



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

**DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA DIGITAL
DIDÁCTICA DE UN PROCESO DE MANUFACTURA
AUTOMOTRIZ ORIENTADO A LA MANUFACTURA
DIGITAL**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ

PRESENTA

JORGE FRANCISCO HERNÁNDEZ OSORIO

DIRECTOR DE TESIS

M.C. MOISÉS MANZANO HERRERA

CO-DIRECTOR DE TESIS

DR. JOSÉ ALFREDO CARAZO LUNA

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA, DICIEMBRE DE 2025

RESUMEN

El sector automotriz tiene una destacada importancia a nivel mundial, por lo que la formación de ingenieros en el área es de especial relevancia y más aún en países en vías de desarrollo como México. Los avances tecnológicos son indispensables para la constante evolución de la industria manufacturera, lo que da pie al incremento de la demanda de ingenieros con conocimientos actualizados y con habilidades que les faciliten integrarse a esta acelerada evolución tecnológica. En este tenor, la manufactura digital es fundamental para la buena organización e implementación de una fábrica de cualquier tipo. Esta nueva tecnología presenta soluciones para crear, validar, monitorear y controlar sistemas de producción de una manera más fácil y rápida. Debido a su relevancia en la industria, también adquiere gran importancia en el ámbito académico universitario. Además, constituye una herramienta idónea para su aplicación en la práctica docente.

De esta forma, el diseño de una herramienta digital didáctica de un proceso de manufactura automotriz en el contexto de la manufactura digital es relevante y el tema central de esta tesis.

Considerando los temarios de las carreras afines que ofrece la Universidad Tecnológica de la Mixteca e investigando los procesos aplicados en la manufactura automotriz, se seleccionó la mejor opción para generar una herramienta didáctica basada en tal proceso y representarla digitalmente mediante un software especializado. Este último, de igual manera, se seleccionó después de una investigación y considerando las necesidades que el software debe de satisfacer.

Finalmente se realizó la implementación de la herramienta en el software y se documentaron tanto los resultados como el proceso para alcanzar este fin.

DEDICATORIA

A mi compañera de vida, Samara Ramírez Aguilar, por todo lo que has hecho por mí a lo largo de este tiempo en que hemos caminado juntos. Gracias por acompañarme en los buenos y malos momentos, por tu apoyo constante y por cada palabra de aliento que me has brindado. Has sido, eres y seguirás siendo el motor que me impulsa a avanzar.

A mi madre, mi ejemplo a seguir. Gracias por tus enseñanzas y consejos llenos de sabiduría, por ser la razón de la persona en la que me he convertido y por inspirarme cada día a superarme. Valoro profundamente, tus sacrificios y tu amor incondicional.

A mis abuelos, el Sr. Francisco Osorio y la Sra. Sofía Silva Gómez, quienes me cuidaron en mis primeros años con todo su amor y dedicación. Gracias por protegerme, alimentarme y procurarme siempre, incluso hasta hoy. Su cariño ha sido un pilar fundamental en mi vida.

A todas estas personas que han marcado mi vida de manera profunda e inolvidable, les dedico con todo mi cariño y gratitud este trabajo, fruto del esfuerzo y aprendizaje de estos años.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, Mtro. Moisés Manzano Herrera, por sus enseñanzas, consejos y por su guía constante a lo largo de este trabajo. Su apoyo y exigencia me motivaron a esforzarme más y a mejorar continuamente. Es, sin duda, una persona extraordinaria.

Agradezco también a todos los profesores que fungieron como revisores de esta tesis: el Dr. Salvador Montesinos González, el Dr. Álvaro Jesús Mendoza Jasso, el Dr. Galdino Cardenal Santos Reyes y el Dr. José Alfredo Carazo Luna, pues gracias a su experiencia, sus observaciones y consejos fue posible enriquecer este trabajo y orientar su desarrollo hacia una mejor calidad. Su dedicación ha dejado una huella significativa en mi formación profesional.

Y, por último, pero no menos importante, quiero agradecerme a mí mismo por el esfuerzo, la dedicación y la perseverancia que me permitieron concluir esta tesis. Este logro es también reflejo de mi compromiso y disciplina.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO 1	15
INTRODUCCIÓN	15
1.1 JUSTIFICACIÓN	16
1.2 HIPÓTESIS	17
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y METAS.....	18
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	18
CAPÍTULO 2	23
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	23
2.1 MARCO TEÓRICO	23
2.1.1 INDUSTRIA 4.0	23
2.1.2 MANUFACTURA DIGITAL Y FÁBRICA DIGITAL.....	24
2.1.3 FÁBRICA DE APRENDIZAJE EN LA INDUSTRIA 4.0.....	26
2.1.4 DOCENCIA UNIVERSITARIA	28
2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	28
2.3 METODOLOGÍA	30
CAPITULO 3	35
DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	35
3.1 ANÁLISIS DE TEMARIOS INVOLUCRADOS	35
3.2 INVESTIGACIÓN DE PROCESOS CANDIDATOS	39
3.3 SELECCIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA	46
3.3.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA.....	50
3.4 SELECCIÓN DE COMPONENTES	54
3.5 DISEÑO “CAD” DEL PROCESO.	64
3.6 INVESTIGACIÓN DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE PROCESOS.	71
3.7 SELECCIÓN DE SOFTWARE DE SIMULACIÓN.	76
3.7.1 REQUERIMIENTOS PARA LA DESCARGA E INSTALACIÓN DEL SOFTWARE.....	79
3.8 IMPLEMENTACIÓN DE LA PARTE MÁS SIGNIFICATIVA DEL PROCESO.	81
Configuración TIA Portal V20 y S7-PLCSIM Advanced V7.0.....	82
Configuración S7-PLCSIM Advanced V20 y Visual Components Premium.....	87

3.9 Requerimientos de uso de la herramienta digital didáctica.....	93
Requerimientos del desarrollador de prácticas	94
Requerimientos del estudiante.....	95
Procedimiento para utilizar la herramienta digital didáctica	96
CONCLUSIONES	99
TRABAJO FUTURO	101
REFERENCIAS	103
Anexos.....	107
Anexo A: Tabla Contacto de Ensambladoras en México.....	107
Anexo B: Tabla Información del Material Audiovisual Adicional.	108
Anexo C: Aspectos clave de la guía GEMMA para esta Tesis.	109
Anexo D: Dibujos Realizados en SolidWorks de los Componentes del Proceso.	112
Anexo E: Link de la Carpeta de Videos Tutoriales.....	127
Anexo F: Hojas de Datos de los sensores.....	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ranking de las principales marcas de vehículos en función del número de unidades vendidas en México durante 2024.	40
Figura 2 Procesos de manufactura automotriz (elaboración propia).....	48
Figura 3. Vista superior, lateral, frontal e isométrica de la carrocería.	65
Figura 4 Chassis del vehículo.....	66
Figura 5. Vista superior, lateral, frontal e isométrica del tren de potencia.....	67
Figura 6. Vista superior, lateral, frontal e isométrica de la grúa.	68
Figura 7. Vista superior, lateral, frontal e isométrica del agv.	69
Figura 8. Vista superior, lateral, frontal e isométrica del panel de control.	70
Figura 9 Cadena de comunicación entre software.....	82
Figura 10 Propiedades del plc.	83
Figura 11 Permiso para compatibilizar la simulación de bloques durante el proceso de compilación.....	83
Figura 12 Propiedades del plc.	84
Figura 13 Configuración del plc.....	85
Figura 14 Fragmento del código del plc.....	86
Figura 15 Proceso para exportar la tabla de entradas y salidas.	87
Figura 16 Cambiar dirección ip.....	88
Figura 17 Configuración de s7-plcsim advanced.....	89
Figura 18 Representación visual de los pasos para exportar los diseños realizados en SolidWorks a VC.	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Objetivos específicos y metas. _____	18
Tabla 2. Materias que se beneficiarán y el semestre en el que se imparten. _____	37
Tabla 3. Temas relacionados con la automatización industrial y la carrera en la que se imparten. _____	37
Tabla 4. Ensambladoras que se encuentran en México. _____	41
Tabla 5. Información de los videos analizados. _____	44
Tabla 6. Tren de potencia (entrada del sistema). _____	52
Tabla 7. Carrocería (entrada del sistema). _____	52
Tabla 8 Agv (entrada del sistema). _____	53
Tabla 9 Ensamble completado (salida del sistema). _____	53
Tabla 10. Tipo de componente. _____	55
Tabla 11. Ubicación del componente. _____	55
Tabla 12. Sensores de la grúa. _____	59
Tabla 13. Componentes del agv. _____	60
Tabla 14. Diferentes motores. _____	60
Tabla 15. Componentes de la estación. _____	61
Tabla 16. Componentes del tablero de operaciones. _____	62
Tabla 17. Comparación de software para simulación de manufactura automotriz y automatización industrial. _____	72
Tabla 18. Análisis de software para simulación y automatización en manufactura. _____	74
Tabla 19 Entradas y salidas del plc. _____	86

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

Desde el siglo pasado, el automóvil ha sido uno de los productos manufactureros más exitosos. Es considerado un medio de transporte cómodo, flexible, rápido y asequible, además de haberse convertido en un símbolo de estatus en la sociedad. La industria automotriz, originada en Alemania y Francia, alcanzó su madurez en la era de la producción en masa en América del Norte y sigue siendo una de las principales fuerzas económicas e industriales de diversos países [1].

