chumaceras con rodamientos SKF_UCP 204 y transmite el movimiento rotacional a la rueda de 12 dientes. Dicha rueda se conecta a la cadena HV410 generando el movimiento lineal como se demuestra en la figura 17.

Figura 17

Eje con rueda dentada soportado por dos chumaceras.

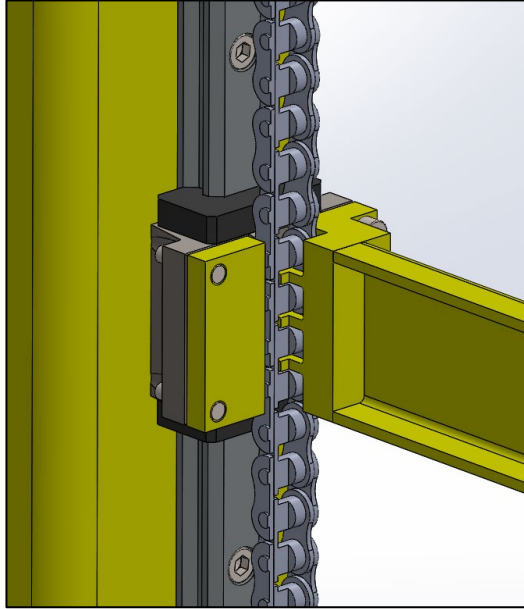


Fuente: Elaboración propia. Captura de la imagen del modelamiento 3D.

En el bastidor está sujetado, mediante pernos, un riel guía de movimiento lineal con su bloque de movimiento lineal THK. Este último seguirá el movimiento de la cadena mediante el amarre de acero que se observa en la figura 18. El bloque de amarre está soldado a un brazo estructural ASTM A36, el cual, mediante una abrazadera en el extremo opuesto, sujeta a la pistola de pintura en polvo electrostática tal como se visualiza en la figura 19. Todo este diseño y modelamiento descrito en los párrafos anteriores se desarrolló mediante el software de diseño mecánico SolidWorks.

Figura 18

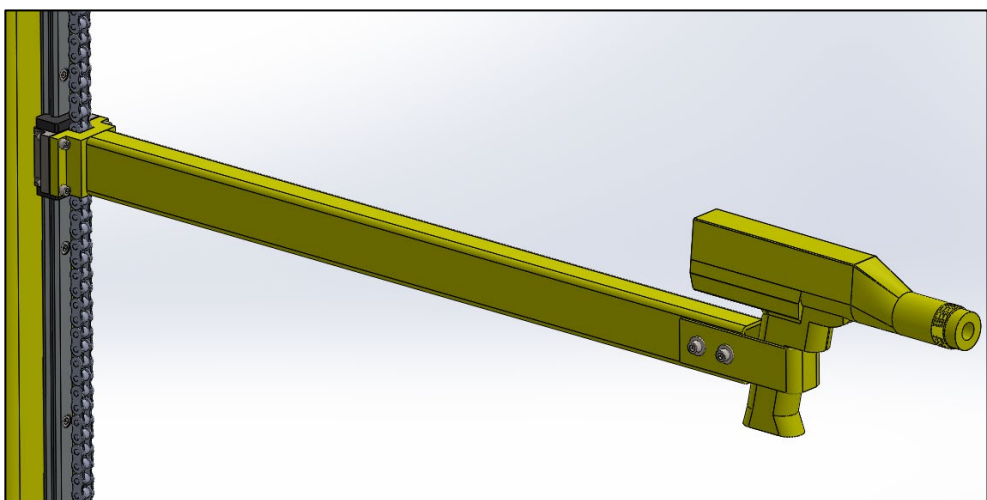
Vista de corte del bloque móvil deslizante con la cadena y el amarre de acero.



Fuente: Elaboración propia. Captura de la imagen del modelamiento 3D.

Figura 19

Amarre de la pistola de pintura al brazo de acero mediante una abrazadera.

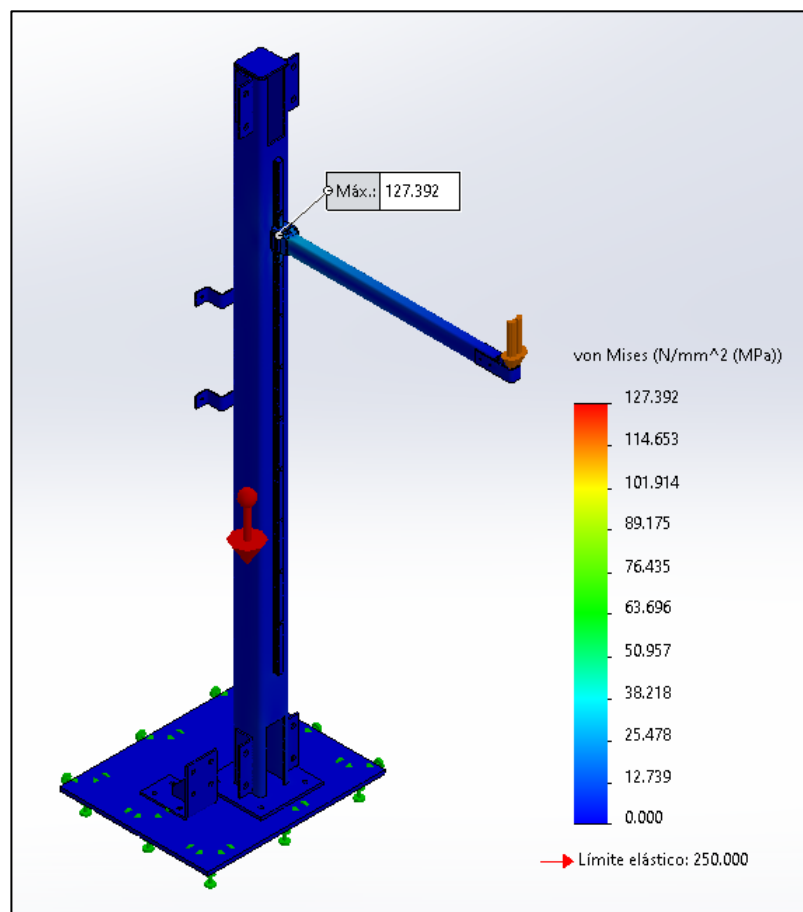


Fuente: Elaboración propia. Captura de la imagen del modelamiento 3D.

Para validar el diseño estructural, se realizó un análisis estático utilizando el software SolidWorks Simulation. En este análisis se consideró un escenario crítico donde todos los componentes tienen asignado el material ASTM A36, con un límite de fluencia de 250 MPa, también una sujeción fija en la base de la estructura, un peso de 200 N en el extremo del brazo y la gravedad ($g=9.81 \text{ m/s}^2$). Los resultados de los esfuerzos se indican en la figura 20, obteniendo un esfuerzo máximo de 127 MPa.

Figura 20

Análisis estructural estático. Resultado de esfuerzos

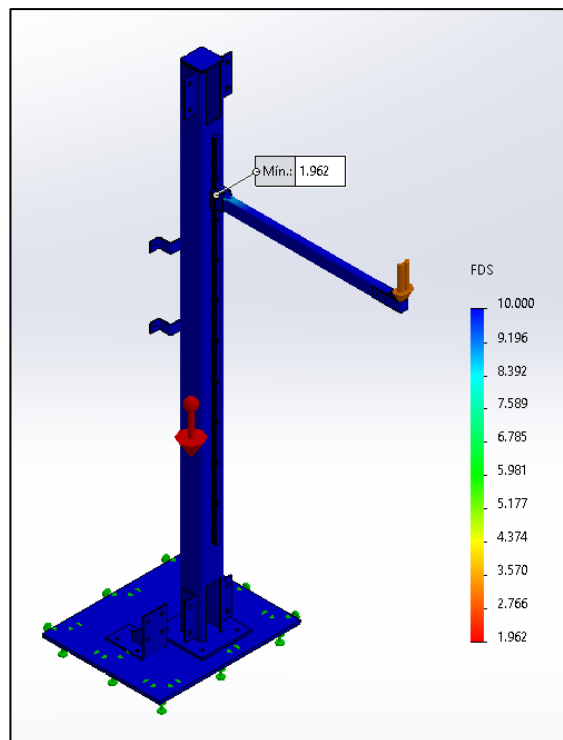


Fuente: Elaboración propia. Captura de la imagen del modelamiento 3D.

En la figura 21, se demuestra el factor de seguridad mínimo de 1.96, que viene a ser la razón entre el límite de fluencia de 250 MPa entre el esfuerzo máximo obtenido de 127 MPa. Con este factor de seguridad podemos concluir que el diseño estructural modelado no presentaría fallas por deformaciones. En los anexos se presenta el informe completo sobre el análisis estructural realizado.

Figura 21

Análisis estructural estático. Resultado del factor de seguridad



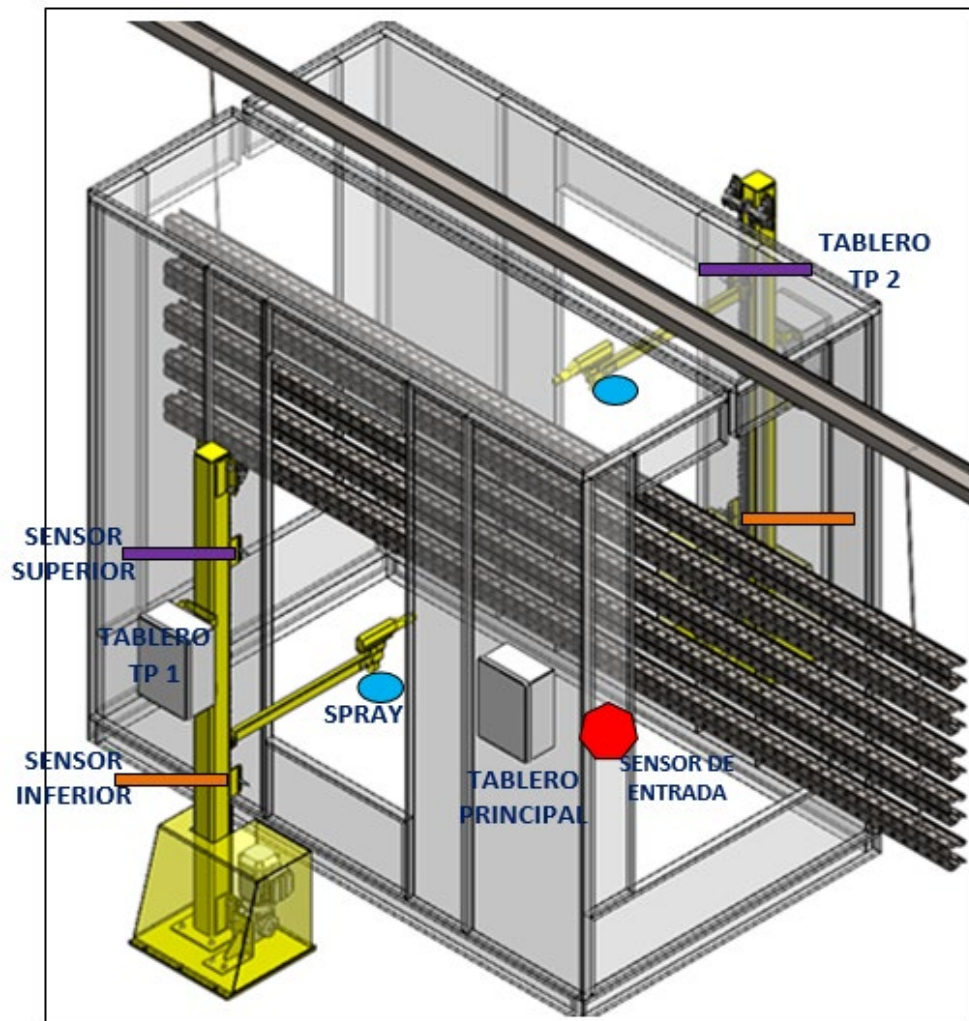
Fuente: Elaboración propia. Captura de la imagen del modelamiento 3D.

5.3.2. DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

En el diseño del sistema automatizado, primero se debe determinar las variables que se van a considerar dentro del algoritmo y la programación en el PLC, de acuerdo con la secuencia lógica del procedimiento de pintado. En la figura 22, se observan las señales de entrada y salida que se están considerando para la lógica y programación.

Figura 22

Sistema automatizado en una cabina de pintura de piezas de acero



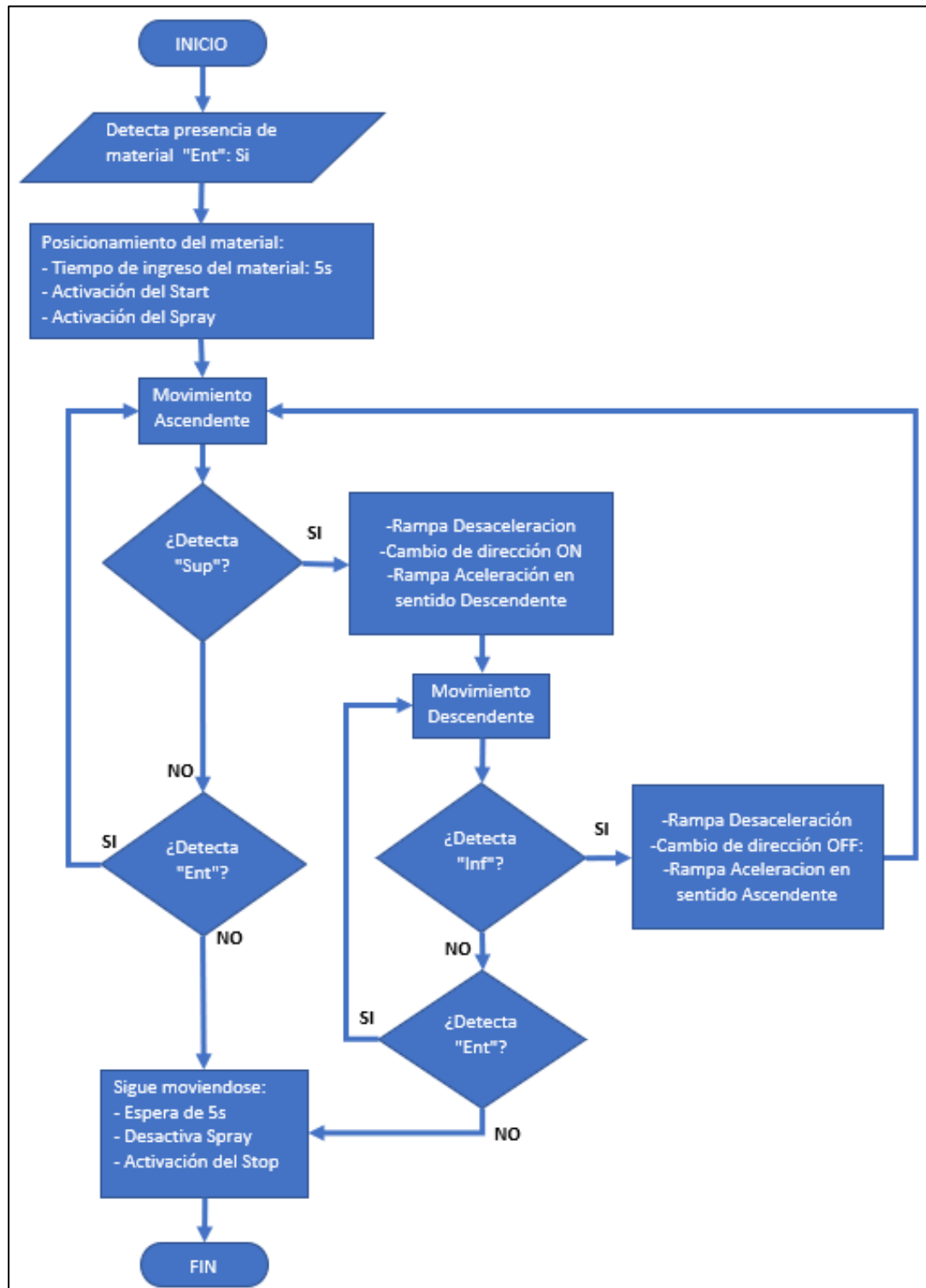
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 22, se observa el sistema automatizado en la cabina de pintura de piezas de acero, la cual posee un tablero principal y dos tableros secundarios para cada equipo, con pistolas de rociado, denominados TP1 y TP2. Así mismo, cada equipo posee sensores ultrasónicos superiores e inferiores para indicar el cambio de giro del motor y así el brazo pueda realizar el movimiento recíprocante para el rociado de la pintura, mientras que la cabina posee un sensor ultrasónico de entrada para activar o desactivar los brazos cuando ingresen las piezas de acero.

A continuación, en la figura 23, se contempla el diagrama de flujo del procedimiento de pintado automatizado.

Figura 23

Diagrama de flujo del proceso de pintado automatizado.



Fuente: Elaboración propia.

Para la programación se utilizó el PLC Vision V130 J T38 en el software UniLogic de Unitronics (ver anexo IV), donde se definieron las entradas y salidas que se indican en las tablas 6 y 7, respectivamente. Así mismo, el diagrama de conexión de las variables con el PLC se visualiza en las figuras 24, 25 y 26.