Para México, la industria automotriz ha sido uno de los pilares más importantes para su desarrollo y fortalecimiento. Concentra el 21% del PIB manufacturero y el 4% del PIB nacional. Según datos recientes, México produjo 3.5 millones de vehículos en 2024 colocándolo como el mayor productor en América Latina [2]. La industria automotriz en México logró el volumen de exportaciones más alto de su historia el pasado mes de febrero de 2025, con 290,000 unidades enviadas al extranjero, incluyendo un aumento significativo en la producción de vehículos eléctricos. x Su participación en las exportaciones la coloca como la industria más importante, superando incluso al sector petrolero. Concentra el 21% del PIB manufacturero y el 4% del PIB nacional, posicionándose como el mayor productor

de vehículos en América Latina. En la actualidad la industria automotriz se ha convertido en uno de los sectores más competitivos que existen [4].

La industria automotriz mexicana no solo lidera en términos de volumen, sino que también se ha convertido en un referente en la adopción de tecnologías avanzadas. La integración de herramientas de la Industria 4.0, como la inteligencia artificial, el Internet de las cosas (IoT) y la manufactura digital, ha permitido mejorar la productividad y la competitividad del sector [3]. Estas tecnologías no solo optimizan los procesos de producción, sino que también impulsan la transición hacia vehículos más sostenibles, como los eléctricos y los autónomos [5].

En este contexto, la Manufactura Digital (DM), como parte de la Industria 4.0, se presenta como una herramienta clave para transformar los procesos de manufactura en el sector automotriz. Este enfoque no solo mejora la eficiencia, sino que también permite a las empresas adaptarse rápidamente a las demandas del mercado global.

1.1 JUSTIFICACIÓN

México ocupa el primer lugar en la utilización de tecnologías tradicionales para la industria manufacturera según el Foro Económico Mundial, sin embargo, el futuro de la producción se basa en las nuevas tecnologías inteligentes digitales. En la actualidad todas las grandes y las PYME (pequeñas y medianas empresas) enfocadas en la manufactura, están implementando la digitalización, pues la manufactura es un sector clave para el crecimiento del mundo y por ende de México [6].

El ausentismo laboral provocado por la pandemia de COVID-19 ha puesto de manifiesto la necesidad de que México acelere la implementación de la digitalización en sus empresas manufactureras. La Asociación de Tecnología para la Manufactura (AMT) proyecta una inversión en México de 3,500 millones de dólares en tecnologías digitales, lo

que subraya la importancia de apostar por esta evolución para enfrentar los retos actuales [7].

Además, las instituciones educativas tienen la responsabilidad de actualizar constantemente los programas de formación asegurando que los futuros profesionales estén preparados para adaptarse a los avances tecnológicos [8].

En este sentido, esta tesis aborda una necesidad urgente al diseñar una herramienta digital didáctica para procesos de manufactura automotriz, orientada hacia la manufactura digital. Esto fortalecerá la formación de los estudiantes de la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM) y generará soluciones para los desafíos en la capacitación de recursos humanos en el sector automotriz. Es importante mencionar que la investigación tiene un enfoque cuantitativo, con un alcance exploratorio [9].

1.2 HIPÓTESIS

Es posible obtener un proceso digital de manufactura automotriz, que funcione como herramienta didáctica para profesores y alumnos en materias de automatización industrial.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una herramienta digital didáctica de un proceso de manufactura automotriz con el fin de utilizarla en materias relacionadas con la automatización industrial en la Universidad Tecnológica de la Mixteca mediante la manufactura digital.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y METAS

A continuación, se presentan los objetivos específicos en relación con sus respectivas metas, organizados en una tabla que facilita la comprensión de su relación y permite visualizar de manera clara el propósito y alcance de cada uno.

Tabla 1. Objetivos específicos y metas.

Objetivo Específico	Meta Asociada
I. Investigar sobre los procesos de manufactura automotriz para seleccionar el de mayor relevancia y pertinencia para implementarlo con Manufactura Digital.	I. Seleccionar un proceso relevante en la manufactura automotriz.
II. Analizar los temarios relacionados con automatización industrial en la UTM, con el fin de identificar las materias en las que se puede aplicar la herramienta.	II. Identificar las necesidades y requerimientos del proceso didáctico.
III. Diseñar el proceso de manufactura automotriz en SolidWorks para obtener un modelo CAD del proceso.	III. Obtener el modelo CAD del proceso didáctico de manufactura automotriz.
IV. Investigar el software orientado a la manufactura digital, disponible comercial y académicamente, para seleccionar el más adecuado.	IV. Seleccionar el software que permita implementar el proceso de manufactura automotriz diseñado y que responda a las necesidades de la UTM.
V. Implementar la herramienta digital en el software seleccionado para su validación.	V. Implementar una parte representativa del proceso diseñado en el software seleccionado, documentando el proceso a detalle.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES

Esta tesis se centra en el análisis y definición de un proceso de manufactura aplicable a los contenidos formativos de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. El alcance del trabajo comprende la revisión de los temarios involucrados, la identificación de procesos

candidatos, la selección de un proceso de manufactura pertinente y el desglose de sus componentes principales.

Asimismo, el proyecto abarca el desarrollo del diseño CAD del proceso seleccionado y la investigación comparativa de diversas herramientas de simulación disponibles en el ámbito académico e industrial. A partir de dicha revisión, se realiza la selección fundamentada del software de simulación más adecuado para representar el proceso definido.

Como parte del alcance también se incluye la implementación de la sección más significativa del proceso en el software elegido, con el propósito de demostrar su funcionamiento, su estructura lógica y su viabilidad como recurso académico para la enseñanza y comprensión de procesos de manufactura.

En síntesis, el alcance del trabajo se limita a definir, modelar y simular parcialmente un proceso de manufactura representativo, con énfasis en su utilidad pedagógica y su correspondencia con los contenidos curriculares de la UTM.

LIMITACIONES

La tesis se encuentra delimitada por factores técnicos, académicos y operativos inherentes a su desarrollo. En primer lugar, la simulación del proceso no contempla la implementación completa del sistema, sino únicamente la parte más significativa.

De igual manera, la selección del proceso de manufactura está acotada a aquellos que mantienen correspondencia directa con los temarios analizados; por lo tanto, no se consideran procesos que no poseen una relación explícita con la formación académica objeto de estudio.

El diseño CAD se elabora con un nivel de detalle adecuado para fines de simulación y análisis conceptual, pero no alcanza el grado de especificación necesario para producción real o manufactura a escala industrial.

En cuanto al software de simulación, la elección depende de la disponibilidad de licencias, compatibilidad con los recursos institucionales y de aprendizaje, así como del tiempo necesario para su configuración y uso. Esto implica que se excluyen plataformas que, aunque avanzadas, no resultan accesibles en el contexto del proyecto.

Finalmente, el trabajo no evalúa el desempeño del proceso en condiciones reales de operación, ni considera variables como costos, tiempos de ciclo o indicadores de eficiencia industrial, ya que el objetivo se orienta al fortalecimiento académico mediante el modelado y simulación conceptual.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 MARCO TEÓRICO

La industria automotriz se encuentra en constante desarrollo tecnológico, tanto en México como a nivel global. El empleo de herramientas como lo es la Industria 4.0 impulsa su expansión tecnológica y más aún al poner en práctica tecnologías como la inteligencia artificial, la manufactura digital, la robótica avanzada y la fabricación aditiva. En particular, la manufactura digital es una tecnología muy importante en este ramo pues reduce costos, tiempo y facilita los procesos [10]. El continuo avance tecnológico de esta industria exige, a su vez, una evolución en los sistemas educativos para la formación de futuros ingenieros. Esto ha dado lugar a innovaciones como lo son las fábricas de aprendizaje, donde una de sus finalidades es la de acercar a los estudiantes de ingeniería a los desafíos con los que se enfrenta la industria y así obtener experiencia mientras realizan sus estudios [11].