Tabla 6

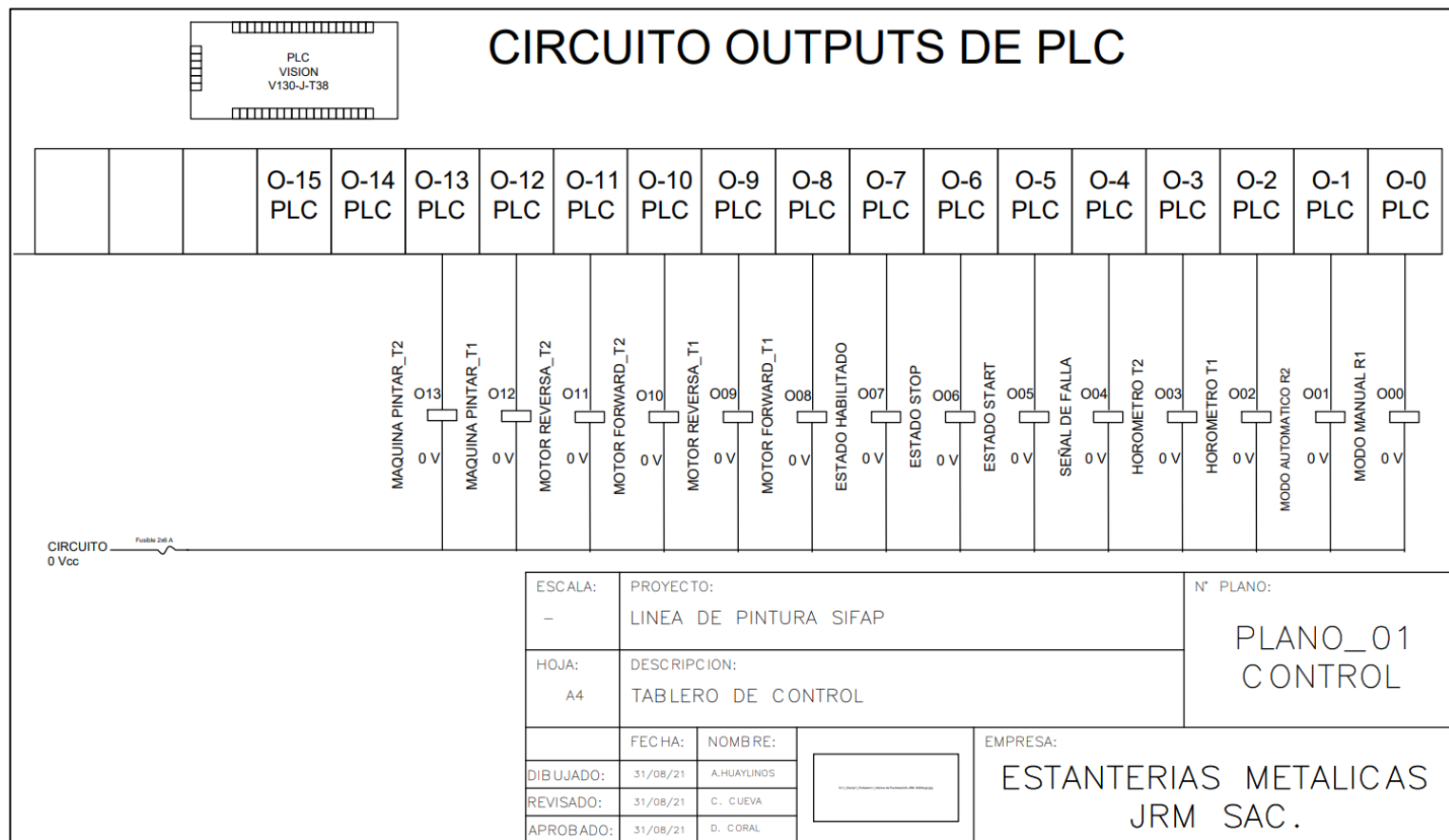
Descripción de las entradas del PLC V130 J T38.

Tablero	Grupo	Descripción	Señal
TP	Tablero Principal	Modo Manual	I16
TP	Tablero Principal	Modo Automático	I17
TP	Tablero Principal	Pulsador Start Proceso	I18
TP	Tablero Principal	Pulsador Stop Proceso	I19
T1	Tablero Reciprocador 1	Pulsador Subir - Modo Manual	I15
T1	Tablero Reciprocador 1	Pulsador Bajar - Modo Manual	I14
T1	Tablero Reciprocador 1	Pulsador Test Pintura - Modo Manual	I13
T2	Tablero Reciprocador 2	Pulsador Subir - Modo Manual	I9
T2	Tablero Reciprocador 2	Pulsador Bajar - Modo Manual	I8
T2	Tablero Reciprocador 2	Pulsador Test Pintura - Modo Manual	I7
TP - T1 - T2	Alarmas	Pulsador de emergencia	I21
T1	Alarmas	Falla de Equipo Pintura 1	I1
T2	Alarmas	Falla de Equipo Pintura 2	I2
T1	Alarmas	Falla de Variador 1	I1
T2	Alarmas	Falla de Variador 2	I0
TP	Sensores	Sensor de material en la Cadena - Ingreso	I20
T1	Sensores	Sensor de material en la Cadena - Fin 1	I10
T2	Sensores	Sensor de material en la Cadena - Fin 2	I11
T1	Sensores	Sensor Arriba 1	I12
T2	Sensores	Sensor Arriba 2	I6
T1	Sensores	Sensor Abajo 1	I11
T2	Sensores	Sensor Abajo 2	I4

Fuente: Elaboración propia.

Figura 26

Diagrama de salidas del PLC



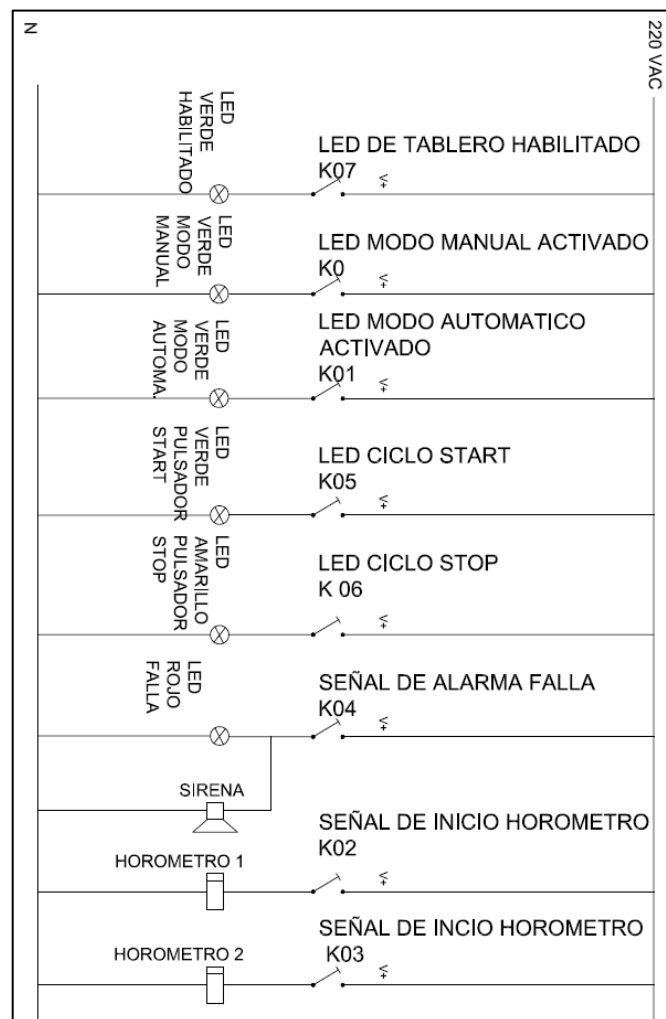
Fuente: Elaboración propia.

5.3.3. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Tal como se identificó inicialmente, el sistema automatizado cuenta con tres tableros de control, donde el principal contiene el PLC, mientras que los dos secundarios poseen un variador de velocidad y las pistolas de pintura, que, según la lógica establecida en el PLC, realizan el movimiento requerido para un correcto pintado. Posteriormente, se indican la conexión eléctrica de los variadores de velocidad:

Figura 27

Diagrama de conexión eléctrica de los variadores de velocidad

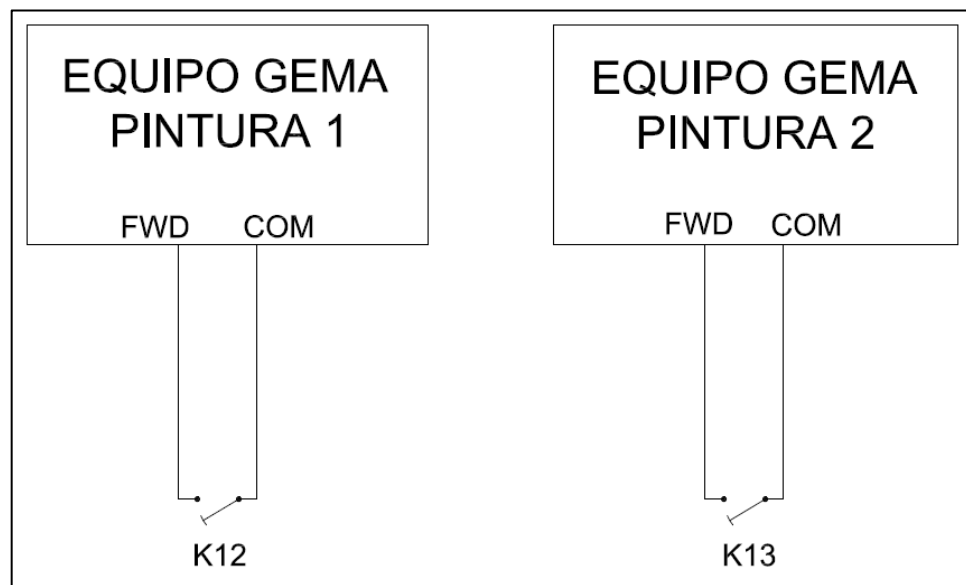


Fuente: Elaboración propia.

Como ya se mencionó, el sistema automatizado posee dos pistolas que se encuentran rociando pintura a las piezas de acero que se encuentran en la cabina, estas pistolas se alimentan mediante mangueras desde los equipos GEMA donde se acumula la pintura en polvo. Para activar las pistolas se deben conectar los equipos GEMA a unos contactores en los tableros y de esta manera controlar su activación. En la figura 28 se indica esta conexión.

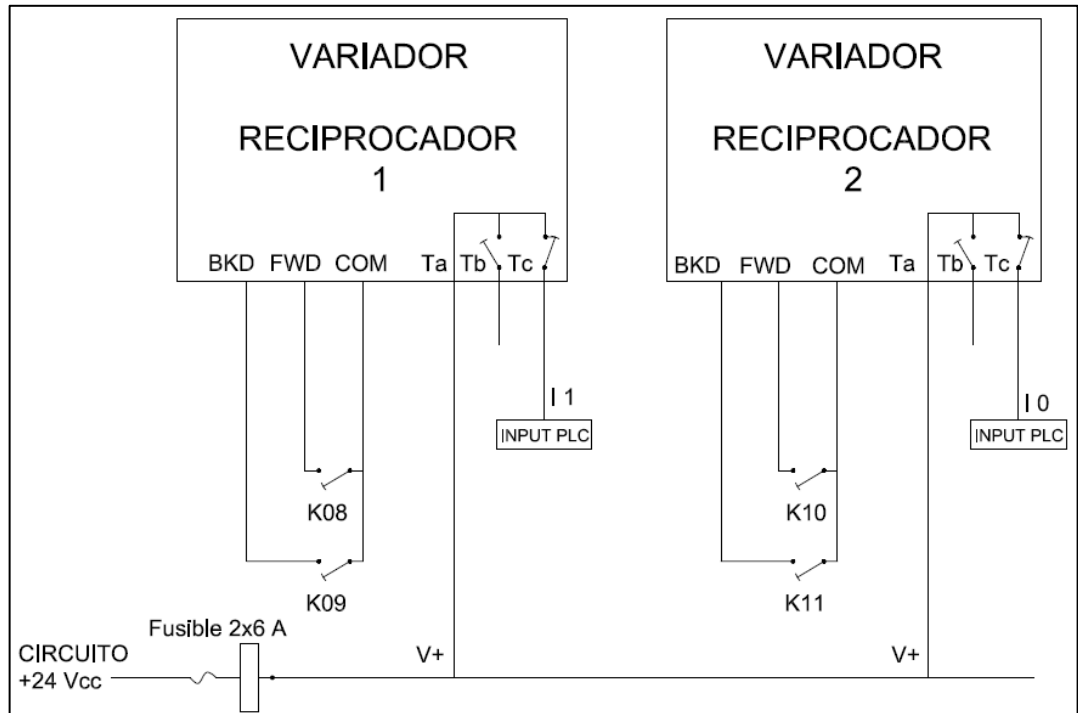
Figura 28

Conexión de las pistolas de pintura



Fuente: Elaboración propia.

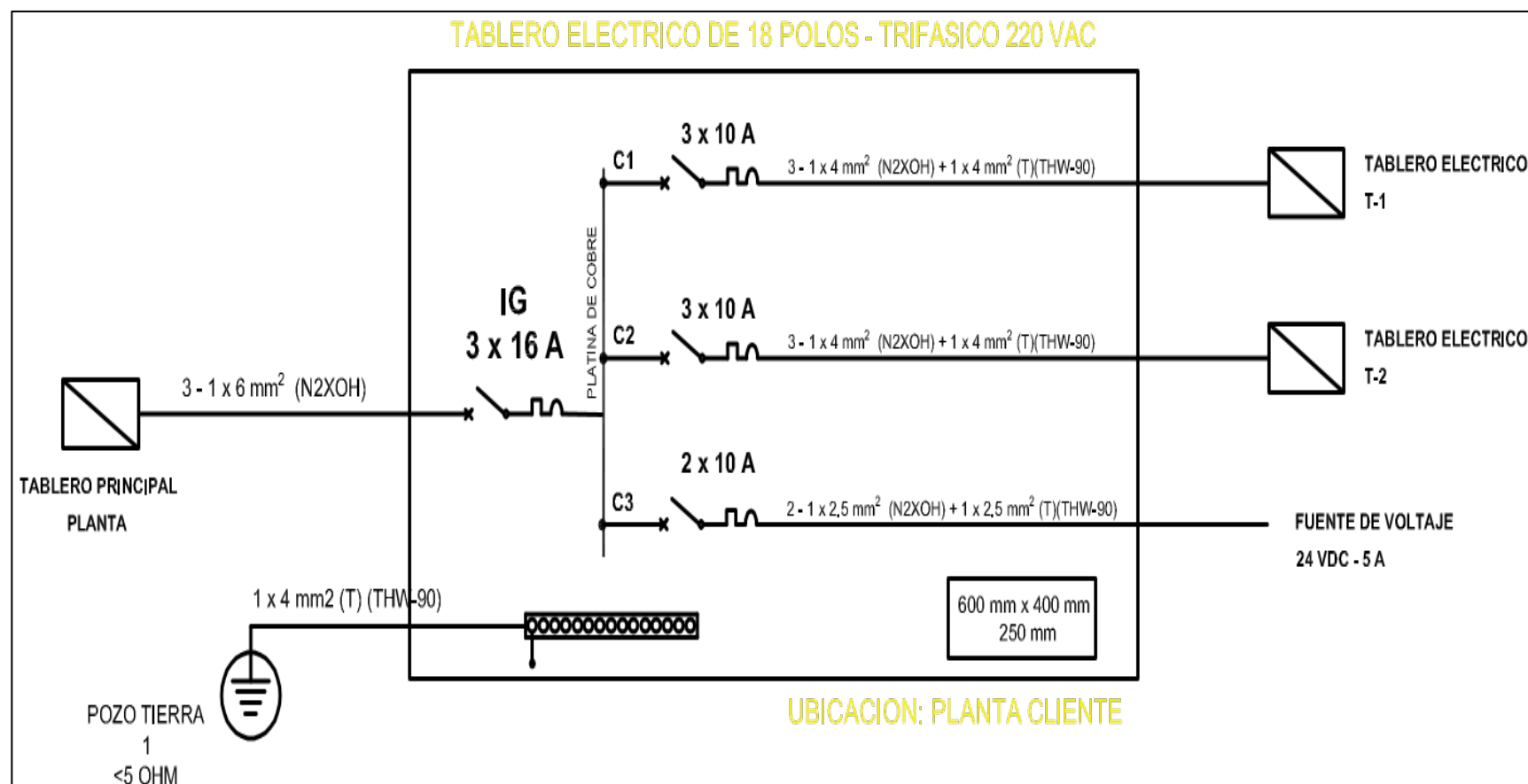
De tal forma, se demuestra la conexión para el funcionamiento de los variadores de velocidad según la lógica establecida en el PLC.

Figura 29*Conexión de los variadores de velocidad**Fuente: Elaboración propia.*

En la figura posterior, se visualiza el plano del diagrama unifilar del tablero principal que gobierna la lógica de control, del TP1 y TP2, respectivamente.