2.1.1 INDUSTRIA 4.0

Mientras la tecnología avanza, la productividad industrial también lo hace, al menos eso es lo que se ha aprendido durante los últimos 200 años con las tres revoluciones industriales anteriores, es decir, la mecanización (impulsada por máquinas de vapor en el

siglo XIX), la producción en masa (impulsada por electricidad y la línea de montaje a principios del siglo XX) y la automatización (impulsada por computadoras a finales del siglo XX) [12]. En la actualidad, las tecnologías emergentes como los sistemas ciberfísicos (CPS), el internet de las cosas (IoT), computación en la nube y el Big Data, están transformando la producción industrial y como consecuencia comenzando una cuarta etapa que se caracteriza por la inteligencia artificial y la creación de redes, llamada Industria 4.0 [11]. En la referencia [10] se presentan dos definiciones para el término de Industria 4.0 que reflejan su alcance: *“Representa la cuarta revolución industrial, la siguiente etapa en la organización y el control de todo el flujo de valor a lo largo del ciclo de vida del producto”* y *“Un término colectivo para tecnologías y conceptos de organización de la cadena de valor a través del internet de las cosas (IoT) y el internet de servicios (IoS)”*.

Existen y están emergiendo nuevos desafíos globales para la industria manufacturera, orientados más que nada hacia las tecnologías digitales y virtuales, para hacerles frente a estos desafíos la I4.0 sirve como herramienta para solucionarlos [10]. Esta herramienta es un nuevo paradigma para el control autónomo y descentralizado de la producción, lo que significa un nuevo nivel de integración y procesamiento de datos en la producción industrial [11].

2.1.2 MANUFACTURA DIGITAL Y FÁBRICA DIGITAL

Desde que comenzó la manufactura integrada por computadora (CIM) en 1980, la tecnología ha ido evolucionando, y como consecuencia se ha reducido el costo de la computación, dando paso a la aplicación de la automatización en todos los niveles de la empresa, obteniendo un mejor control, planificación y programación [10].

Con el inicio de la CIM comenzó también el desarrollo de nuevas ideas para la simulación, y lo que comenzó como un simple diseño y análisis de tensión para determinar si un componente se deforma permanentemente bajo carga, se convirtió en un software sofisticado que aplica muchos algoritmos y estrategias matemáticas para simular la física

compleja relacionada con el uso y la función de un producto en el mundo real [13]. Entre todas estas tecnologías emergentes surgió el concepto de manufactura digital, con el fin de dar respuesta a la necesidad de un diseño más colaborativo de productos y procesos [10].

Estos avances tecnológicos provocaron cambios en la industria manufacturera automotriz y por tal motivo se incrementó la digitalización, lo que revolucionó toda la cadena de suministro de la industria automotriz. La interconexión de las cadenas de suministro aumenta la transparencia en toda la cadena de suministro al integrar sistemas y datos relevantes, análisis avanzados, aumentar la eficiencia de los procesos de la cadena de valor, mejorar la gestión integrada de los procesos de producción y reducir los costos y tiempos de entrega, desde la etapa de diseño hasta la fabricación y distribución [1].

Dentro de las tecnologías emergentes existe un concepto llamado fábrica digital, que a menudo es confundido con manufactura digital, para esta investigación es importante que se comprenda la diferencia que existe entre estos dos conceptos. Por tal motivo, y con base en la referencia [10] donde el tema central es la confusión terminológica entre manufactura y fábrica digital, se consideraron los siguientes conceptos.

Fábrica Digital. Tecnología que permite modelar los sistemas de producción y procesos de una fábrica capturando y representando la información necesaria para este fin. Para mejorar los aspectos físicos de la fabricación y apoyar la planificación de la fábrica, la fábrica digital representa un modelo digital de recursos y procesos disponibles en la fábrica, como estudio de diseño y flujo de materiales [10].

Manufactura Digital. Se centra en mejorar todo el ciclo de vida del producto basándose en la integración de tecnologías y áreas de negocio ocupando la representación del producto y proceso de forma digital. El papel real de la Manufactura Digital es el de conectar diferentes partes del ciclo de vida del producto a través de datos digitales que llevan la intención del diseño y la información de gestión, todo esto para la automatización inteligente y la toma de decisiones comerciales inteligentes y más eficientes.

Estas dos tecnologías se relacionan por el objeto que utilizan: Producto, Proceso y Recurso (PPR) las diferencias pueden ser mínimas, pero son cruciales para comprender la finalidad de cada tecnología [10].

Con base en las terminologías anteriores, la Manufactura Digital es la que define de mejor manera la finalidad que tendrá la elaboración de esta tesis, por tal motivo se explican más detalladamente aspectos importantes de la Manufactura Digital.

La Manufactura Digital permite una mayor flexibilidad para la industria manufacturera, la cual es indispensable para ser competitivos en el mercado actual, considerando también que la DM se puede usar para definir, simular, validar y mejorar los procesos de fabricación reduciendo el costo y tiempo que provoca el ensayo y error físico. De igual manera, la tecnología que permite la DM se puede utilizar para diseñar y simular las instalaciones de producción, incluido su diseño, herramientas, equipos, accesorios y procesos. La tecnología DM es el vínculo desde el mundo virtual donde se fijan los productos y procesos de fabricación asociados, hasta la producción física del producto [12].

2.1.3 FÁBRICA DE APRENDIZAJE EN LA INDUSTRIA 4.0

El advenimiento de la Industria 4.0 provocó cierta presión sobre las universidades para el desarrollo de sus conocimientos y habilidades tecnológicas con un enfoque en la digitalización y así aportar a la cuarta revolución industrial. Por lo tanto, en algunas universidades del mundo aceleraron el desarrollo de programas académicos y de investigación asociados a la Industria 4.0. La fábrica de aprendizaje se utilizó como herramienta, una plataforma para mejorar la colaboración entre los participantes vinculada con un programa académico para crear proyectos de investigación relacionados con la digitalización [14].

Lo que ofrece la fábrica de aprendizaje es una plataforma para que los estudiantes desarrollen conocimientos disciplinarios, interdisciplinarios y las habilidades de

investigación necesarias para abordar los complejos desafíos que enfrenta la industria, todo esto con la finalidad de adoptar tecnologías inteligentes como la digitalización, por parte de las fábricas de aprendizaje [13].

La fábrica de aprendizaje es un concepto de la I 4.0 del cual continúan surgiendo nuevas ideas y nuevos propósitos para su creación, sin embargo, entre sus diversos propósitos existe uno que siempre destaca, pues son creadas para enseñar a los futuros ingenieros que serán integrados a la fuerza laboral en universidades, empresas de fabricación o consultoras [15].

Los estudiantes de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Industrial son los que suelen estar involucrados en las fábricas de aprendizaje, pero es importante mencionar que el IoT ha tomado mucha relevancia en la Industria 4.0, pues los sensores inalámbricos que se comunican entre sí son pieza clave para las industrias manufactureras, por lo tanto la Ingeniería en Computación ahora tiene oportunidades de contribuir mediante el diseño de sensores apropiados y el análisis y uso de los datos que recopilan [9].

Las fábricas de aprendizaje son un entorno en el que los estudiantes desarrollan habilidades prácticas de creación de prototipos y experimentan el uso de técnicas de fabricación comunes. Sin embargo, muchos estudiantes no tienen estas oportunidades prácticas. También se espera que ciertas disciplinas puedan ocupar mejor estas herramientas y recursos porque se necesita que los estudiantes puedan comprender cada proceso de fabricación a medida que se conecta con la industria [9].

En Europa, se consideran la ciencia y tecnología, la innovación y el espíritu empresarial, así como la educación y la formación, los tres pilares de la fabricación exitosa [7]. También se menciona que la educación y la formación se deben de actualizar constantemente por los institutos educativos para cubrir la evolución tecnológica. En los últimos años, se han construido más y más fábricas de aprendizaje, donde los empleados y estudiantes pueden aprender en entornos de producción realistas [13].

2.1.4 DOCENCIA UNIVERSITARIA

El uso de herramientas digitales en la docencia universitaria ha evolucionado gradualmente a lo largo de los años, pero no fue hasta la reciente pandemia provocada por el Covid-19 que comenzó un acelerado desarrollo de herramientas digitales para la docencia universitaria, pues muchas instituciones se vieron obligadas a trasladar sus clases al entorno virtual.

Un ejemplo de una herramienta digital son las fábricas de aprendizaje, en la Universidad Estatal de Pensilvania cuentan con una fábrica de aprendizaje en donde los estudiantes interactúan con la industria para resolver problemas reales de temas como mecanizado, soldadura, impresión 3D, metrología y CAD/CAM, otorgándole a los estudiantes experiencia mientras estudian [11].

Por otro lado, la UTM cuenta con herramientas digitales como la universidad virtual, la cual permite a los estudiantes acceder a programas educativos a distancia, como la Maestría en Ciencia de datos y la Licenciatura en Estudios Mexicanos. Sin embargo aún no cuenta con una herramienta como la que se propone en este trabajo de tesis. La incorporación de una herramienta digital didáctica de un proceso de manufactura automotriz permitirá que los estudiantes aprendan y adquieran conocimientos prácticos y teóricos de manera interactiva y eficiente.

2.2PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los avances tecnológicos representan un elemento crucial para la evolución constante de la industria manufacturera, tanto a nivel nacional como internacional. En este contexto, las instituciones educativas, en particular las universidades, tienen la responsabilidad de adaptarse y responder a la acelerada transformación tecnológica. Es esencial que estas instituciones integren nuevas tecnologías en los procesos de enseñanza, de manera que los futuros ingenieros y profesionales que formarán parte de estas industrias estén capacitados para enfrentar los desafíos que plantea el entorno actual.

A pesar de la relevancia de incorporar tecnologías avanzadas en la educación, muchas universidades enfrentan limitaciones significativas en la implementación de procesos de manufactura, tanto físicos como digitales, orientados a la formación académica. Una de las principales barreras es el elevado costo asociado con la adquisición de equipos físicos para manufactura industrial, el cual se incrementa aún más debido a los gastos derivados del mantenimiento periódico tras determinados ciclos de trabajo. Adicionalmente, es necesario considerar los costos asociados con la capacitación de técnicos y profesores encargados de operar y supervisar dichos equipos, lo que constituye una inversión económica considerable.

Por otro lado, el uso de equipos físicos para fines didácticos también conlleva riesgos inherentes, como la posibilidad de accidentes tanto para los estudiantes como para las propias máquinas. Estos riesgos se suman a la necesidad de realizar una inversión constante para garantizar que los equipos se mantengan funcionales y alineados con los avances tecnológicos de la industria manufacturera.

La Universidad Tecnológica de la Mixteca, consciente de estos desafíos, ha comenzado a desarrollar iniciativas dirigidas a incorporar tecnologías de vanguardia en sus procesos educativos. Dado que una parte importante de las carreras ofrecidas por la UTM están relacionadas con el ámbito ingenieril, resulta fundamental promover el diseño e implementación de herramientas digitales didácticas que estén específicamente orientadas a procesos de manufactura automatizada basados en la manufactura digital. Este enfoque no solo beneficiará directamente a los estudiantes de Ingeniería Mecánica Automatizada, sino que también impactará de manera positiva a alumnos de otras disciplinas, como Ingeniería en Mecatrónica, Ingeniería en Computación e Ingeniería Industrial, quienes podrán participar activamente en la innovación tecnológica aplicada a las industrias manufactureras.

La incorporación de tecnologías digitales en los procesos de enseñanza no solo permitirá optimizar la formación académica, sino que también contribuirá a la generación de soluciones para los problemas actuales en el sector manufacturero, potenciando la

capacitación de recursos humanos especializados y fortaleciendo la conexión entre la academia y la industria. Este planteamiento aborda una necesidad urgente y representa una oportunidad estratégica para impulsar el desarrollo educativo y tecnológico en la región y el país.

La incorporación de tecnologías digitales en los procesos de enseñanza no solo permitirá optimizar la formación académica, sino que también contribuirá a la generación de soluciones para los desafíos actuales del sector manufacturero, potenciando la capacitación de recursos humanos especializados y fortaleciendo la vinculación entre la academia y la industria. Este planteamiento aborda una necesidad urgente y representa una oportunidad estratégica para impulsar el desarrollo educativo y tecnológico en la región y en el país.

En este contexto, surge la pregunta de investigación que guía la tesis: ¿Es posible obtener un proceso digital de manufactura automatizada que funcione como herramienta didáctica para profesores y alumnos en materias de automatización industrial?

2.3 METODOLOGÍA

Análisis de los temarios involucrados de la UTM

Se investigarán y analizarán los temarios de las ingenierías que ofrece la UTM, para garantizar que la tesis efectivamente favorece a la docencia de la universidad basándose en las materias de los diferentes planes de estudio.

Investigación de procesos candidatos

Se realizará una detallada investigación sobre los procesos de manufactura automatizada más relevantes en la industria, con el propósito de elegir el mejor para la tesis, poniendo en práctica los conocimientos adquiridos en la carrera y considerando una posible visita a alguna fábrica manufacturera automatizada con la finalidad de que el diseño sea lo más semejante posible a un proceso implementado en una fábrica real.

Selección del proceso de Manufactura

Uno de los requisitos fundamentales para elegir el proceso de manufactura son las necesidades didácticas que debe tener, tomando en cuenta la investigación de los temarios de las carreras que involucren materias como automatización industrial o semejantes, se seleccionará el proceso de manufactura asegurando que sirva como herramienta fundamental para las carreras involucradas en este tipo de materias.

Selección de componentes principales del proceso

Se analizarán los diferentes componentes del proceso de manufactura para definir cuáles son los necesarios y fundamentales para que funcione como herramienta digital didáctica.

Diseño CAD del proceso

Elaboración detallada del proceso de manufactura automatizada en SolidWorks que será la base del modelo a implementar en el software de simulación de procesos.

Investigación del Software de simulación de procesos

Se investigarán y analizarán diferentes alternativas de software que se utilizan para la simulación de procesos de manufactura, se evaluarán sus limitaciones con la finalidad de seleccionar aquél que cumpla con todos o la mayoría de los criterios establecidos, tomando como base los datos obtenidos de las etapas anteriores. Cabe señalar que la simulación del proceso diseñado en SolidWorks requiere el uso de un software adicional que permita su integración con un PLC virtual.

Selección del Software de simulación

Una vez realizada la investigación de la etapa anterior, se seleccionará la mejor opción de software que simulará, automatizará e integrará el proceso.

Implementación de la parte más significativa del proceso

Por último, se validará la herramienta digital diseñada empleando el software seleccionado para su implementación. Asimismo, se realizará la documentación necesaria que permita a estudiantes y profesores emplear la herramienta diseñada.

CAPITULO 3

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

A fin de garantizar un desarrollo metodológico claro, riguroso y coherente con los objetivos planteados en esta tesis, se estableció una secuencia de etapas que orientan el proceso desde la identificación inicial del contexto académico hasta la implementación de la simulación de la herramienta propuesta. Cada una de estas fases permite abordar de manera sistemática la selección, análisis, diseño y validación del proceso de manufactura automatizada. A continuación, se describen detalladamente los pasos que conforman la metodología empleada, los cuales aseguran la solidez técnica y la pertinencia académica del estudio.

3.1 ANÁLISIS DE TEMARIOS INVOLUCRADOS

La Ingeniería Mecánica Automatizada representa la principal carrera beneficiada por la presente tesis, que consiste en el diseño de una herramienta digital didáctica enfocada en un proceso de manufactura automatizada. Dicha herramienta tiene como objetivo principal facilitar la enseñanza mediante metodologías prácticas y digitales, impulsando el aprendizaje significativo entre los estudiantes de esta disciplina. No obstante, es fundamental destacar que el impacto de esta herramienta no se limita exclusivamente a esta

carrera, ya que otras disciplinas como Ingeniería en Diseño, Ingeniería en Electrónica, Ingeniería en Mecatrónica e Ingeniería Industrial también obtendrán beneficios significativos mediante la implementación de esta propuesta.

En la Tabla 2, se identifican las materias correspondientes a las carreras mencionadas que abordan temas relacionados con la automatización industrial. Estos contenidos educativos son de especial relevancia, ya que la herramienta digital propuesta está diseñada para actuar como un recurso didáctico que facilite tanto la labor docente como el proceso de aprendizaje de los estudiantes en dichas áreas.