Figura 30

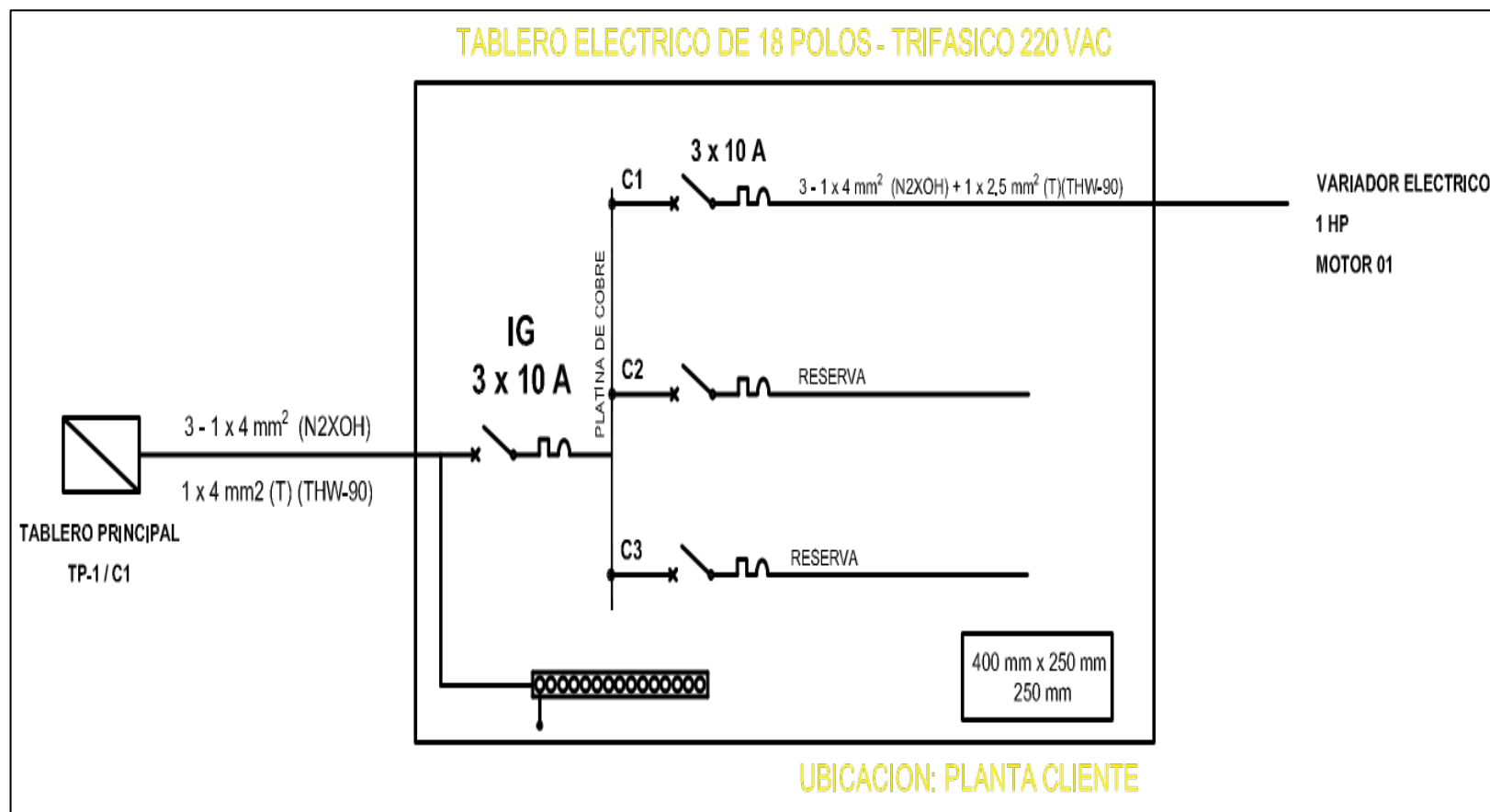
Plano del diagrama unifilar del tablero principal del sistema automatizado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 31

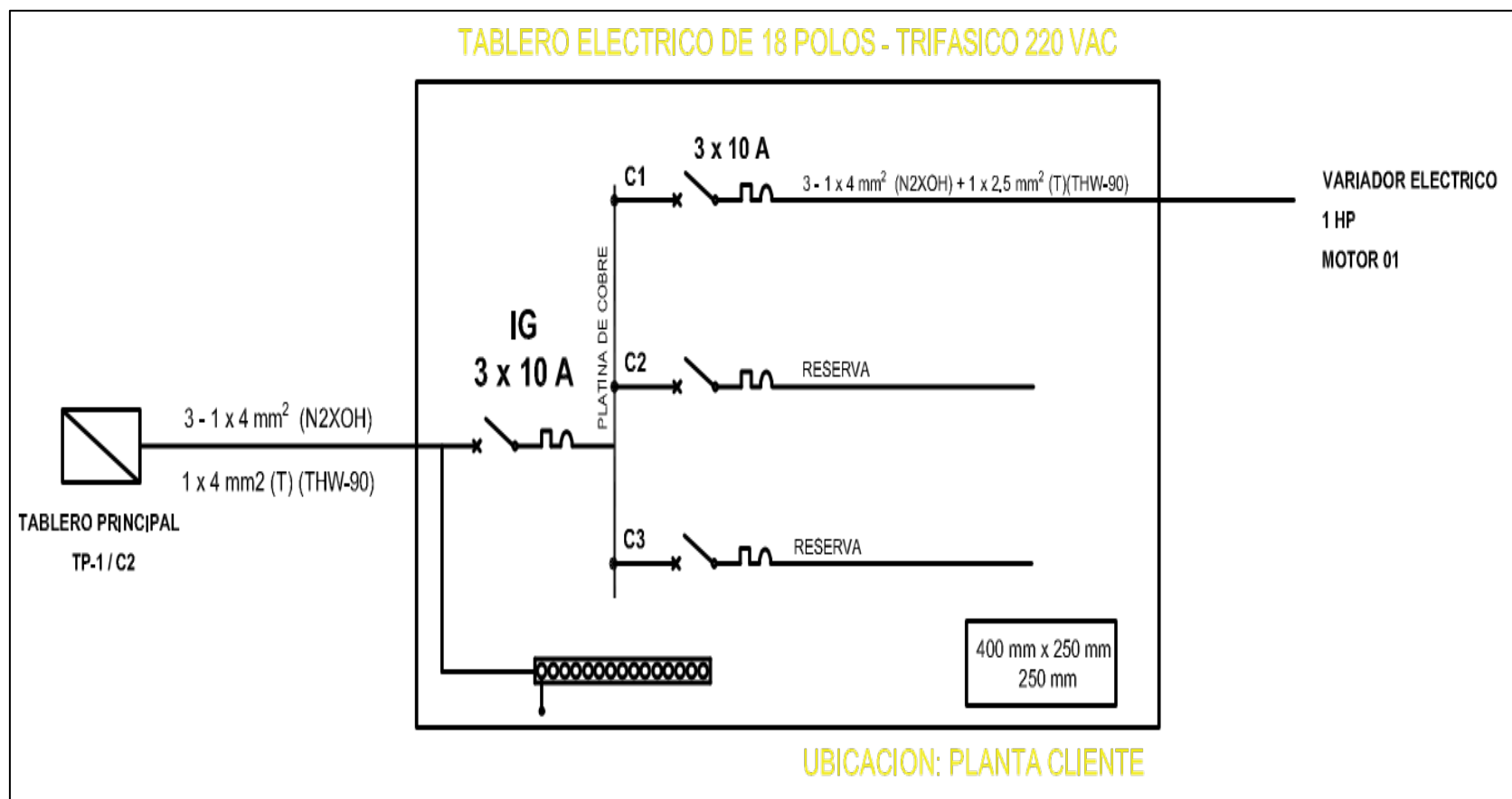
Plano del diagrama unifilar del tablero de TP1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 32

Plano del diagrama unifilar del tablero de TP2



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

6.1.1. RECOPIACIÓN DE LOS RESULTADOS

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema automatizado en una cabina permitirá reducir los reprocesos y el tiempo empleado en el pintado de perfiles estructurales que se realiza en el área de pintura, en la que interviene 1 operario para habilitar la pintura en polvo y 2 operarios se encargan de rociar pintura mediante pistolas en los perfiles estructurales. Por ello, para verificar el nivel de mejora entre el método de pintado manual y un sistema automatizado, se realizó un prototipo que fue empleado por 12 semanas a fin de realizar una comparación entre el método manual y el método automatizado. En la figura 33, se aprecia el prototipo realizado para el pintado de perfiles estructurales en la empresa de estudio.

Figura 33

Prototipo del sistema de automatización propuesto.



Fuente: Fotografía tomada en la planta industrial.

Este prototipo se implementó para realizar pruebas en operación y recopilar datos de tonelaje producido mediante la automatización del sistema propuesto. En la figura 34, se observa la implementación del sistema automatizado en la cabina de la línea de pintura, en la que una vez verificada que cumple con los requerimientos de diseño, se recopiló el tonelaje por hora promedio del proceso manual antes de la implementación durante 12 semanas y comparar con los datos obtenidos posterior a la implementación del prototipo en la cabina de pintura.

Figura 34

Pintado de perfiles de estructurales mediante el prototipo propuesto.



Fuente: Fotografía tomada en la planta industrial.

6.1.2 COMPARACION DE RESULTADOS

Se analizó el pintado manual de perfiles estructurales con el objetivo de obtener la productividad inicial del proceso manual, evidenciado una serie de problemas que afectan su productividad e imposibilita maximizar su potencial, tales como el reproceso por rociado irregular de pintura, demora en el pintado de perfiles estructurales, inadecuado uso de insumo para la pintura, etc.; y así mismo, tenemos otras actividades diarias como reuniones de coordinación, charla de seguridad, habilitación de materia prima e implementos de pintura, encendido de los equipos y el horno de curado, cambio del color de pintura y limpieza

de la cabina, etc., lo cual genera también tiempos improductivos. En la tabla 8 se observan los datos de rendimiento recolectados durante 12 semanas mediante el método de pintado manual:

$$Valor = 100\% - (Eficiencia \times Eficacia)$$

$$Valor = 100\% - \left(\frac{HH \text{ productivas}}{HH \text{ trabajadas}} \times \frac{Pedidos \text{ conformes}}{Pedidos \text{ ingresados}} \right)$$

Tabla 8

Nivel de productividad actual en el pintado de perfiles estructurales

Semana	Piezas Ingresadas Ton/sem	Piezas Conformes Ton/sem	Eficacia	HH productivas	HH trabajadas	Eficiencia	Productividad
Semana 1	31.72	28.6	90.16%	169.2	180	94.00%	84.75%
Semana 2	29.96	28.96	96.66%	167.4	180	93.00%	89.90%
Semana 3	31.2	29.6	94.87%	160.2	180	89.00%	84.44%
Semana 4	32.08	29.68	92.52%	158.4	180	88.00%	81.42%
Semana 5	31.12	28.72	92.29%	162.9	180	90.50%	83.52%
Semana 6	30.28	29.36	96.96%	165.6	180	92.00%	89.20%
Semana 7	31.96	27.52	86.11%	163.8	180	91.00%	78.36%
Semana 8	29.84	28.48	95.44%	154.8	180	86.00%	82.08%
Semana 9	31.44	29	92.24%	144	180	80.00%	73.79%
Semana 10	29.6	28.48	96.22%	138.6	180	77.00%	74.09%
Semana 11	32.56	31	95.21%	140.4	180	78.00%	74.26%
Semana 12	31.68	29.36	92.68%	167.4	180	93.00%	86.19%
Promedio	373.44	348.76	93.39%	1892.7	2160	87.63%	81.83%

Nota: Datos de productividad obtenidos de reporte de producción. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la productividad actual promedio resultó ser de 81.83% en los tres meses evaluados. Posterior a ello, se procede a recopilar los datos de la productividad en la situación de mejora con el prototipo

implementado, lo cual se expone en la siguiente tabla durante una evaluación de 12 semanas:

Tabla 9

Nivel de productividad con la propuesta en el pintado de perfiles estructurales

Semana	Piezas Ingresadas Ton/sem	Piezas Conformes Ton/sem	Eficacia	HH productivas	HH trabajadas	Eficiencia	Productividad
Semana 1	33.24	32.68	98.32%	176.4	180	98.00%	96.35%
Semana 2	34.08	33.28	97.65%	171	180	95.00%	92.77%
Semana 3	33.76	32.92	97.51%	169.2	180	94.00%	91.66%
Semana 4	34.52	33.88	98.15%	167.4	180	93.00%	91.28%
Semana 5	33.92	32.92	97.05%	171	180	95.00%	92.20%
Semana 6	34.76	34.08	98.04%	174.6	180	97.00%	95.10%
Semana 7	35.04	33.92	96.80%	172.8	180	96.00%	92.93%
Semana 8	34.32	32.92	95.92%	167.4	180	93.00%	89.21%
Semana 9	35.12	34.12	97.15%	176.4	180	98.00%	95.21%
Semana 10	34.44	33.68	97.79%	174.6	180	97.00%	94.86%
Semana 11	34.88	33.72	96.67%	174.6	180	97.00%	93.77%
Semana 12	34.6	33.84	97.80%	176.4	180	98.00%	95.85%
Total	412.68	401.96	97.40%	2071.8	2160	95.92%	93.43%

Nota: Datos de productividad obtenidos de reporte de producción. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la productividad actual promedio resultó ser de 93.43% en los tres meses evaluados. A continuación, en la tabla 10, se procede a realizar una comparación entre la productividad actual y mejorada mediante el empleo del sistema automatizado en una cabina para el pintado de perfiles estructurales. En la figura 35, se indica la gráfica comparativa.

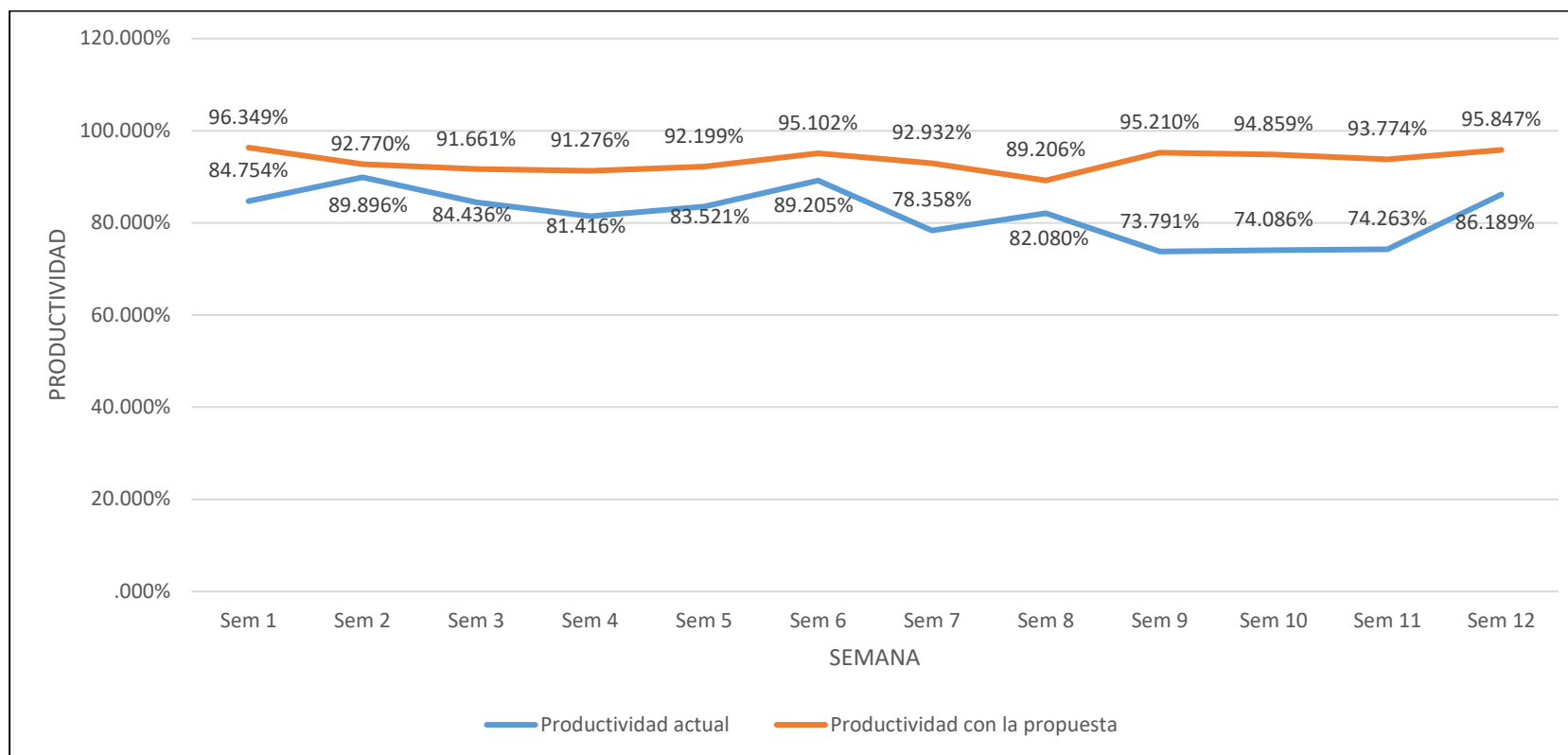
Tabla 10*Comparación de la productividad actual y propuesta de la mejora*

Semana	Productividad actual	Productividad con la propuesta	Nivel de mejora
Semana 1	84.75%	96.35%	11.59%
Semana 2	89.90%	92.77%	2.87%
Semana 3	84.44%	91.66%	7.23%
Semana 4	81.42%	91.28%	9.86%
Semana 5	83.52%	92.20%	8.68%
Semana 6	89.20%	95.10%	5.90%
Semana 7	78.36%	92.93%	14.57%
Semana 8	82.08%	89.21%	7.13%
Semana 9	73.79%	95.21%	21.42%
Semana 10	74.09%	94.86%	20.77%
Semana 11	74.26%	93.77%	19.51%
Semana 12	86.19%	95.85%	9.66%
Total	81.83%	93.43%	11.59%

Fuente: Elaboración propia.

Figura 35

Comparación de la productividad actual y mejorada.



Fuente: Productividad durante la evaluación de 12 semanas

El promedio para la situación actual fue de 81.83%, mientras que con el sistema automatizado en la cabina se obtuvo una productividad de 93.43%. Como resultado, se obtiene que hay un aumento en la productividad promedio del 11.59% cuando se realiza el proceso de pintado mediante el sistema automatizado.

6.2. ANALISIS ECONÓMICO

En este apartado se identifica la inversión y el beneficio obtenido de la implementación del sistema automatizado para la cabina de pintura de piezas de acero.