Con el propósito de maximizar el impacto y utilidad de la herramienta digital, se realizó un análisis exhaustivo de las materias que se presentan en la Tabla 2. Este análisis permitió identificar los temas directamente vinculados con la automatización industrial, los cuales serán los ejes principales para la aplicación de la herramienta. Durante este proceso, se observó que algunas carreras comparten temas en común, lo que motivó la elaboración de la Tabla 3. Esta tabla clasifica los temas identificados, especifica las carreras en las que se abordan y los ordena de manera descendente según la frecuencia con la que aparecen en los programas de estudio de la UTM. Para facilitar su identificación, cada tema se designó con la nomenclatura T_n , donde n corresponde al número del tema en función de su posición en la tabla.

Es importante señalar que, durante el análisis, se descartaron aquellos temas introductorios que no presentan una relación directa con los ejercicios prácticos que pueden desarrollarse con la herramienta digital. Un ejemplo de estos temas descartados es la "Historia de la Manufactura Integrada por Computadora", el cual, aunque es común en diversas asignaturas, no proporciona una conexión práctica directa para el propósito de la herramienta propuesta.

Tabla 2. Materias que se beneficiarán y el semestre en el que se imparten.

Carrera	Ingeniería Mecánica Automotriz	Ingeniería en Diseño	Ingeniería en Electrónica	Ingeniería Mecatrónica	Ingeniería Industrial
Séptimo Semestre		Ingeniería y Manufactura Asistido por Computadora CAE-CAM			
Octavo Semestre				Autómatas programables	
Noveno Semestre	Automatización Industrial				
Décimo Semestre			Controladores Lógicos Programables	Manufactura Avanzada	Automatización para Ingeniería Industrial

Tabla 3. Temas relacionados con la automatización industrial y la carrera en la que se imparten.

Carrera	Ingeniería Mecánica Automotriz	Ingeniería en Diseño	Ingeniería en Electrónica	Ingeniería Mecatrónica	Ingeniería Industrial
El autómata lógico programable (T1)	I		I	I	I
Tiempo de ejecución: el ciclo (scan) de un PLC (T2)	I		I	I	I
Detectores de proximidad inductivos, capacitivos, de ultrasonido y ópticos (T3)	I	I	I	I	

Simulador PLC (T4)	I		I	I	
Lenguaje de lista de instrucciones (T5)	I			I	I
Subrutinas e interrupciones (T6)	I		I	I	
Automatismos cableados y programables (T7)	I		I		
Conexiones de entradas y salidas (T8)	I		I		
Configuraciones (T9)	I		I	I	
Redes de comunicaciones industriales (T10)	I			I	
Funciones especiales y ejemplos de aplicación (T11)			I	I	
Temporizadores, contadores y registros de corrimiento (T12)	I			I	
Redes sensor-actuator: ASI (T13)	I			I	
Software de simulación para aplicaciones de manufactura (T14)					I
Diseño para manufactura y ensamblaje (DFMA) (T15)					I
Buses orientados a dispositivos: CAN Bus y LONWorks (T16)				I	
El computador y el ciclo de procesos de un producto (T17)	I				

3.2 INVESTIGACIÓN DE PROCESOS CANDIDATOS

Como parte esencial de esta metodología, se realizó un análisis exhaustivo de las diferentes ensambladoras automotrices presentes en México, recopilando información clave como el nombre de la empresa, ubicación geográfica, posición en el mercado global, modelos automotrices ensamblados, y la disponibilidad de tours dentro de las instalaciones. También se incluyó información relevante sobre las vías de contacto con estas empresas, cuya organización se encuentra detallada en la Tabla 4. Esta información es crucial para establecer vínculos que permitan enriquecer la investigación y obtener una comprensión práctica de los procesos de manufactura implementados en estas plantas.

Posteriormente, se llevó a cabo una investigación audiovisual centrada en la observación de procesos de ensamble automotriz. Los materiales estudiados permitieron identificar las etapas fundamentales de manufactura utilizadas para la producción de automóviles en las marcas mencionadas en la Tabla 4 (ver Anexo A). Sin embargo, durante la búsqueda de información en las ensambladoras situadas en México, se encontró una limitada disponibilidad de videos que mostraran estos procesos. En contraste, se lograron mejores resultados al analizar contenido generado en los países de origen de las marcas, como Alemania para BMW, lo que permitió obtener material más detallado. Los datos recopilados de estos videos se organizan en la Tabla 5, la cual presenta información relevante como la duración de los videos, fecha de publicación y, en aquellos casos donde se identificó un proceso candidato, el minuto específico en el que comienza dicho proceso, facilitando su análisis y selección.

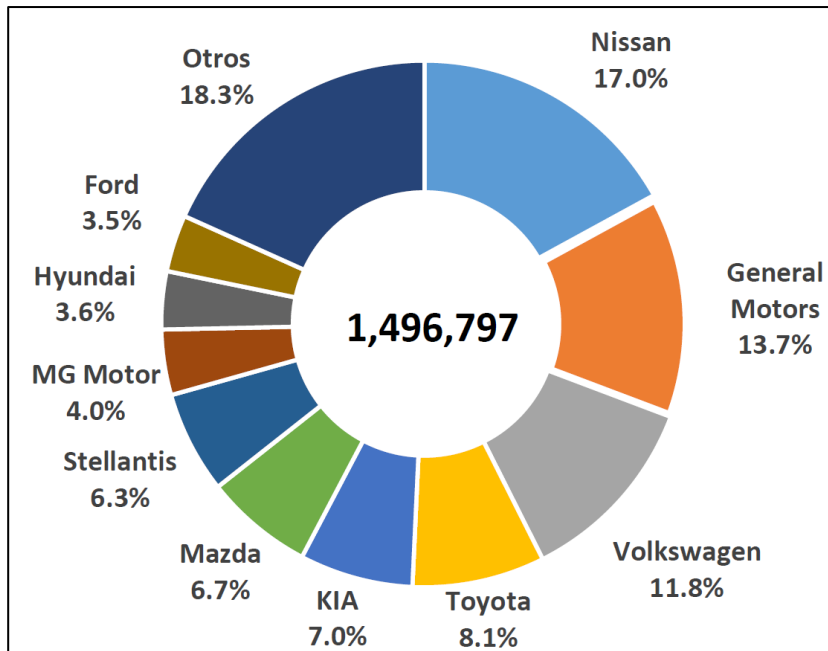


Figura 1 Ranking de las principales marcas de vehículos en función del número de unidades vendidas en México durante 2024.

Adicionalmente, se integró información visual mediante el gráfico que se presenta en la Figura 1, donde se puede observar el desempeño comercial de las principales marcas automotrices en México durante el año 2024, basado en el número de unidades vendidas. Este análisis incluyó marcas líderes como Nissan, que destaca significativamente en comparación con otras empresas. Dicho gráfico proporciona una perspectiva clara sobre el impacto de cada marca y constituye una variable adicional para la selección del proceso de manufactura más relevante y didáctico para la enseñanza de los estudiantes.

Tabla 4. Ensambladoras que se encuentran en México.

LOGO DE LA EMPRESA AUTOMOTRIZ	POSICIÓN DE LA EMPRESA POR UNIDADES VENDIDAS	UBICACIÓN	MODELOS QUE SE ENSAMBLAN	NOMBRE DE LA PLANTA ENSAMBLADORA	TOUR EN LA PLANTA
ZACUA	***	Puebla	Zacua MX2 y Zacua MX3	Zacua Puebla	NO
VHUL	***	Querétaro	VUHL 05 y VUHL 05RR	Ensambladora de VUHL	Sí
GM (Giant Motors)	8°	Cd. Sahagún Hidalgo	E10X, E5, E4, E Se4 Pro, E7, X350 y E5 SUNRAY	Giant Motors Latinoamérica	N/D
FIAT	***	Jocotitlán, Estado de México	ATL, OLIN, BALAM y I11X	Zona Industrial Pasteje	NO
HYUNDAI	9°	Pesquería, Nuevo León	Forte, KIA Rio y KIA Accent	KIA México	NO
NISSAN	1°	Aguascalientes	Nissan Versa, Nissan March y Nissan Kicks	AGUASCALIENTES PLANT	NO
		Aguascalientes	Nissan Sentra, Infiniti QX50 y Nissan Kicks	AGUASCALIENTES A2 PLANT	NO
		Edo. de México	N/D	R&D AND NTC TOLUCA	NO
GM	2°	Silao, Guanajuato	Chevrolet Silverado Crew Cab, Chevrolet Cheyenne, Chevrolet Tahoe, Chevrolet Suburban	GM Silao	NO
		Villa de Reyes, San Luis Potosí	Chevrolet Equinox	GM Complejo SLP	NO
		Ramos Arizpe, Coahuila	Chevrolet Blazer EV y Chevrolet Equinox EV	GM RAMOS ARIZPE	NO
AUDI	***	San José Chiapa, Puebla	Audi Q5 y Audi Q5 Sportback	San José Chiapa	NO
BMW	***	Villa de Reyes, San Luis Potosí	Camioneta BMW X3 y	BMW Group Planta San Luis	SÍ