6.2.1. COSTOS MATERIALES

Se presenta los costos en soles necesarios en materiales para la solución implementada:

Tabla 11

Costos directos por materiales

Material	Und.	Cant.	Precio unitario (S/)	Total (S/)
Base principal Acero ASTM A36	kg	59.68	5.40	322.27
Bastidor Acero ASTM A36	kg	87.06	5.40	470.12
Soporte de motorreductor, brazo soporte de pistola amarre y abrazaderas	kg	9.78	5.40	52.81
Motorreductor 0.5 HP	und	2	390	780
Eje Ø20x3000 VCN bonificado	und	1	380	380
Rueda dentada de 12 dientes	und	4	130	520
Chumaceras SKF_UCP 204	und	8	128.76	1030.08
Riel de acero 3000 THK	und	1	7341.67	7341.67
Bloque deslizante THK	und	2	1038.69	2077.38
Cadena HV410 1/2"X1/8"	und	2	45	90

Tablero eléctrico IP65 200X300X400	und	3	254.93	509.86
Variador Delta VFD4A8MS23A 1HP trifásico 220Vac	und	2	1626	3252
Fuente de alimentación 220Vac/60hz/24vdc/1A	und	2	158.48	316.96
PLC Vision V130 J T38	und	1	680	680
Sensores ultrasónicos	und	4	276.51	1106.04
Elementos eléctricos varios (pulsadores, relés, conectores, cables, bornes, selectores, etc)	und	1	1500	1500
Elementos mecánicos varios (pernos, tuercas, arandelas, sujetadores, etc)	und	1	500	500
Costo total (A)				20929.19

Nota: Listado de materiales requeridos para la implementación.

6.2.2. COSTOS DE MANO DE OBRA

Se presenta los costos necesarios en recurso humano:

Tabla 12

Costo de mano de obra

Mano de obra	Cantidad	N° horas	Costo por hora	Total (\$/)
Supervisor	1	90	18.75	1687.5
Técnico mecánico	2	90	14.58	1312.2
Técnico eléctrico	1	90	14.58	1312.2
Programador	1	36	16.66	599.76
Ayudante	1	90	7.5	675
Soldador	1	30	15	450
Costo Total (B)				6036.66

Nota: Listado de costos por mano de obra.

6.2.3. COSTOS DE MÁQUINAS, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

A continuación, se presentan los costos de máquinas, herramientas y equipos empleados para la solución implementada:

Tabla 13*Costo de maquinarias, herramientas y equipos*

Descripción	Cantidad	Costo unitario (S/)	Costo (S/)
Multímetro digital	1	S/140.00	S/140.00
Amoladora	1	S/127.00	S/127.00
Kit de herramientas de cableado	1	S/170.00	S/170.00
Juego de herramientas varias	1	S/245.00	S/245.00
Máquina de soldar industrial	1	S/439.90	S/439.90
Subtotal (C)			S/1,121.90

*Nota: Listado de maquinarias, herramientas y equipos***6.2.4. OTROS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA MEJORA**

En la tabla 14 se presentan otros costos adicionales:

Tabla 14*Otros costos que intervienen en la solución propuesta*

Descripción	Cantidad	Costo unitario (S/)	Costo (S/)
Transporte de materiales	1	160	160
Póliza de seguro SCTR	7	70	490
Subtotal (D)			650

*Nota: Listado otros costos requeridos en la mejora***6.2.5. COSTO TOTAL DE LA INVERSIÓN**

Se presenta el costo total del proyecto:

Tabla 15*Otros costos que intervienen en la solución propuesta*

Descripción	Monto
Costo de materiales (A)	S/20,929.19
Costo de mano de obra (B)	S/6,036.66
Costos de máquinas, herramientas y equipos (C)	S/1,121.90
Otros costos de implementación de la mejora (D)	S/650.00
Subtotal	S/28,737.75
Contingencia (5%)	S/1,436.89
Total	S/30,174.64

Nota: Listado del total de inversión del proyecto

6.2.6. BENEFICIO

El beneficio es obtenido al aumentar la productividad de los perfiles estructurales durante el proceso de pintado automatizado en el cual el margen de ganancia para el área de pintura es de S/ 0.70 por kilogramo, siendo la ganancia total de la empresa de S/. 4.07 por kilogramo que es la suma de las distintas áreas, como corte, rolado, soldadura, limpieza mecánica y áreas administrativas.

Tabla 16

Beneficio de la mejora

Mes	Productividad antes (ton)	Productividad después (ton)	Beneficio (ton/sem)	Beneficio (S/)
Noviembre	116.84	132.76	15.92	11,144.00
Diciembre	114.08	133.84	19.76	13,832.00
Enero	117.84	135.36	17.52	12,264.00
Febrero	116.25	133.99	17.73	12,413.33
Marzo	127.88	147.39	19.51	13,654.67
Abril	120.66	138.91	18.25	12,777.33
Mayo	121.60	140.09	18.50	12,948.44
Junio	121.14	127.14	6.00	4,200.00
Julio	134.37	152.67	18.31	12,815.60
Agosto	133.47	145.21	11.74	8,215.48
Setiembre	144.94	157.14	12.20	8,537.76
Octubre	124.39	141.21	16.82	11,773.25
TOTAL				134,575.87

Nota: Se muestra el beneficio económico de dos años consecutivos.

6.2.7. FLUJO DE CAJA

Una vez ya obtenido el beneficio de manera mensual y la inversión, se muestra el flujo de caja con el fin de identificar los indicadores económicos:

Tabla 17*Flujo de caja*

MES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Inversión													
Costo de materiales	S/20,929.19												
Costo de mano de obra	S/6,036.66												
Costos de máquinas, herramientas y equipos	S/1,121.90												
Otros costos de implementación de la mejora	S/650.00												
Contingencia (5%)	S/1,436.89												
Total de inversión	S/30,174.64												
Ingresos		S/11,144.00	S/13,832.00	S/12,264.00	S/12,413.33	S/13,654.67	S/12,777.33	S/12,948.44	S/4,200.00	S/12,815.60	S/8,215.48	S/8,537.76	S/11,773.25
Reducción de productos no conformes		11,144.00	13,832.00	12,264.00	12,413.33	13,654.67	12,777.33	12,948.44	4,200.00	12,815.60	8,215.48	8,537.76	11,773.25
Flujo de caja	- S/30,174.64	S/11,144.00	S/13,832.00	S/12,264.00	S/12,413.33	S/13,654.67	S/12,777.33	S/12,948.44	S/4,200.00	S/12,815.60	S/8,215.48	S/8,537.76	S/11,773.25
Utilidad acumulada	- S/30,174.64	- S/19,030.64	- S/5,198.64	S/7,065.36	S/19,478.70	S/33,133.36	S/45,910.70	S/58,859.14	S/63,059.14	S/75,874.74	S/84,090.22	S/92,627.98	S/104,401.23

Nota: Se muestra la evaluación mediante un flujo de caja para un año

En la tabla 18, se indica el resumen de los indicadores económicos obtenidos empleando el flujo de caja:

Tabla 18

Indicadores económicos

Indicador económico	Valor
Cálculo del VAN	S/26,411.16
Cálculo de la TIR	39.44%
Cálculo de la ratio Beneficio / Costo	1.88
Periodo de recuperación	4.78 meses

Nota: Se muestran los indicadores posteriores a la evaluación del flujo de caja

CONCLUSIONES

Luego de presentar el desarrollo y el análisis de este trabajo de suficiencia, se tienen las siguientes conclusiones:

- Se concluye que el diseño propuesto de un sistema de automatización en una cabina de pintura de piezas de acero incrementa la productividad de una mediana empresa metalmecánica.
- Se concluye que el aumento en la productividad en el proceso de pintado de los perfiles estructurales fue de 11.59% al obtener una productividad inicial promedio de 81.83% y una productividad de 93.43% después de la propuesta de mejora.
- Se determinó que es viable implementar un sistema automatizado para una cabina de pintura de piezas de acero, puesto que con una inversión de S/27,286.85 se obtiene un VAN de S/26,411.16, TIR de 39.44%, un periodo de recuperación de 4.78 meses y un ratio de costo/beneficio de S/. 1.88.

RECOMENDACIONES

En cuanto a las posibles mejoras en el trabajo de suficiencia profesional, principalmente se pueden mencionar las siguientes:

- En futuras investigaciones se recomienda evaluar el uso de un dispositivo HMI y/o SCADA con la finalidad de monitorear los parámetros de funcionamiento en tiempo real e integrarse con otras áreas de producción.
- Para aplicar esta solución en otras empresas e instalaciones, se recomienda realizar comparativas entre componentes y dispositivos (plc, variadores, sensores) considerando el aspecto técnico (características, dimensiones, programación) y económico con el propósito de elegir aquellos que se adecuen mejor al lugar de trabajo.
- En el presente trabajo se utilizó el software SolidWorks para el modelamiento y diseño 3D, pero se recomienda usar un software de uso gratuito estudiantil como brinda Autodesk Inventor, ya que es suficiente para el alcance desarrollado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armas C. (2018). *“Diseño de un modelo matemático aplicado a la minimización de tiempos no productivos y optimización de la productividad en la industria de alimentos”*. [Proyecto de titulación]. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Barrios L. (2017). *“Aplicación del estudio del trabajo para incrementar la productividad en el proceso de pintado de parabrisas en el área de serigrafía de la empresa AGP PERÚ S.A.C. Cercado de Lima”*. [Tesis]. Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Belmar L. (2012). *“Instalación de un sistema automatizado de pintura en una fábrica de armarios eléctricos”*. [Proyecto de fin de carrera]. Universidad Carlos III de Madrid, España.
- Betancourt, D. F. (2017). *Productividad: Definición, medición y diferencia con eficacia y eficiencia*. Recuperado el 16 de mayo de 2023, de Ingenio Empresa: www.ingenioempresa.com/productividad.
- Beltrán, H. y Cueva, H. (2021). Evaluación privada de proyectos. Universidad del Pacífico. https://fondoeditorial.up.edu.pe/wp-content/uploads/2020/07/Evaluación-Privada-de-Proyectos_extracto.pdf
- Briones G. y Quispe V. (2017). *“Diseño de un sistema automatizado de zarandeo para incrementar la productividad en la cantera Casa Blanca”*. [Tesis]. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Bocángel, G., Rosas, C. W., Bocángel, G. A., Perales, R. S., & Hilario, J. (2021). *Ingeniería Industrial - Ingeniería de Métodos i* (1 ed., Vol. 1). La Biblioteca Nacional del Perú . <https://www.unheval.edu.pe/portal/wp-content/uploads/2021/09/LIBRO-INGENIERIA-DE-METODOS-I.pdf>
- Carro P. y González G. (2000). *“Administración de las Operaciones – Productividad y Competitividad”*. Universidad de Mar de la Plata, Argentina. Editorial Nueva Librería.

- Castañeda D. y Nava T. (2018). "*Sistema de control de aire y temperatura para una cabina de pintura, controlada por medio de un dispositivo móvil*". [Trabajo de Grado]. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.
- Céspedes N., Lavado P. & Ramírez N. (2016) "*Productividad en el Perú: Medición, determinantes e implicancias*". Universidad del Pacífico, Lima, Perú.
- Chacha Ch. (2016). "*Análisis y simulación de un sistema automatizado para el control y monitoreo de las bombas del pozo de drenaje y presiones en el caracol de la turbinas de la central hidroeléctrica CALOPE*". [Proyecto de titulación]. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador.
- Corona R., Abarca J. & Mares C. (2014). "*Sensores y Actuadores, aplicaciones con Arduino*". México D.F. Grupo Editorial Patria S.A de C.V.
- Daneri, Pablo A. (2008). "*PLC Automatización y control industrial*" Buenos Aires, Argentina. Editorial Hispano Americana S.A.
- Ebel F., Idler S., Prede G. & Scholz D. (2008). "*Fundamentos de la técnica de automatización*". [Libro técnico]. Denkendorf, Alemania.
- Espinoza M. (2010). "*Metodología de investigación tecnológica*" Huancayo, Perú. Imagen Gráfica S.A.C.
- Flores S. y Flores F. (2015). "*Sistema computacional para el pintado de superficies planas y su efectividad en los procesos de pintado en la provincia Coronel Portillo*". [Artículo – Revista de Investigación Científica]. Universidad Privada de Pucallpa, Perú.
- García M. (2001). "*Automatización de procesos industriales*". Valencia, España. AlfaOmega grupo Editor.
- Hernández S. (2014). "*Metodología de la investigación*". México D.F. Interamericana Editores S.A. de C.V.
- Mandado P., Marcos A., Fernández S. & Armesto Q. (2009). "*Autómatas programables y sistemas de automatización*". Barcelona, España. Editorial Marcombo S.A.
- Morales M. y Ramírez M. (2013). "*Sistemas de control moderno Volumen I: Sistemas de tiempo continuo*". Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. Editorial digital Tecnológico de Monterrey.

- Ogata (2010). *"Ingeniería de Control Moderna"*. Madrid, España. Pearson Educación S.A.
- Paz P. (2018). *"Diseño de un sistema automatizado para mejorar la productividad de la etapa de paletizado en la empresa JAYANCA FRUITS S.A.C."*. [Tesis]. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú.
- Pedroza S. y Flores A. (2009). *"Ciencia, Tecnología y Desarrollo. Una base para la delimitación de la investigación"*. México. Universidad Autónoma Chapingo.
- Peña C. y Martínez C. (2017). *"Diseño y construcción de una cabina automatizada para el pintado de cilindros de GLP de 10kg con capacidad de 600 cilindros por hora"*. [Tesis]. Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú.
- Peñaranda C. (2017). "Evolución de la productividad peruana mantiene una tendencia negativa". Revista La Cámara, edición 759, 6-8.
- Pérez L. (2015). *"Propuesta de automatización en bodega de producto terminado en industria manufacturera de productos de higiene personal en Costa Rica"*. [Artículo del Portal de Revistas Académicas]. Universidad de Costa Rica.
- Prokopenko (1989). *"La Gestión de la Productividad – manual práctico"* Ginebra, Suiza. Oficina Internacional del Trabajo
- Ramírez L. (2019). *"Diseño de un sistema automatizado para la fabricación de rodillos de pintura, por el método de termo fusión"*. [Trabajo de especialización]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Rosales M. (2016). *"Diseño del sistema automatizado de almacén paletizado"*. [Trabajo final de grado]. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Rodríguez E. (2017). *"La productividad en América Latina"*. [Tesis doctoral]. Universidad de Alcalá, España.
- Serna R., Ros G. y Rico N. (2010). *"Guía práctica de sensores"*. España. Creaciones Copyright S.L.
- Varela K. (2015). *"Diseño e implementación del sistema de monitoreo y control en la planta de pintura de una ensambladora de vehículos"*. [Trabajo de titulación]. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador.

- Velastegui C. (2014). *“Diseño y construcción de una máquina para pintado de banda de cuero, por medio de pistolas de pulverización para la fábrica Gamacueros”*. [Tesis]. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Yarasca M. y Espinoza O. (2015). *“Propuesta de implementación de un sistema de pintura electrostática para piezas metálicas utilizadas en tableros y celdas eléctricas”*. [Tesis]. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

ANEXOS

Anexo I: Formato ficha de levantamiento de información en campo.....	1
Anexo II: Formato de recolección de datos.....	2
Anexo III: Informe de análisis estructural.....	6
Anexo IV: Planos de fabricación de los componentes estructurales....	14
Anexo V: Programación del PLC Visión V130 J T38 4n 4l software UniLogic.....	32

Anexo I: Formato ficha de levantamiento de información en campo

FORMATO PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EN CAMPO			
DATOS DE LA EMPRESA – UNIDAD DE ANÁLISIS			
RAZÓN SOCIAL	ESTANTERIAS METALICAS JRM		
DIRECCIÓN	CALLE LOS DURAZNOS MZ D4 13-B		
ÁREA / MAQUINA	LINEA DE PINTURA		
RESPONSABLE	CHARLY NIXON CUEVA DIAZ		
VOLTAJE DE ALIMENTACION		220 VAC - 3F	
UBICACIÓN TABLERO PRINCIPAL		COLUMNO B'-B - PLANTA 1	
DISTANCIA TABLERO - CABINA		14 METROS HACIA LA CABINA	
CROQUIS DE LA ZONA HABILITADA PARA LA AUTOMATIZACION			
VARIABLES PRINCIPALES PARA LA AUTOMATIZACIÓN			
TIPO	DESCRIPCIÓN	TIPO	DESCRIPCIÓN
IN	PULSADOR START	OUT	MOTORREDUCTOR 1 DIRECTA
IN	PULSADOR STOP	OUT	MOTORREDUCTOR 2 DIRECTA
IN	SENSOR SUPERIOR 1	OUT	MOTORREDUCTOR 1 INVERSA
IN	SENSOR SUPERIOR 2.	OUT	MOTORREDUCTOR 2 INVERSA
IN	SENSOR INFERIOR 1	OUT	PILOTO START
IN	SENSOR INFERIOR 2.	OUT	PILOTO STOP
IN	SENSOR DE INGRESO DE MATERIAL	OUT	ACTIVACIÓN PISTOLA 1
IN	PULSADOR DE EMERGENCIA	OUT	ACTIVACIÓN PISTOLA 2.
IN	FALLA DE VARIADOR 1		
IN	FALLA DE VARIADOR 2.		
IN	FALLA DE PISTOLA 1		
IN	FALLA DE PISTOLA 2.		

Anexo II: Formato de recolección de datos.