			Coupe BMW Serie 2		
TOYOTA	4°	Tijuana, Baja California	Camioneta Tacoma	Toyota Baja California	Sí (virtual)
MAZDA	6°	Salamanca, Guanajuato	Mazda 2, Mazda 3 y Mazda CX-30	Mazda de México Vehicle Operation	NO
CHRYSLER	***	Toluca, Edo. de México	Jeep Compass, Fiat 500 y Dodge Journey	Planta Ensambladora Toluca	NO
FORD	10°	Cuautitlán, Edo. de México	Ford Mustang Mach E	Planta Ford Cuautitlán	NO
		Hermosillo, Sonora	Ford Bronco Sport y Ford Maverick	Hermosillo Stamping & Assembly	NO
HONDA	***	Celaya, Guanajuato	Honda Fit, Honda HR-V y Honda Civic	Honda de México S.A. de C.V.	NO
		El Salto, Jalisco	Honda HR-V	Honda México	NO
VOLKSWAGEN	3°	Puebla	Nuevo Jetta, Taos y Nuevo Tiguan	Volkswagen de México S. de R.L. de C.V.	NO

Tabla 5. Información de los videos analizados.

EMPRESA	RAN-KING	FECHA DE PUBLICADO	PROCESOS MÁS COMUNES											
			Prensa-do	Carroce-ría	Transporte Robotizado	Soldad-ura	Pintu-ra	Chasis (Tren Motriz)	Vestidu-ras	Marriage o Boda	Flui-dos	Ensam-ble del motor	Ensamble de baterías	Producci-ón mixta
FORD	10°	20-abr-22	●		●		●			●		●		●
		18-sep-21			●							●		
		04-dic-23		●	●			●	●	●				
NISSAN	1°	08-oct-22	●	●	●	●	●		●	●		●	●	
		20-mar-23										●		
GM	2°	24-may-22	●	●	●			●		●				
AUDI	***	11-ene-23	●	●	●	●	●			●				
MAZDA	6°	08-dic-22	●	●			●			●				●
		04-feb-23		●	●	●	●		●	●		●	●	●
TOYOTA	4°	15-ago-23	●	●		●	●			●				●
BMW	***	06-feb-23		●			●		●					
		08-abr-23		●	●	●	●		●	●	●			●
	3°	12-abr-22		●		●	●		●	●				●

Volkswagen		15-nov-23	●	●		●	●		●	●				
Hyundai	9°	22-ene-23		●			●			●				
Honda	***	29-oct-22		●			●	●		●		●		

El análisis de los datos recopilados en la Tabla 4 evidencia que México alberga una diversidad de ensambladoras automotrices que incluyen marcas de lujo como Audi y BMW, así como empresas que producen altos volúmenes como Toyota y Volkswagen. Además, la tabla ofrece detalles sobre la ubicación de estas plantas, modelos manufacturados y opciones de contacto, lo que resulta estratégico para establecer relaciones de colaboración.

Por su parte, los datos organizados en la Tabla 5 ofrecen una visión práctica sobre los procesos de manufactura observados en los videos analizados. Según estudios recientes, los videos educativos en entornos tecnológicos avanzados, como la manufactura automotriz, fomentan un aprendizaje significativo al permitir una observación directa de procesos reales [16]. Esta recopilación facilita la comparación entre procesos, evaluando métodos, técnicas y enfoques implementados por diferentes plantas armadoras. Cabe destacar que la tabla se centra exclusivamente en videos recientes, publicados en los últimos cinco años, que reflejan las tendencias y tecnologías más avanzadas en el sector automotriz. También se valoró la inclusión de comentarios y explicaciones proporcionadas por expertos, lo cual enriquece la calidad de los materiales analizados y asegura una comprensión profunda y precisa de los procesos.

Los resultados de esta investigación concluyen que las marcas FORD, GM y NISSAN, al contar con un mayor número de plantas ensambladoras en México, ofrecen mayores oportunidades para establecer contacto. Asimismo, los procesos identificados como más relevantes, tales como *CARROCERÍA*, *PINTURA* y *BODA* o *MARRIAGE*, se seleccionaron debido a su frecuencia en los videos analizados en la Tabla 5, representando etapas fundamentales y recurrentes en la manufactura automotriz.

3.3 SELECCIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA

Uno de los productos de consumo más complejos que existen en el mercado actual es el automóvil, la inversión económica, en mano de obra y en trabajo intelectual son aspectos que se requieren en su producción [17]. Además, su fabricación constituye una de

las actividades industriales que más dependen de tecnologías avanzadas para garantizar eficiencia, precisión y calidad en el producto. Todos los procesos de ensamblaje del vehículo son importantes y necesarios para que el vehículo funcione correctamente y cumpla con los estándares de calidad y seguridad. En términos generales, el proceso de ensamblaje automotriz puede dividirse en varias etapas: ensamble de línea de chasis, ensamble de motor (incluyendo subensambles esenciales como la integración con la transmisión), ensamble de línea de acabado y ensamblaje final. Estas fases conforman el proceso mediante el cual se integra y completa un vehículo. [17].

Durante el ensamblaje final, se integran más de 3000 componentes dentro y fuera de la carrocería de un vehículo, por lo que es muy importante la mano de obra en algunos de los procesos de ensamble. Sin embargo, para garantizar la eficiencia en términos de tiempo y calidad, el uso de sistemas automatizados impulsados por robots se ha vuelto indispensable en la manufactura moderna de automóviles [17]. Estas tecnologías no solo optimizan el desempeño de las operaciones, sino que también contribuyen al cumplimiento de los estrictos estándares de seguridad del sector.

En este contexto y tomando como base lo mencionado en los párrafos anteriores y con la información obtenida de la investigación que se realizó para obtener el material audiovisual de los procesos de manufactura automotriz de las principales marcas establecidas en el mercado (Tabla 5), en la cual se muestran datos importantes de cada video, como los procesos de manufactura que se muestran en los videos, los minutos exactos en los que se observaron los procesos candidatos a seleccionar, la fecha de publicación y el ranking en el que se encuentra la marca con base en los datos de la Figura 1.

Asimismo, para sintetizar y organizar la información obtenida, se elaboró el diagrama de la Figura 2 en el cual se describe de manera estructurada las etapas comunes de manufactura en las ensambladoras automotrices. El primer proceso, común en todas ellas, es el estampado. Posteriormente, siguen los procesos de soldadura, pintura y

ensamblaje. Cada uno de estos procesos incluyen subensambles que se ejecutan durante su desarrollo.



Figura 2 Procesos de manufactura Automotriz (Elaboración Propia).

En lo que respecta a los últimos procesos de la secuencia mostrada en la Figura 2, estos varían según la ubicación geográfica de las empresas ensambladoras automotrices. Las establecidas en su país de origen (extranjeras), consideran como último proceso el envío, etapa en la cual se determina el método de exportación de las unidades fabricadas, ya sea marítimo, aéreo o terrestre, según corresponda. En contraste, para las empresas manufactureras ubicadas en México, el último proceso de manufactura considerado es el de inspección y pruebas. Por lo tanto, en el diagrama de la Figura 2 se presentan estos dos últimos procesos, inspección y pruebas, así como envío, que son las etapas finales de la manufactura de un vehículo.

Para la selección de los procesos candidatos se tomaron en cuenta varios aspectos, entre ellos la frecuencia con la que se repiten algunos procesos de ensamblaje en los videos, qué tan explícito es el video y la relación que hay con los temas presentados en la Tabla 3. Para esto se realizó un análisis de los procesos candidatos, uno de estos procesos importantes en la elaboración de un automóvil es la Estación de Ensamblaje de Acabados, la cual se centra en la instalación de las protecciones de los arneses y el cableado eléctrico, los conductos de aire, el aislamiento de la carcasa y el radiador, el aislamiento de la pared cortafuegos y piezas secundarias como las conexiones del limpia parabrisas, todo esto con la intención de garantizar que todos los componentes externos e internos estén correctamente alineados y presenten un acabado impecable. Para esto, cuando la carrocería sale de la etapa de pintura se adopta un sistema de transporte normalmente montado en el suelo, donde la elevación y la velocidad de la carrocería se adapta conforme se transporta, esto para otorgarles a los trabajadores de la planta el tiempo suficiente para completar el proceso de ensamble [17].

Otro proceso en el cual la automatización es más notoria, es el montaje del parabrisas de los vehículos. En este proceso un brazo robótico manipula y sujeta el parabrisas mientras la película adhesiva es aplicada por un segundo brazo robótico. En este proceso se garantiza la precisión de la instalación con los sensores montados en el brazo robótico [17], con la intención de proporcionar protección contra impactos y ayudando a mantener la integridad estructural en caso de accidentes.

Pero entre todos los procesos candidatos destaca el proceso denominado Boda o en inglés Marriage, pues tanto en vehículos eléctricos como en los de combustión interna se lleva a cabo este proceso. Por lo tanto, este proceso es común en ambos tipos de vehículos y este es un aspecto que resaltan en las visitas a las armadoras automotrices, dado que marca un hito en todo el proceso de manufactura.

El proceso Marriage consiste en la unión de la carrocería del automóvil con el tren de potencia y el chasis del mismo, durante el proceso se llevan a cabo acciones que

involucran conocimientos de los temas mencionados en la Tabla 3, como la aplicación de sensores, actuadores y programación de PLC.

Con base en lo analizado, se seleccionó el proceso llamado Marriage o Boda, el cual satisface los requerimientos necesarios para la elaboración de la tesis. Se ha seleccionado este proceso de manufactura automotriz por su relevancia y adaptabilidad tanto para la producción de vehículos de combustión interna como para vehículos eléctricos. Este proceso es relevante ya que marca un hito dentro de todas las etapas de fabricación del automóvil. Por otro lado, su capacidad de integrar automatización avanzada garantiza eficiencia, precisión y calidad en cada tarea, reflejando la tendencia global hacia la producción automatizada. La utilización de tecnología de punta como lo son los diferentes tipos de sensores empleados en este proceso resalta su importancia, asegurando que los vehículos fabricados cumplan con los más altos criterios de rendimiento y seguridad, independientemente del tipo de motor o tecnología que utilicen.

Después del análisis de los diferentes procesos de manufactura automotriz, se ha determinado que el proceso denominado "Marriage" es el más adecuado para el propósito de esta tesis. La selección de este proceso se fundamenta en su relevancia para la automatización industrial y su capacidad de proporcionar una experiencia didáctica integral a los estudiantes, facilitando así la comprensión de los principios y prácticas de la manufactura automotriz moderna. Este enfoque permitirá a los estudiantes de la Universidad Tecnológica de la Mixteca desarrollar habilidades prácticas y teóricas esenciales para su formación profesional en el campo de la ingeniería mecánica automotriz y la automatización.

3.3.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA

Al enfocarse en este proceso de ensamblaje una de las mejores formas de entender lo que conlleva la realización del proceso Boda o Marriage es verlo como un sistema y

poder identificar sus múltiples componentes, la relación que hay entre ellos y cómo interactúan.

Para realizar este proceso, ambos conjuntos se preparan con antelación, asegurándose de que estén limpios y libres de defectos. La carrocería se traslada mediante un sistema de transporte aéreo, mientras que el conjunto tren de potencia–chasis se coloca en la parte inferior, donde finalmente se lleva a cabo su integración. En este proceso el tren de potencia viene directamente de una etapa de subensamble llamada área de ensamblaje de la línea de motor, en esta área se instalan las mangueras, los cables del cuerpo principal del motor y controladores, además se acopla la transmisión y el tren de transmisión de potencia al motor. El transporte del tren de potencia se determina con base en la configuración de la estación, la accesibilidad necesaria y el peso total. Normalmente consiste en la unión de un tipo de transporte aéreo y un AGV (vehículo guiado automáticamente) equipado con un elevador hidráulico que posteriormente lo traslada al área de unión [17].

En el área de unión, el AGV y la carrocería se sincronizan por medio de sensores para tener una ubicación específica y para que se lleve a cabo el ensamble en donde se usarán sujetadores y pernos para unir el chasis y la carrocería. La elevación de la carrocería es programada de acuerdo con configuraciones acordes al tipo de vehículo que se está ensamblando y para que el proceso de montaje resulte más sencillo. Esta etapa cuenta con múltiples sensores para reconocer, alinear y garantizar la precisa colocación de los componentes, generalmente utiliza sensores basados en proyección laser [17].

Una vez que el chasis y la carrocería se encuentran ensamblados correctamente, este subensamble continua con su trayectoria dentro de la planta manufacturera automotriz para darle seguimiento a su integración en otras etapas.

De esta forma, el sistema tiene por entradas el tren de potencia, la carrocería y el sistema hidráulico anclado al AGV, por otro lado, la salida es el ensamble de la carrocería con el tren de potencia, tal como se presenta de forma gráfica en las siguientes tablas.

Tabla 6. Tren de Potencia (Entrada del Sistema).

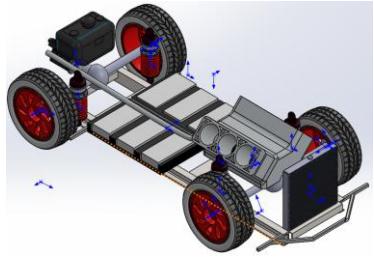
ENTRADA DEL SISTEMA	CARACTERÍSTICAS	COMPONENTES DEL SISTEMA	IMAGEN
Tren de Potencia	<p>Conjunto de componentes mecánicos y electrónicos que trabajan en conjunto para generar, transmitir y controlar la energía necesaria para mover un vehículo.</p> <p>Largo: 464.4 cm Anchura: 186.1 cm</p>	<p>Motor de tracción, Inversor, Ruedas motrices y transmisión, Soportes, Tanques de expansión e inmovilizadores</p>	

Tabla 7. Carrocería (Entrada del Sistema).


ENTRADA DEL SISTEMA	CARACTERÍSTICAS	COMPONENTES DEL SISTEMA	IMAGEN
Carrocería	<p>Es la estructura externa que proporciona soporte, protección y aerodinámica al vehículo. Es el componente que alberga a los pasajeros y carga, además de integrar elementos como puertas, ventanas, techo y paneles laterales.</p> <p>Largo: 464.4 cm Anchura: 186.1 cm Altura: 89.7 cm</p>	<p>Carrocería, Grúa Transportadora, Base de la Estación.</p>	

Tabla 8 AGV (Entrada del Sistema).


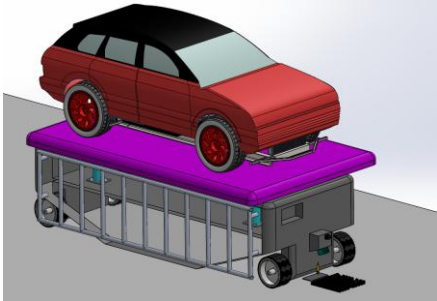
ENTRADA DEL SISTEMA	CARACTERÍSTICAS	COMPONENTES DEL SISTEMA	IMAGEN
<p>AGV (Vehículo de Guiado Automático)</p>	<p>Vehículo autónomo diseñado para transportar materiales dentro de instalaciones industriales o logísticas. Utiliza tecnologías como sensores, cámaras y sistemas de navegación para moverse de manera precisa y eficiente sin intervención humana, siguiendo rutas predefinidas o adaptándose dinámicamente al entorno.</p> <p>Largo: 480 cm Anchura: 200 cm Altura: 110 - 160 cm</p>	<p>Cilindro hidráulico, Elevador, Lantas, Eje del AGV, Sistema de atornillado, Sensores.</p>	

Tabla 9 Ensamble Completado (Salida del Sistema).

SALIDA DEL SISTEMA	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
<p>Ensamble (Carrocería - Tren de Potencia)</p>	<p>Momento en que se une la carrocería del vehículo con el tren de potencia y el chasis. Es uno de los pasos más críticos en la línea de ensamblaje.</p> <p>Largo: 464.4 cm Anchura: 186.1 cm Altura: 159.7 cm</p>	

Las tablas presentadas anteriormente (Tabla 6, 7, 8 y 9) permiten visualizar de manera gráfica y detallada las diferentes entradas y salidas que conforman el funcionamiento del sistema. A través de estas representaciones, es posible comprender con mayor claridad la interacción entre los distintos elementos involucrados en el proceso.