Indicador Eficacia antes de la mejora

FORMATO PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EN CAMPO			
DATOS DE LA EMPRESA – UNIDAD DE ANÁLISIS			
RAZÓN SOCIAL	ESTANTERIAS METALICAS TRM		
DIRECCIÓN	CALLE LOS DURAZOS MZ D LT 13-B		
ÁREA / MAQUINA	LINEA DE PINTURA		
RESPONSABLE	CHARLY NIXON CUEVA DIAZ		
VARIABLE		FORMULA	
Productividad		$\frac{P.E. \text{ ingresados}}{P.E. \text{ conformes}}$	
INDICADOR			
Eficacia			
Semana	P.E. Ingresados Ton/sem	P.E. Conformes Ton/sem	Eficacia
Semana 1	31,72	28,6	90,26%
Semana 2	29,96	28,96	96,66%
Semana 3	31,2	29,6	94,87%
Semana 4	32,08	29,68	92,52%
Semana 5	31,12	28,72	92,29%
Semana 6	30,28	29,36	96,96%
Semana 7	31,96	27,52	86,11%
Semana 8	29,84	28,48	95,44%
Semana 9	31,44	29	92,24%
Semana 10	29,6	28,48	96,22%
Semana 11	32,56	31	95,21%
Semana 12	31,68	29,36	92,68%
Total	373,44	348,76	93,39%

Indicador Eficacia después de la mejora

FORMATO PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EN CAMPO			
DATOS DE LA EMPRESA – UNIDAD DE ANÁLISIS			
RAZÓN SOCIAL	ESTRONTERRIAS METALICAS JRM		
DIRECCIÓN	CALLE LOS DURAZNOS M2 DLT 13-B		
ÁREA / MAQUINA	LINEA DE PINTURA		
RESPONSABLE	CHARLY NIXON CUEVA DIAZ		
VARIABLE		FORMULA	
Productividad		$\frac{P.E. \text{ ingresados}}{P.E. \text{ conformes}}$	
INDICADOR			
Eficacia			
Semana	P.E. Ingresados Ton/sem	P.E. Conformes Ton/sem	Eficacia
Semana 1	33,24	32,68	98,32%
Semana 2	34,08	33,28	97,65%
Semana 3	33,76	32,92	97,51%
Semana 4	34,52	33,88	98,15%
Semana 5	33,92	32,92	97,05%
Semana 6	34,76	34,08	98,04%
Semana 7	35,04	33,92	96,80%
Semana 8	34,32	32,92	95,92%
Semana 9	35,12	34,12	97,15%
Semana 10	34,44	33,68	97,79%
Semana 11	34,88	33,72	96,67%
Semana 12	34,6	33,84	97,80%
Total	412,68	401,96	97,40%

Indicador Eficiencia antes de la mejora

FORMATO PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EN CAMPO			
DATOS DE LA EMPRESA – UNIDAD DE ANÁLISIS			
RAZÓN SOCIAL	ESTANTERIAS METALICAS JRM		
DIRECCIÓN	CALLE LOS DURAZNOS Mz D Lt 13-B		
ÁREA / MAQUINA	LINEA DE PINTURA		
RESPONSABLE	CHARLY NIXON CUEVA DIAZ		
VARIABLE		FORMULA	
Productividad		$\frac{H.H. productivas}{H.H. trabajadas}$	
INDICADOR			
Eficiencia			
Semana	H.H. productivas	H.H. trabajadas	Eficiencia
Semana 1	169,2	180	94%
Semana 2	167,4	180	93%
Semana 3	160,2	180	89%
Semana 4	158,4	180	88%
Semana 5	162,9	180	90,5%
Semana 6	165,6	180	92%
Semana 7	163,8	180	91%
Semana 8	154,8	180	86%
Semana 9	144	180	80%
Semana 10	138,6	180	77%
Semana 11	140,4	180	78%
Semana 12	167,4	180	93%
Total	1892,7	2160	87,63%


Indicador Eficiencia después de la mejora

FORMATO PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN EN CAMPO			
DATOS DE LA EMPRESA – UNIDAD DE ANÁLISIS			
RAZÓN SOCIAL	ESTANTERIAS METALICAS TRM		
DIRECCIÓN	CALLE LOS DURAZNOS M7 D LT 13-B		
ÁREA / MAQUINA	LINEA DE PINTURA		
RESPONSABLE	CHARLY NIXON CUEVA DIAZ		
VARIABLE		FORMULA	
Productividad		$\frac{H. H. productivas}{H. H. trabajadas}$	
INDICADOR			
Eficiencia			
Semana	H.H. productivas	H.H. trabajadas	Eficiencia
Semana 1	176,4	180	98%
Semana 2	171	180	95%
Semana 3	169,2	180	94%
Semana 4	167,4	180	93%
Semana 5	171	180	95%
Semana 6	174,6	180	97%
Semana 7	172,8	180	96%
Semana 8	167,4	180	93%
Semana 9	176,4	180	98%
Semana 10	174,6	180	97%
Semana 11	174,6	180	97%
Semana 12	176,4	180	98%
Total	2071,8	2160	95,92%


Anexo III: Informe de análisis estructural.

SIMULACIÓN DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA ANÁLISIS

Información de modelo



Nombre del modelo: Diseño de la estructura para análisis
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos		
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
Combinar1 	Sólido	Masa: 82.6292 kg Volumen: 0.010526 m ³ Densidad: 7,850 kg/m ³ Peso: 809.766 N



SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de Diseño de la estructura para análisis 1

Propiedades de estudio


Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar

Unidades

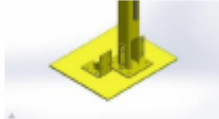
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²


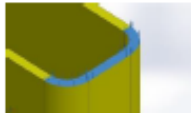


Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: ASTM A36 Acero Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2.5e+08 N/m ² Límite de tracción: 4e+08 N/m ² Módulo elástico: 2e+11 N/m ² Coefficiente de Poisson: 0.26 Densidad: 7,850 kg/m ³ Módulo cortante: 7.93e+10 N/m ²	Sólido 1 (Combinar1)(Diseño de la estructura para análisis)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Gravedad-1		Referencia: Planta Valores: 0 0 -9.81 Unidades: m/s ²
Fuerza-1		Entidades: 3 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 200 N



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	64.471 mm
Tamaño mínimo del elemento	12.8942 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	93379
Número total de elementos	47808
Cociente máximo de aspecto	36.889
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	51.3
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	2.22
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:10
Nombre de computadora:	



SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de Diseño de la estructura para análisis

4

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.0388058	1,010.75	0.0103769	1,010.75

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	2.675	553.015	-1.02112	553.023

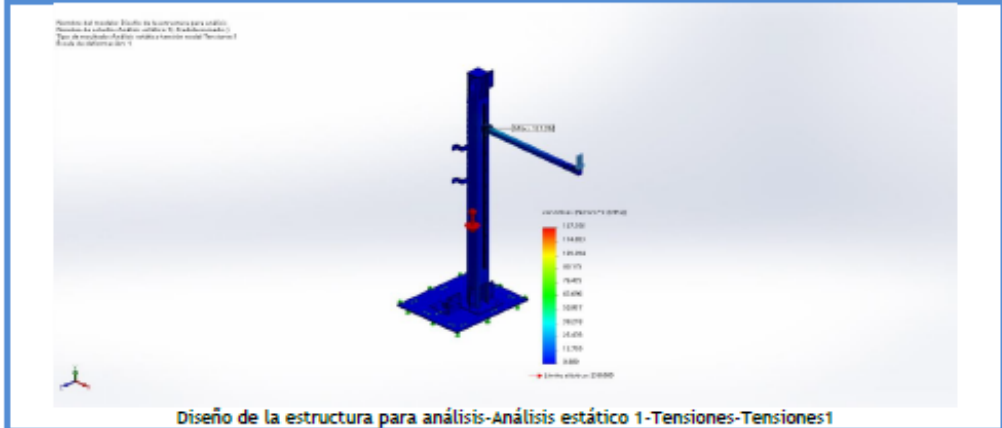
Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

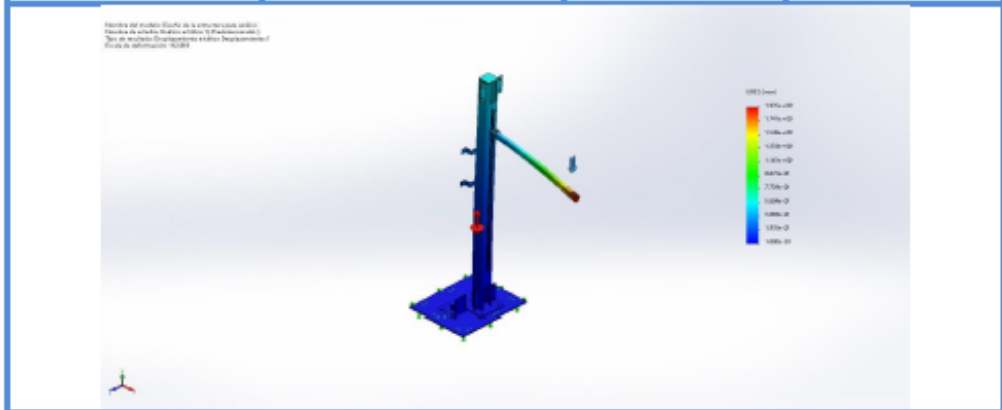


Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.000N/mm ² (MPa) Nodo: 12378	127.392N/mm ² (MPa) Nodo: 20161

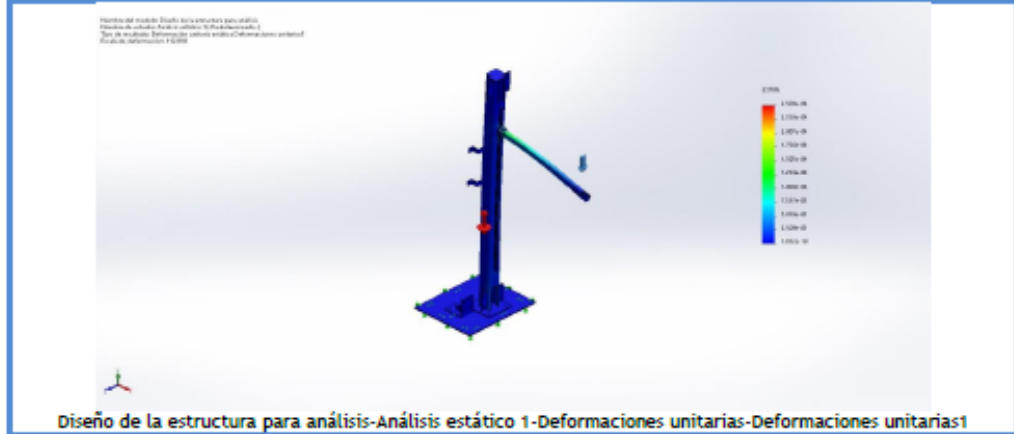


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00mm Nodo: 95	1.935e+00mm Nodo: 21354

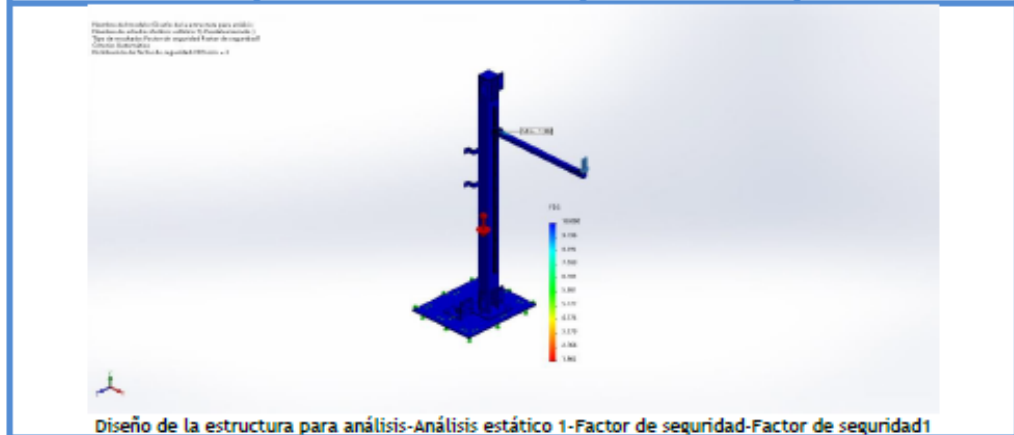


Diseño de la estructura para análisis-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.612e-10 Elemento: 39572	2.509e-04 Elemento: 27612

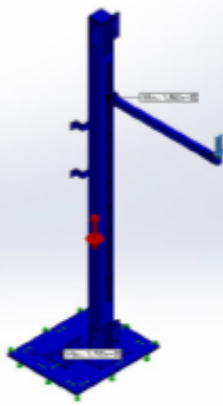


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1.962 Nodo: 20161	378,529,696.000 Nodo: 12378



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad2	Automático	1.962e+00 Nodo: 20161	3.785e+08 Nodo: 12378

Nombre del resultado: Diseño de la estructura para análisis
 Nombre de la tabla: Resultado de Factor de seguridad 2
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad2
 Género: Base de datos
 Ruta: \\...



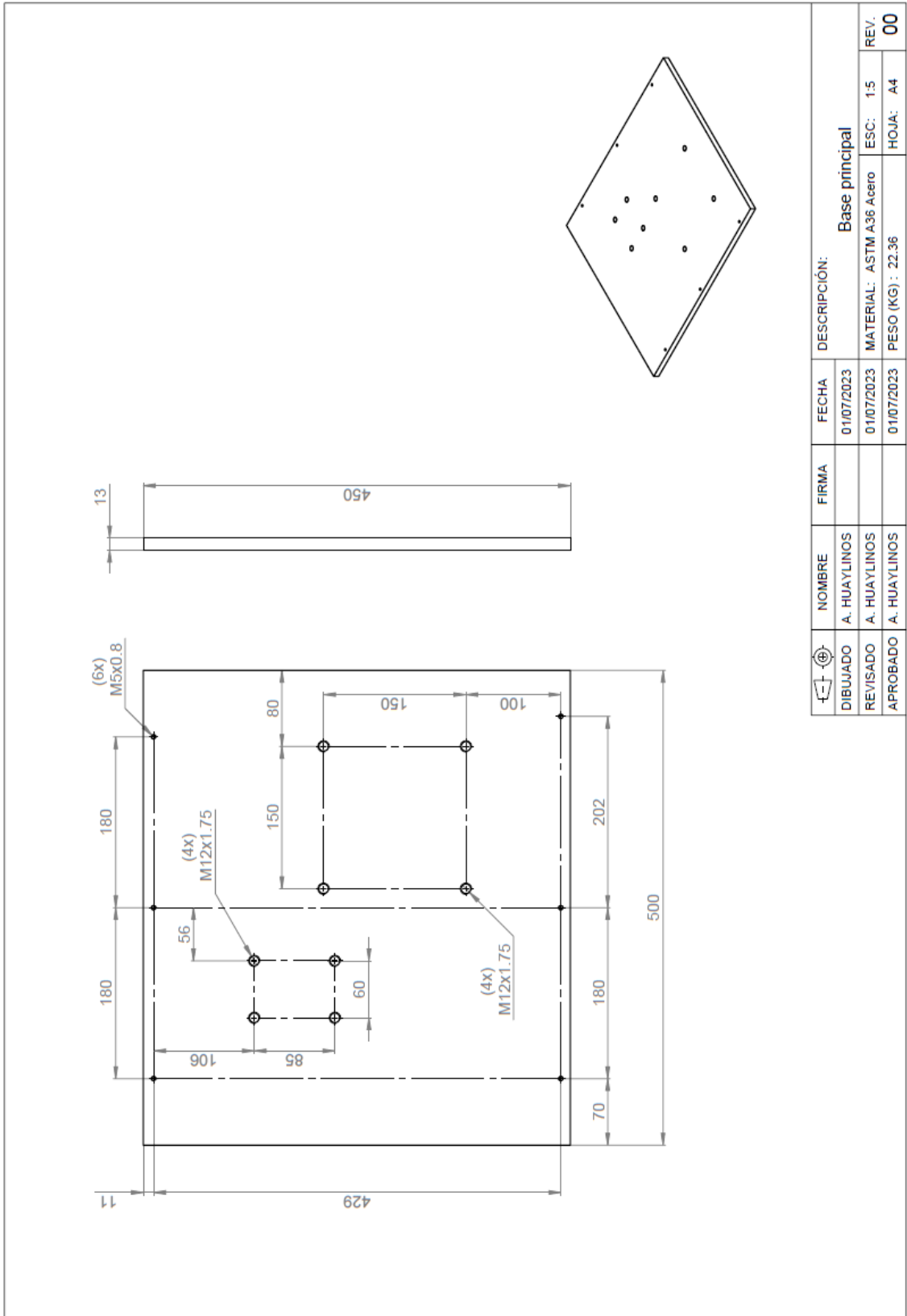
Diseño de la estructura para análisis-Análisis estático 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad2

Conclusión: El factor de seguridad mínimo de 1.962 nos indica que la estructura no presenta problemas o fallas frente al escenario propuesto.

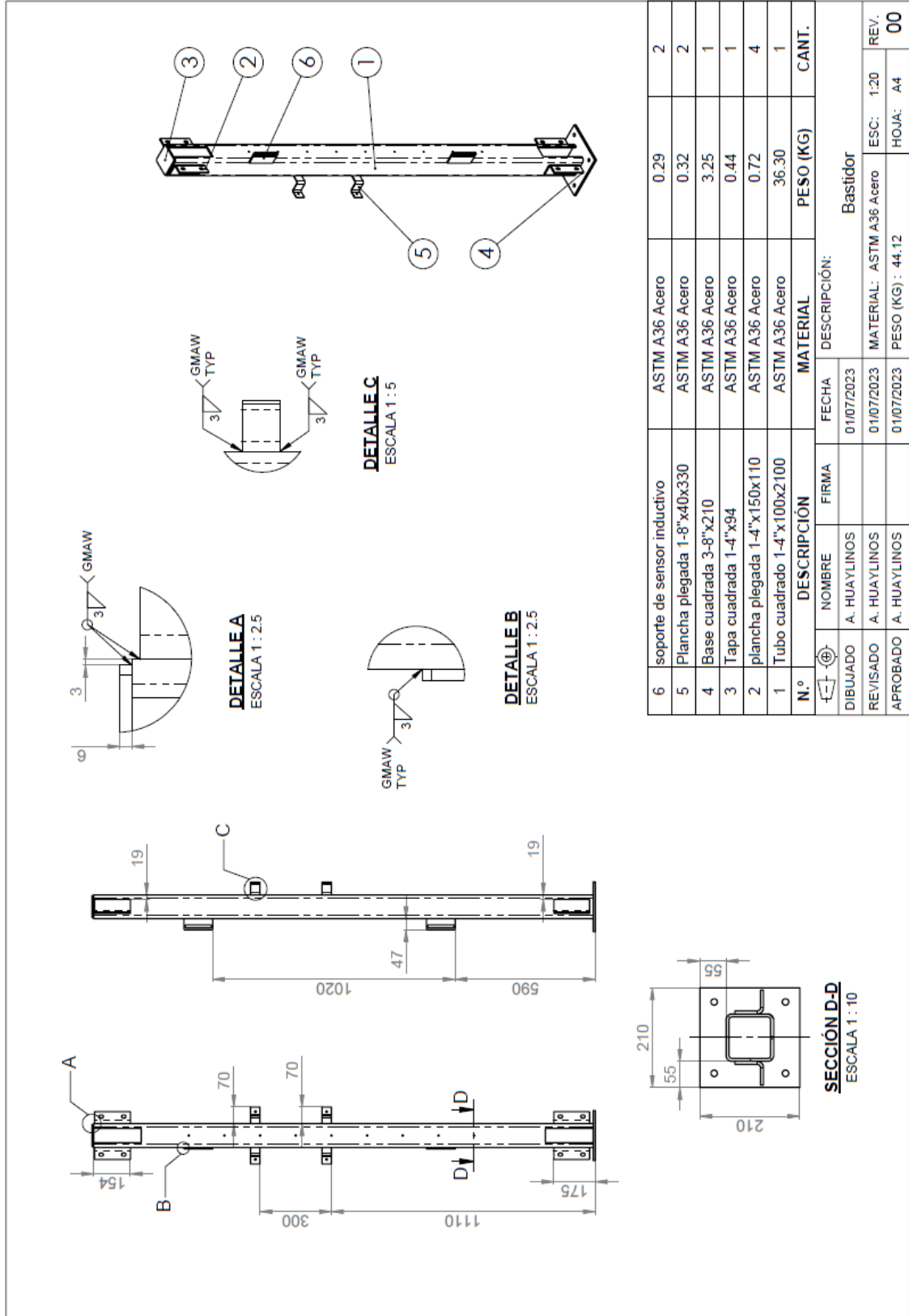


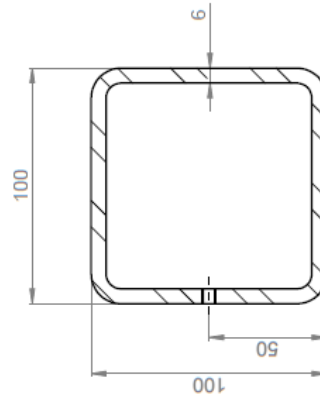
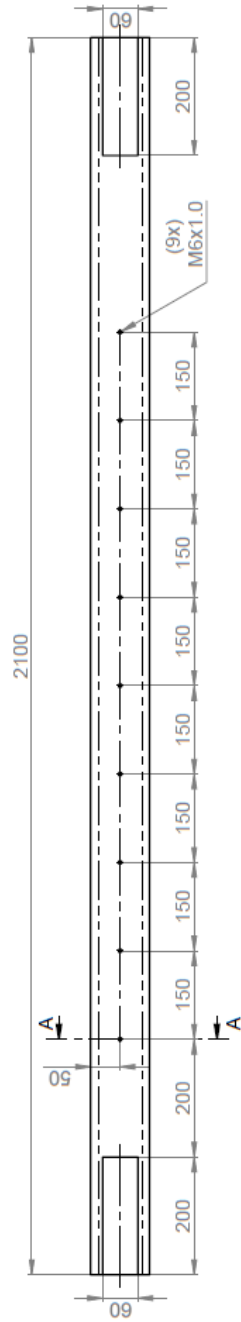
Anexo IV: Planos de fabricación de los componentes estructurales

7	Protector de motorreductor	ASTM A36 Acero	20.13	1
6	Abrazadera para pistola	ASTM A36 Acero	0.25	1
5	Brazo soporte de pistola	ASTM A36 Acero	2.46	1
4	Amarre macho pequeño	AISI 1045	0.40	1
3	Soporte de motorreductor	ASTM A36 Acero	1.78	1
2	Bastidor	ASTM A36 Acero	43.61	1
1	Base principal	ASTM A36 Acero	22.36	1
N.º	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO (KG)	CANT.
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESCRIPCIÓN:
DIBUJADO	A. HUAYLINOS		01/07/2023	Diseño estructura mecánica - fabricación
REVISADO	A. HUAYLINOS		01/07/2023	MATERIAL: ESC: 1:20 REV.
APROBADO	A. HUAYLINOS		01/07/2023	PESO (KG) : 91.00 HOJA: A4 00

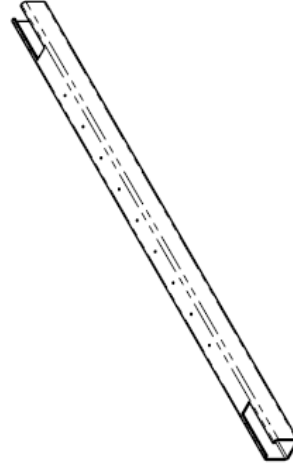


		NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJADO	A. HUAYLINOS			01/07/2023	Base principal	
REVISADO	A. HUAYLINOS			01/07/2023		MATERIAL: ASTM A36 Acero
APROBADO	A. HUAYLINOS			01/07/2023		PESO (KG): 22.36
					ESC: 1:5	REV. 00
					HOJA: A4	

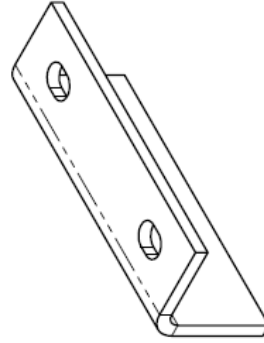
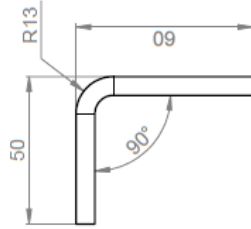
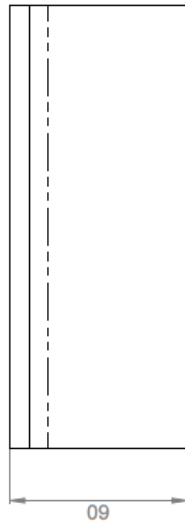
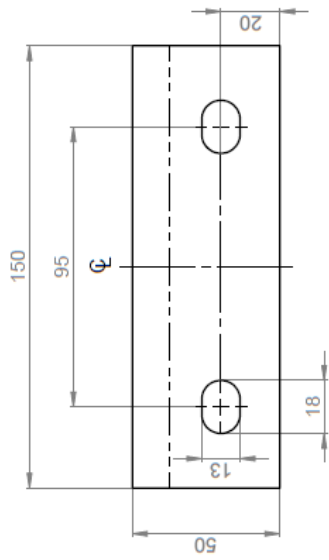





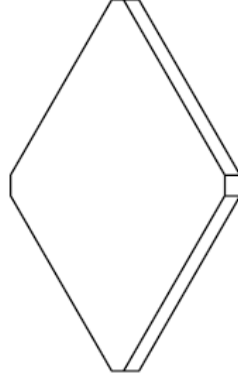
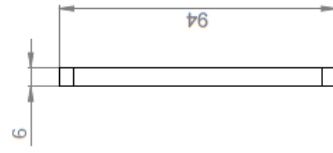
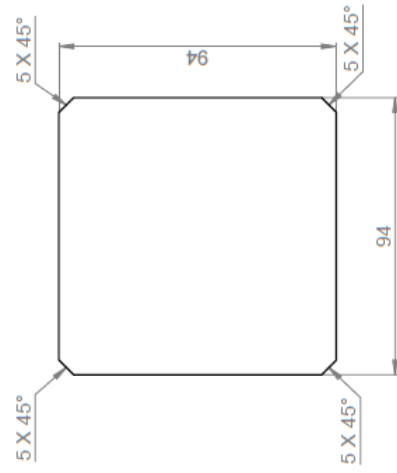
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2.5



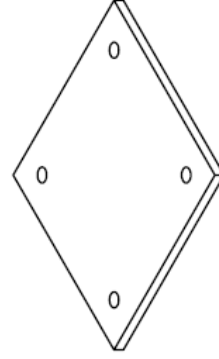
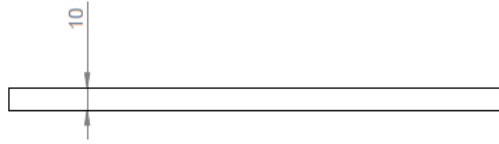
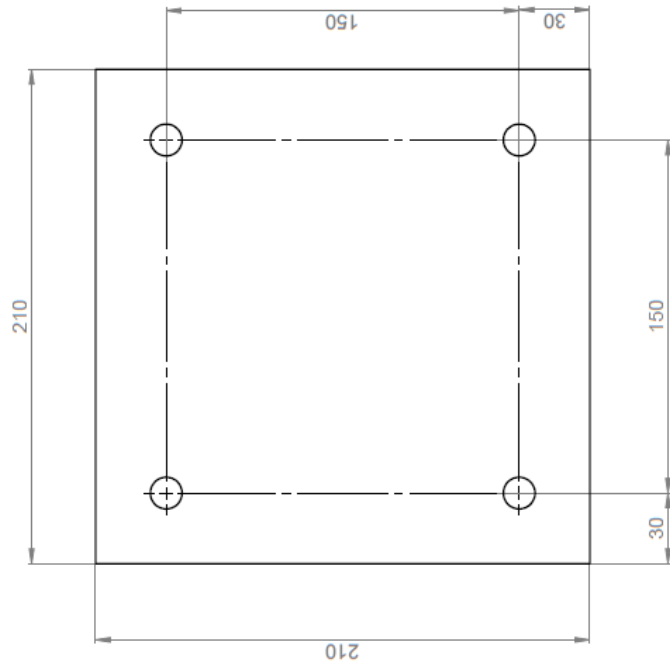
⊕	NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESCRIPCIÓN:
DIBUJADO	A. HUAYLINOS		01/07/2023	Tubo cuadrado 1-4"x100x2100
REVISADO	A. HUAYLINOS		01/07/2023	MATERIAL: ASTM A36 Acero
APROBADO	A. HUAYLINOS		01/07/2023	PESO (KG) : 36.30
				ESC: 1:10
				HOJA: A4
				REV. 00



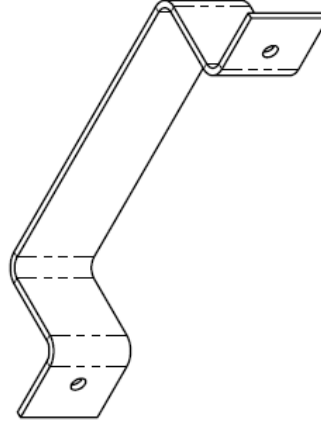
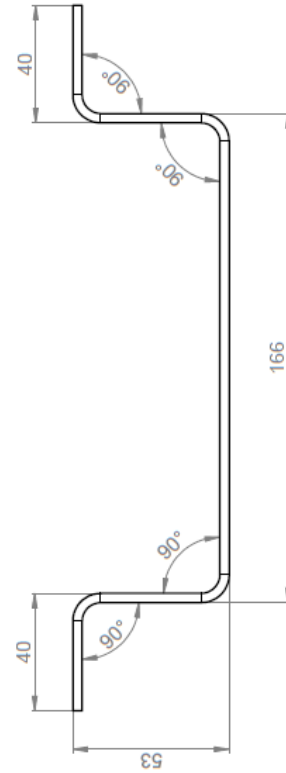
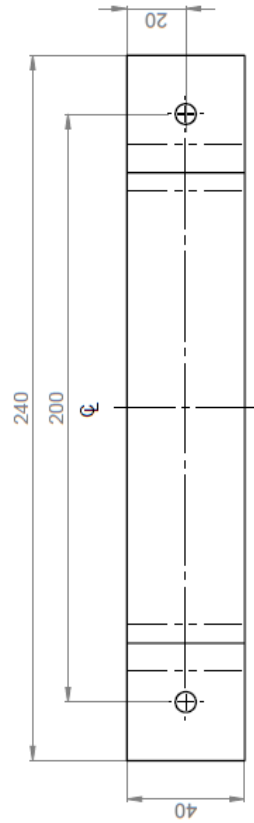
		NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJADO		A. HUAYLINOS		01/07/2023	plancha plegada 1-4" x150x110 MATERIAL: ASTM A36 Acero PESO (KG): 0.72	
REVISADO		A. HUAYLINOS		01/07/2023		
APROBADO		A. HUAYLINOS		01/07/2023		
					ESC: 1:2	REV: 00
					HOJA: A4	



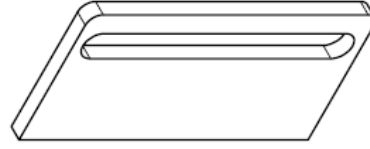
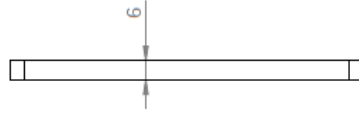
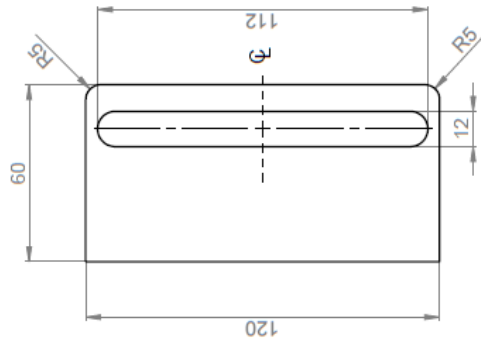
DIBUJADO		NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESCRIPCIÓN:		
REVISADO		A. HUAYLINOS		01/07/2023	Tapa cuadrada 1-4"x94		
APROBADO		A. HUAYLINOS		01/07/2023	MATERIAL: ASTM A36 Acero	ESC: 1.2	
					PESO (KG): 0.44	HOJA: A4	REV. 00






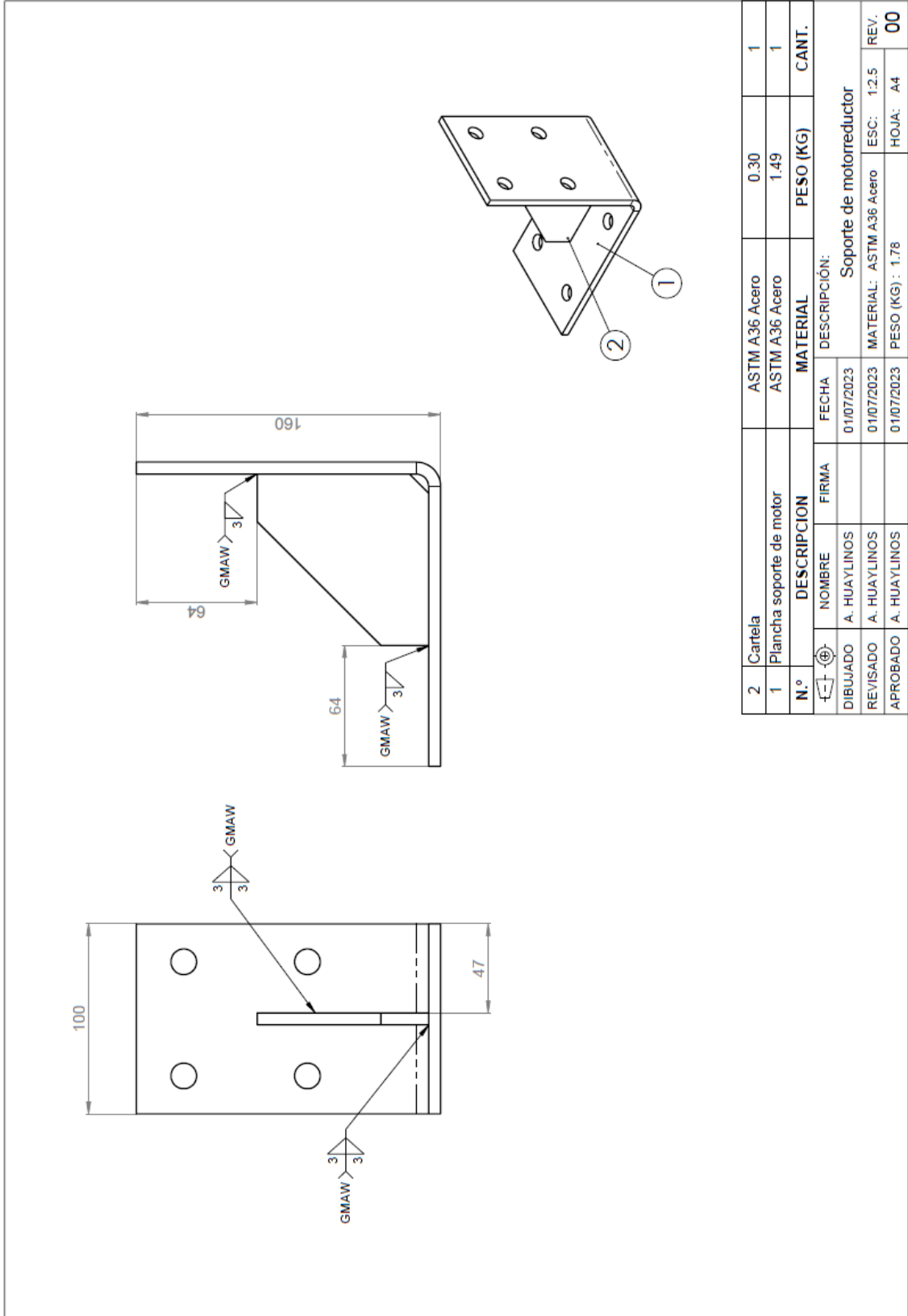
⊕	⊖	⊕	⊖	⊕	⊖	⊕	⊖
DIBUJADO	REVISADO	APROBADO	NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESCRIPCIÓN:	REV.
			A. HUAYLINOS		01/07/2023	Base cuadrada 3-8"x210	
			A. HUAYLINOS		01/07/2023	MATERIAL: ASTM A36 Acero	ESC: 1:5
			A. HUAYLINOS		01/07/2023	PESO (KG): 3.25	HOJA: A4
							00



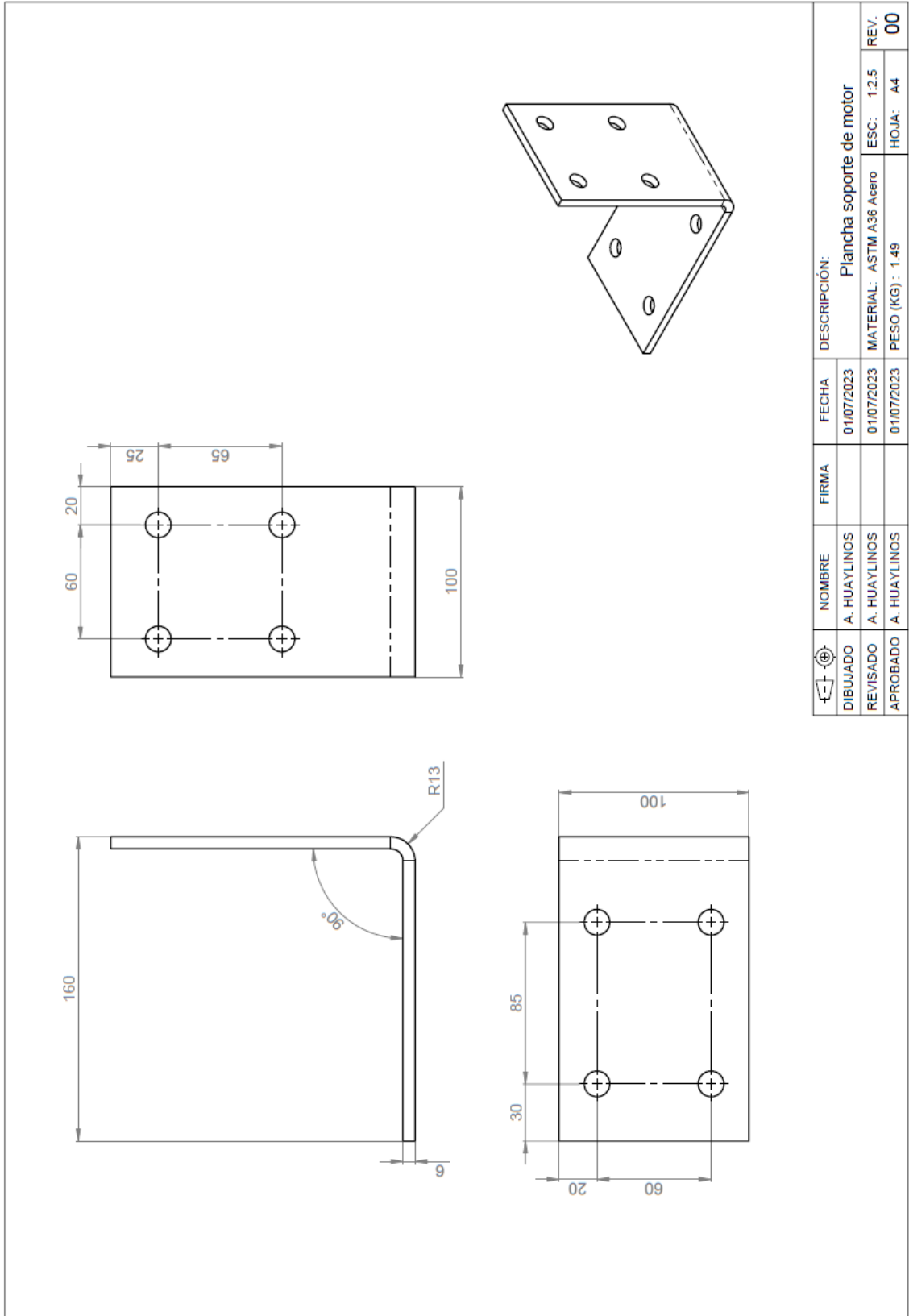
		NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
		A. HUAYLINOS		01/07/2023	Plancha plegada 1-8"x40x330 MATERIAL: ASTM A36 Acero PESO (KG): 0.32	
		A. HUAYLINOS		01/07/2023		
		A. HUAYLINOS		01/07/2023		
					ESC: 1.2	REV.
					HOJA: A4	00

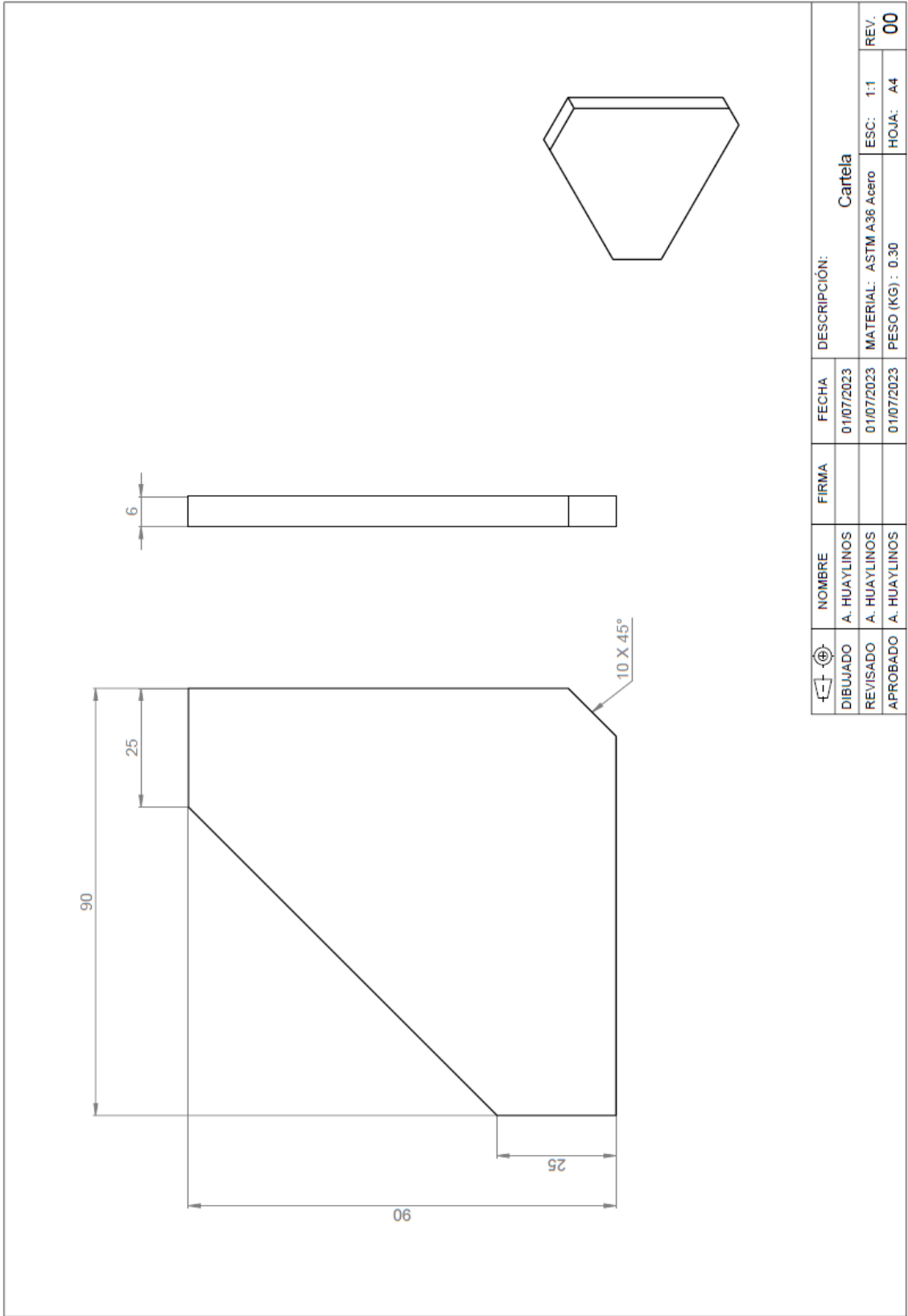


  		NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESCRIPCIÓN:
DIBUJADO	A. HUAYLINOS			01/07/2023	soporte de sensor inductivo
REVISADO	A. HUAYLINOS			01/07/2023	MATERIAL: ASTM A36 Acero
APROBADO	A. HUAYLINOS			01/07/2023	PESO (KG): 0.29
					ESC: 1:2
					HOJA: A4
					REV. 00

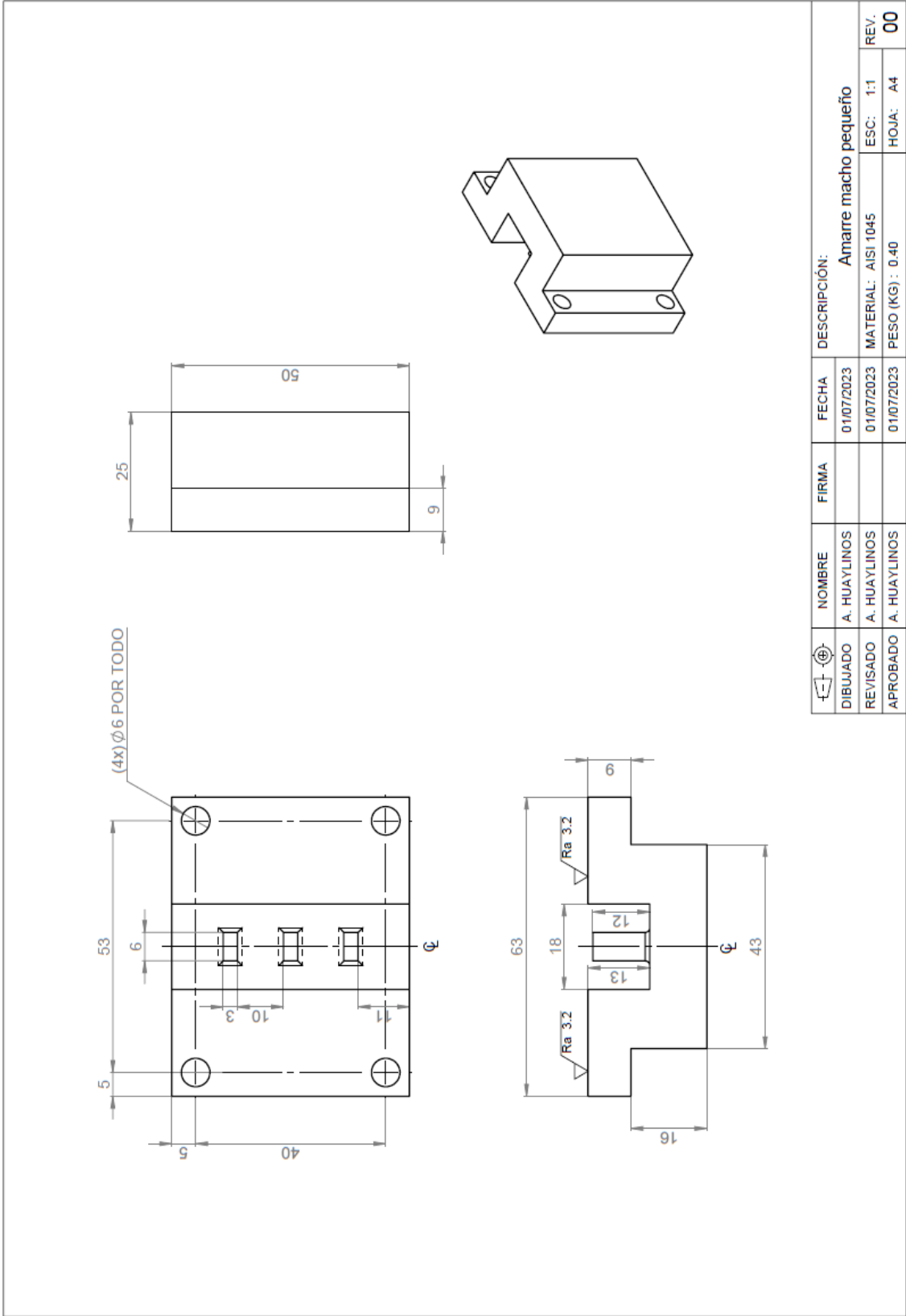


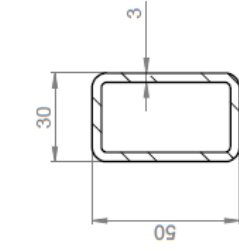
2	Cartela	ASTM A36 Acero	0.30	1	
1	Plancha soporte de motor	ASTM A36 Acero	1.49	1	
N.º	DESCRIPCION		MATERIAL	PESO (KG)	CANT.
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESCRIPCION:	
DIBUJADO	A. HUAYLINOS		01/07/2023	Soporte de motorreductor	
REVISADO	A. HUAYLINOS		01/07/2023	MATERIAL: ASTM A36 Acero ESC: 1:2.5 REV.	
APROBADO	A. HUAYLINOS		01/07/2023	PESO (KG): 1.78 HOJA: A4 00	



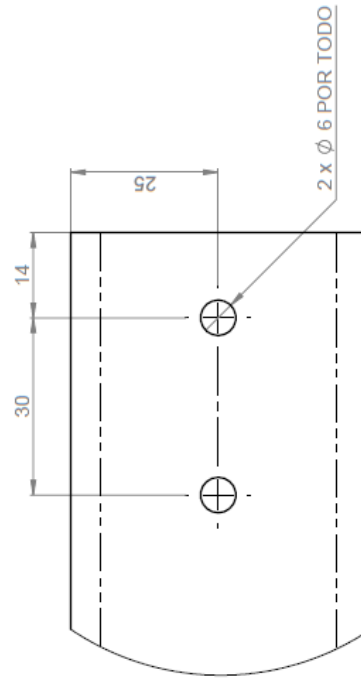
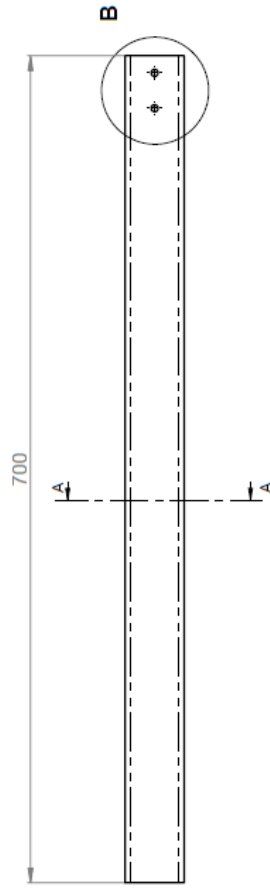
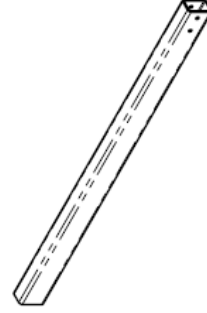


DIBUJADO	A. HUAYLINOS	FIRMA		FECHA	01/07/2023	Cartela	
REVISADO	A. HUAYLINOS				01/07/2023	MATERIAL:	ASTM A36 Acero
APROBADO	A. HUAYLINOS				01/07/2023	PESO (KG):	0.30
						ESC:	1:1
						HOJA:	A4
						REV.	00



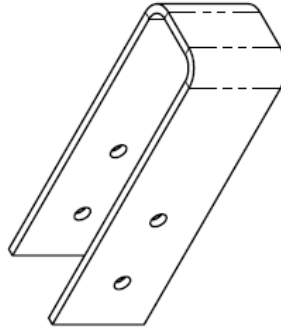
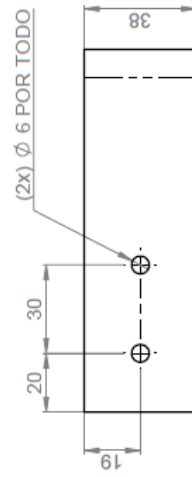
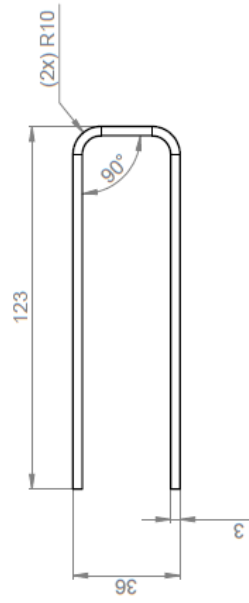


SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2

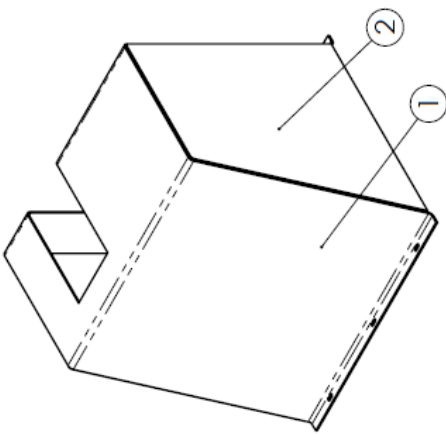
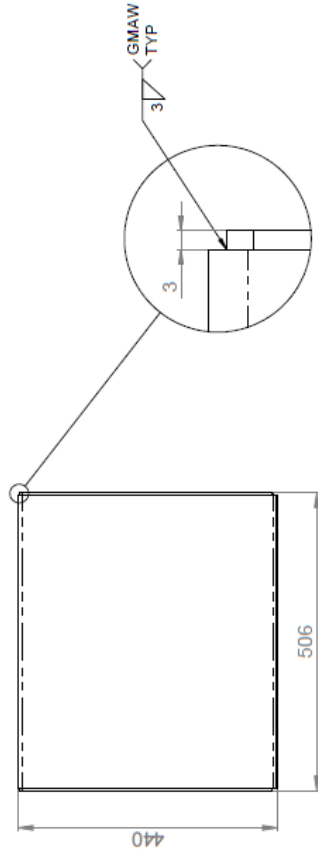


DETALLE B
ESCALA 1 : 1

DIBUJADO		FECHA		DESCRIPCIÓN:	
A. HUAYLINOS		01/07/2023		Brazo soporte de pistola	
REVISADO		01/07/2023		MATERIAL: ASTM A36-Acero	
APROBADO		01/07/2023		ESCALA: 1:5	
				HOJA: A4	
				REV. 00	
				PESO (KG) : 2.46	

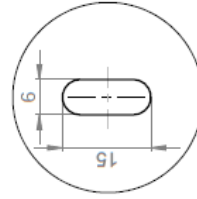
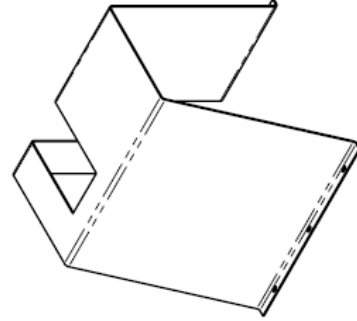
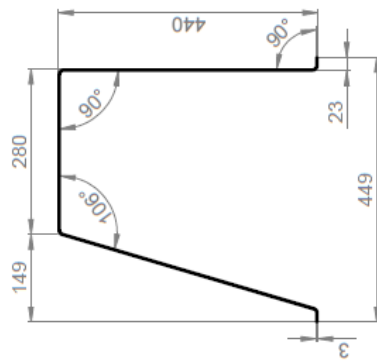
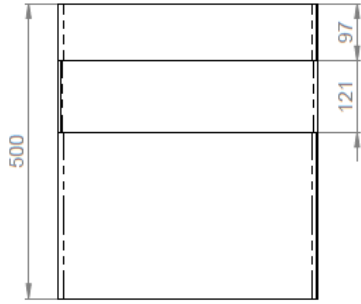


⊕	NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESCRIPCIÓN:	
DIBUJADO	A. HUAYLINOS		01/07/2023	Abrazadera para pistola MATERIAL: ASTM A36 Acero PESO (KG): 0.25	
REVISADO	A. HUAYLINOS		01/07/2023		
APROBADO	A. HUAYLINOS		01/07/2023		
				ESC: 1:2	REV. 00
				HOJA: A4	

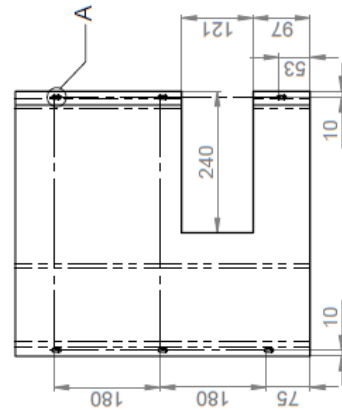


DETALLE
ESCALA 1 : 1

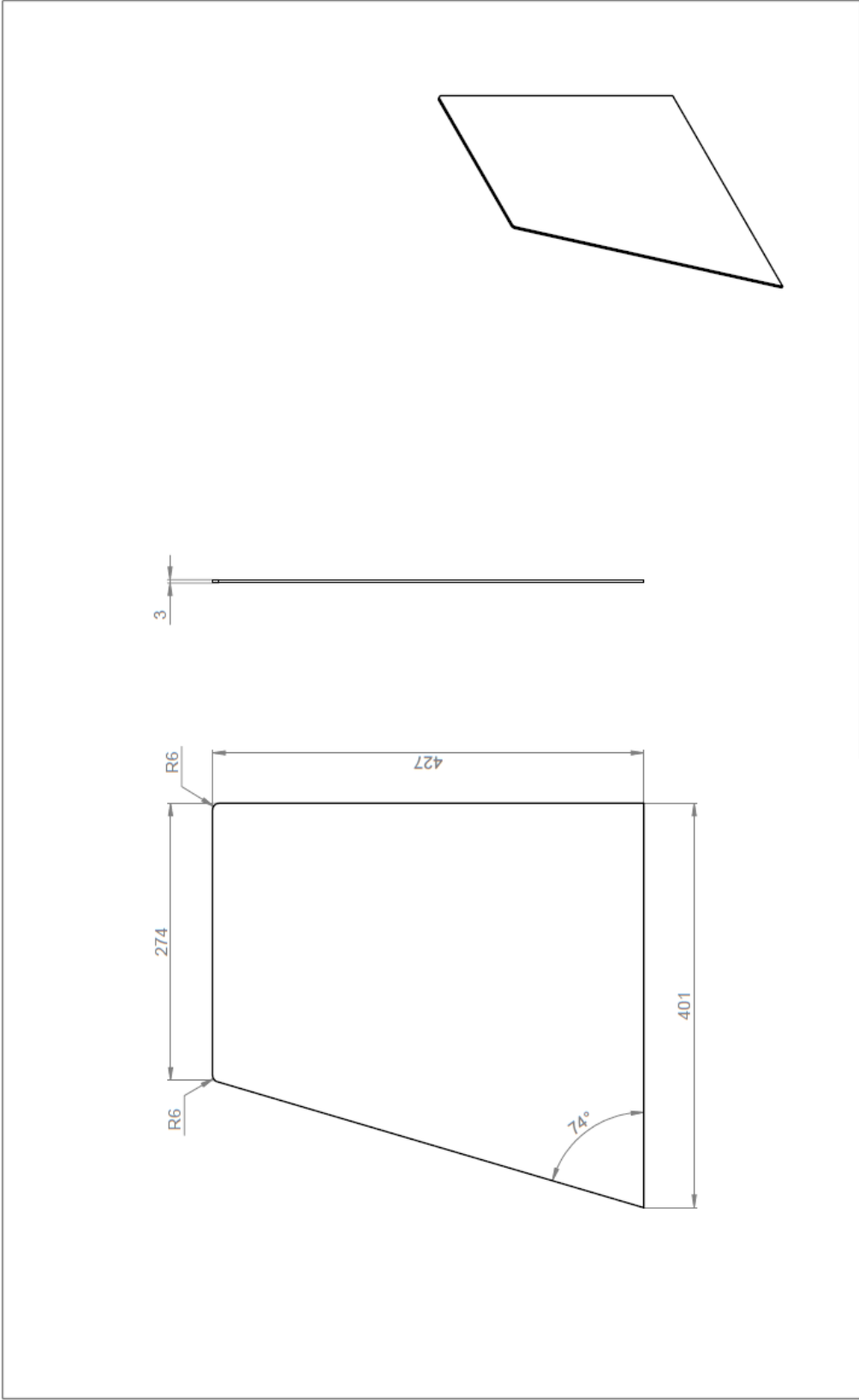
2	Plancha lateral de protector	ASTM A36 Acero	3.59	2
1	Plancha plegada protector	ASTM A36 Acero	12.94	1
N.º	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO (KG)	
			MATERIAL	CANT.
			DESCRIPCIÓN: Protector de motorreductor	
DIBUJADO	A. HUAYLINOS	FIRMA	FECHA	01/07/2023
REVISADO	A. HUAYLINOS			01/07/2023
APROBADO	A. HUAYLINOS			01/07/2023
			MATERIAL: ASTM A36 Acero	ESC: 1:10
			PESO (KG) : 20.13	HOJA: A4
				REV. 00



DETALLE
ESCALA 1:1

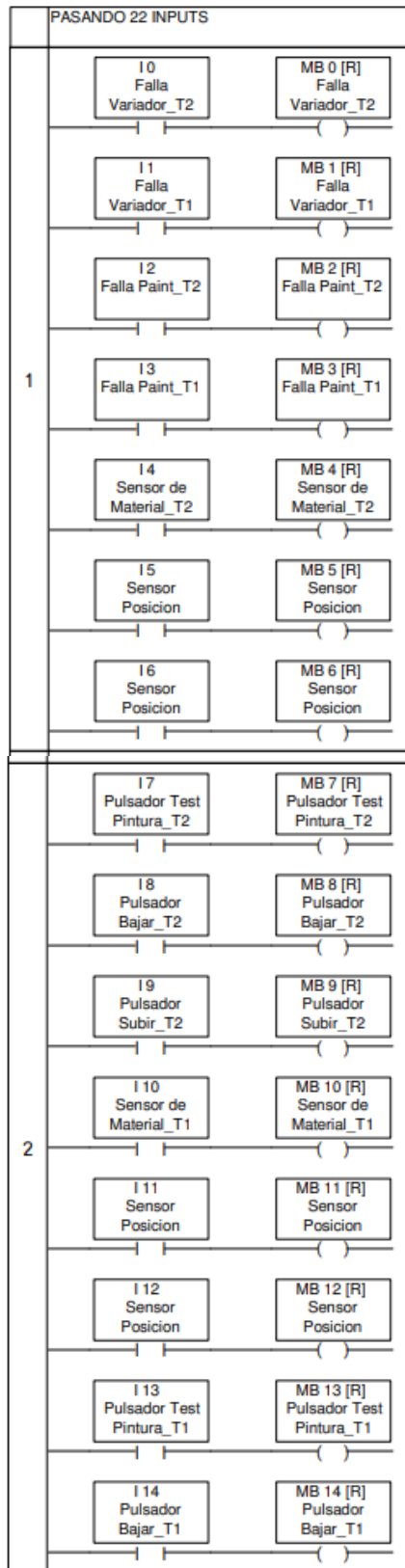


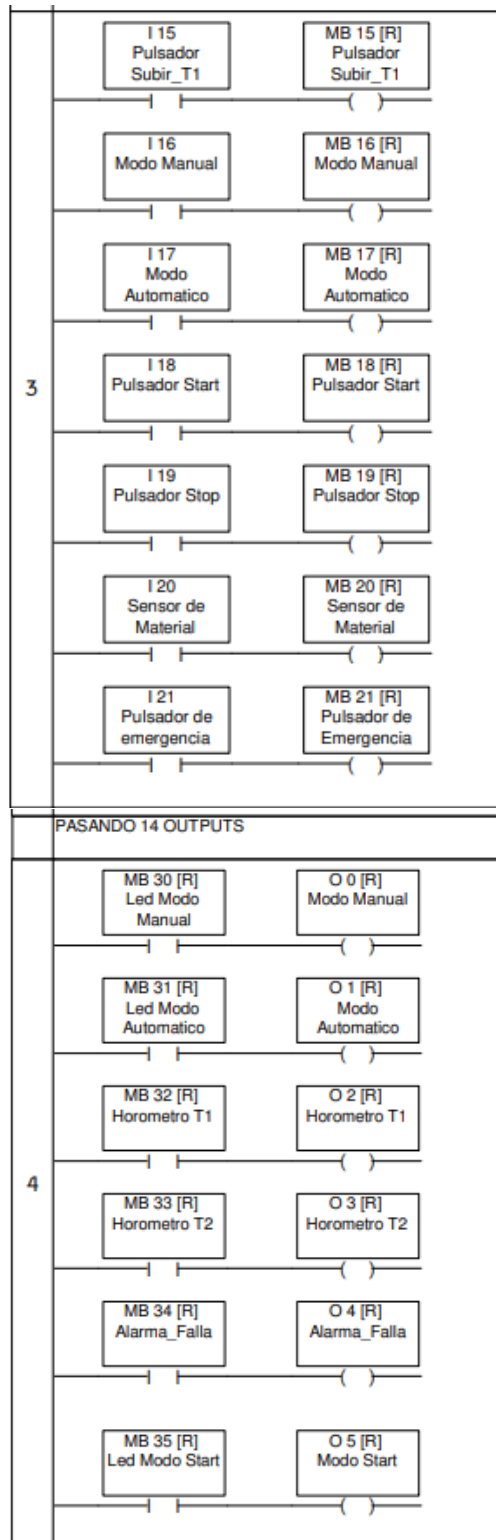
DIBUJADO		FECHA		DESCRIPCIÓN:	
A. HUAYLINOS		01/07/2023		Plancha plegada protector	
REVISADO		01/07/2023		MATERIAL: ASTM A36 Acero	
APROBADO		01/07/2023		PESO (KG): 12.94	
				REV. ESC: 1:10	
				HOJA: A4	
				00	

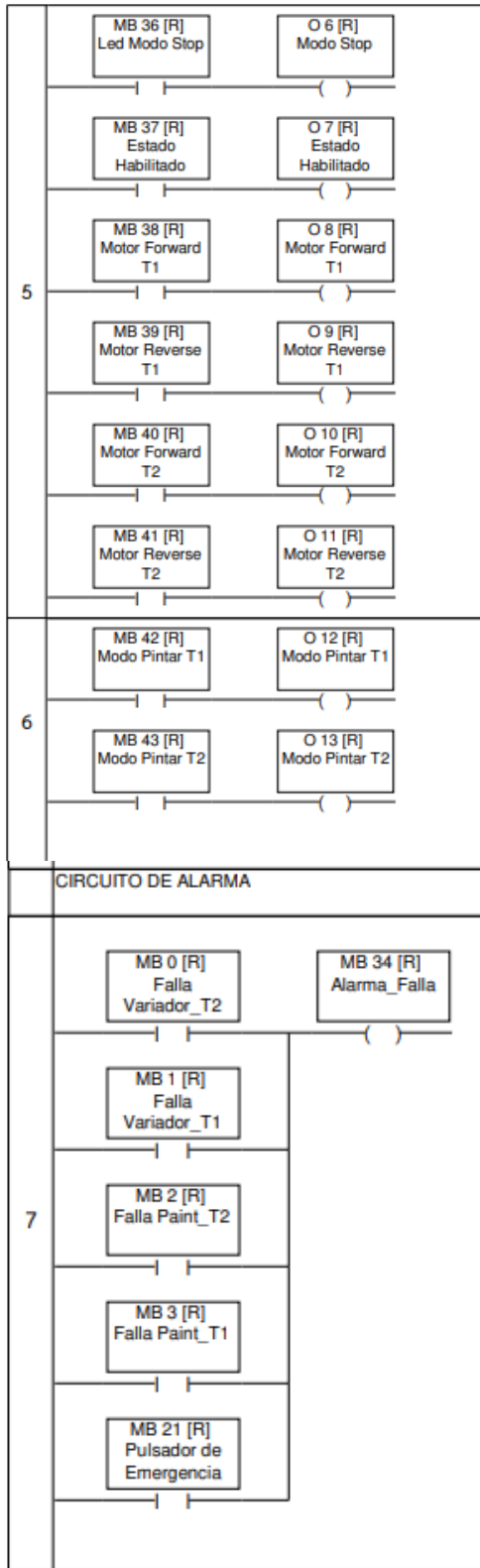


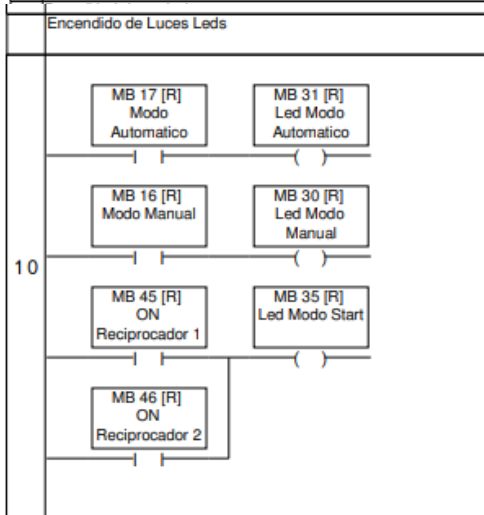
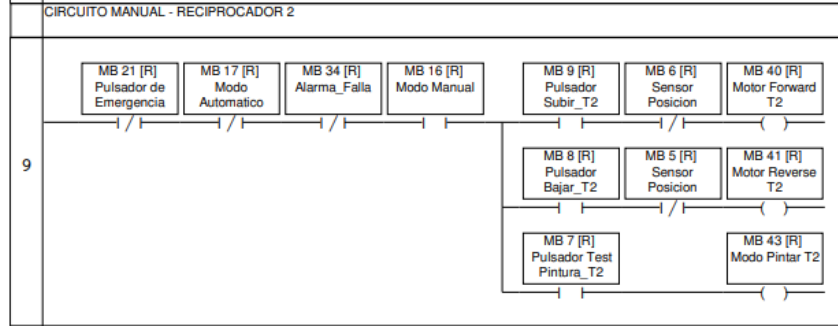
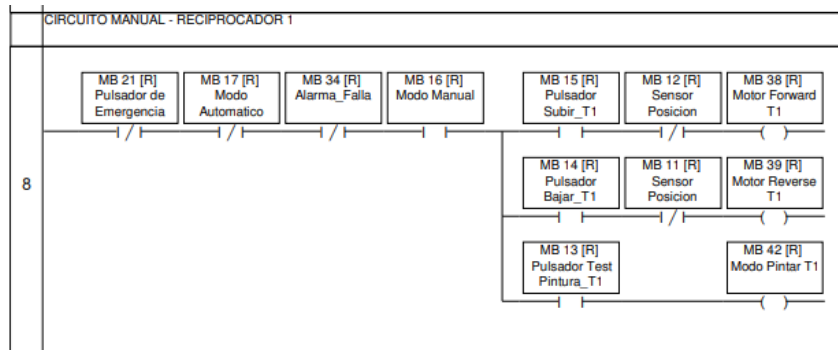
④	NOMBRE	FIRMA	FECHA	DESCRIPCIÓN:
DIBUJADO	A. HUAYLINOS		01/07/2023	Plancha lateral de protector
REVISADO	A. HUAYLINOS		01/07/2023	MATERIAL: ASTM A36 Acero
APROBADO	A. HUAYLINOS		01/07/2023	PESO (KG): 3.59
				ESC: 1:5
				HOJA: A4
				REV. 00

Anexo V: Programación del PLC Vision V130 J T38 en el software UniLogic









CIRCUITO AUTOMATICO