Finalmente, se ilustra la culminación de dicho proceso, la cual se concreta con la integración del chasis y el tren de potencia con la carrocería del vehículo. Esta una etapa crítica y muy significativa dentro del flujo de producción, ya que representa la conformación estructural completa del automóvil, previo a la incorporación de componentes complementarios y pruebas finales de calidad.

3.4 SELECCIÓN DE COMPONENTES

La selección de los componentes del proceso Boda se fundamentó en el análisis que se realizó en el apartado 3.1, donde se presentan los temas que más se relacionan con la tesis. Los temas que se presentan en la Tabla 3 forman la base de los conceptos en los que la herramienta digital desarrollada busca servir como un apoyo didáctico para una mejor comprensión. Por ejemplo, en el T1 el principal objeto de estudio son los PLC, en el T3 el principal objeto de estudio son los diferentes tipos de sensores que se presentan en la industria, en el T19 el tema central es la comunicación entre el PLC y los sensores. En este sentido, los componentes seleccionados tienen el objetivo de ser relevantes para las materias de automatización industrial impartidas en la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

Durante el proceso de Boda, es fundamental cumplir con requisitos precisos de posicionamiento, los cuales son verificados mediante sensores estratégicamente ubicados que aseguran una correcta alineación de la carrocería, el tren de potencia y el chasis. Los sensores seleccionados cumplen funciones específicas relacionadas con los conceptos didácticos mencionados en la Tabla 3. Se eligieron sensores de diferentes tipos con el propósito de enriquecer la experiencia educativa en cada caso. Sin embargo, para facilitar la correcta identificación, gestión y análisis de estos sensores y actuadores dentro del proceso de ensamblaje, resulta indispensable establecer un sistema de codificación estandarizado. Este permite clasificar cada dispositivo de acuerdo con su función, ubicación y secuencia operativa, favoreciendo así una integración más eficiente en las tareas de programación, mantenimiento y supervisión del proceso de ensamblaje.

Por lo tanto, la implementación de un sistema de codificación para sensores y actuadores, resulta fundamental para garantizar una identificación clara, precisa y uniforme de todos los dispositivos involucrados. Esta codificación permite asociar de manera inmediata cada componente con su función, ubicación y secuencia operativa dentro del sistema, lo cual facilita el diagnóstico de fallas, la trazabilidad de eventos y la eficiencia en tareas de mantenimiento y programación. A continuación, se presenta una explicación de la codificación que se utiliza para la identificación de los diferentes sensores y actuadores de proceso.

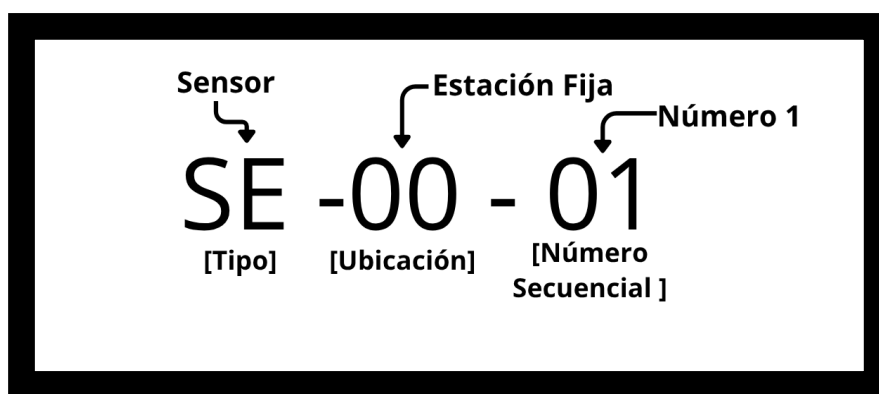


Tabla 10. Tipo de Componente.

Código	Significado
SE	Sensor
AC	Actuador
BO	Botón
TO	Torreta

Tabla 11. Ubicación del Componente.

Código	Significado
00	Estación fija / Base
01	En el AGV

02	En el sistema de elevación
03	En la carrocería
04	En el tren de potencia
05	En el Panel de Control

En el sistema actual, ya se han previsto códigos para sensores y actuadores en todas las ubicaciones contempladas, incluso en aquellas donde aún no se han instalado sensores o actuadores. Esta planificación anticipada permite que, en el futuro, se integren fácilmente nuevos componentes en áreas como la carrocería, el tren de potencia o el sistema de elevación, sin necesidad de modificar el esquema original. Esta estrategia facilita la expansión del sistema de forma ordenada y eficiente. La codificación utilizada en el sistema está compuesta por 6 caracteres, lo que permite una identificación clara y estructurada de cada componente. Esta longitud facilita la organización y futuras ampliaciones, ya que permite incluir nuevos dispositivos sin alterar la estructura original del esquema.

Sensores seleccionados

1. Sensor Óptico Sick NTRA-3N1361 (Código: SE-00-01):

Este sensor garantiza que la grúa que transporta la carrocería del vehículo esté correctamente posicionada antes de continuar con el ensamblaje. Detecta la presencia de la estructura mediante la cantidad de luz reflejada, emitiendo una señal de salida cuando la posición es la correcta. Además, es compatible con protocolos de comunicación como CAN, Profibus, Ethernet y IO-Link (ver Anexo 2).

2. Sensor LiDAR R2300 de Pepperl+Fuchs (Código: SE-01-02).

Empleado para la navegación del AGV dentro de la planta ensambladora, este sensor permite un desplazamiento preciso y confiable.

3. Sensor inductivo IFM IG6082 (Código: SE-01-03).

Verifica la posición del AGV mediante la detección de placas metálicas en el suelo. Cuando se identifica una placa metálica, el sensor envía una señal al PLC, el cual detiene el motor del AGV. Este sensor es compatible con Profibus, CAN y IO-Link (ver Anexo 2).

4. Sensor Pepperl+Fuchs OMR50M-R1000-SSI-V1V1B (Código: SE-01-04).

Situado en la plataforma del AGV, este sensor mide la distancia entre el chasis y la carrocería a través de tecnología de rango de pulsos (PRT). Con un alcance de hasta 50 metros, permite ajustes automáticos de velocidad, por lo tanto, se detiene gradualmente la plataforma en la posición exacta para garantizar una alineación perfecta.

5. Sensor safePGV de Pepperl+Fuchs (Código: SE-01-05).

Facilita la recopilación de datos en tiempo real sobre el proceso de Boda. Conectado a un PLC, este sensor procesa localmente la información y la transmite a la nube mediante protocolos como MQTT, OPC UA o HTTP APIs. Esto permite un monitoreo continuo de los procesos realizados, tiempos de ciclo y posibles desviaciones facilitando la toma de decisiones basada en datos, la optimización del mantenimiento y la mejora de la eficiencia operativa en la línea de producción.

Plataforma hidráulica del AGV

Una vez que los sensores de posición detectan las condiciones óptimas, los 4 cilindros hidráulicos (AC-01-01; AC - 01 - 02; AC - 01 - 03; AC - 01 - 04) activados por las señales de salida del PLC comienzan a elevar la plataforma hidráulica del AGV para

llevar a cabo la unión. Este conjunto de operaciones se integra en el software de simulación del proceso, lo que permite replicar y visualizar el ensamblaje como parte de una experiencia didáctica.

Con el fin de optimizar el uso de la herramienta digital, se agregó un panel de control que incorpora botones con funciones específicas. Entre ellos, se incluye un botón de paro de emergencia (BO – 05 – 01) en la esquina superior derecha de colores rojo y amarillo, un botón de inicio (BO – 05 – 02) en color verde, un botón de paro suave en color amarillo (BO – 05 – 03) y un selector de modo de operación que permite mover manualmente la plataforma hidráulica del AGV (AC – 05 – 05).

Los sensores seleccionados son acertados para cumplir con los objetivos didácticos del proyecto. La combinación de tecnologías avanzadas como sensores LiDAR, inductivos, ópticos y sensores especializados en medición de distancia permite abarcar una amplia gama de conceptos relacionados con la automatización industrial. Además, la integración de protocolos de comunicación modernos como CAN, Profibus, Ethernet y IO-Link refuerzan la relevancia de los sensores para mostrar aplicaciones prácticas en entornos industriales reales.

La utilización de sensores como el safePGV, que optimizan el monitoreo y análisis en tiempo real, es particularmente valiosa para preparar a los estudiantes en el uso de tecnologías emergentes como el procesamiento de datos en la nube. Es importante mencionar que, para el análisis de los componentes del proceso de ensamble de la carrocería con el tren de potencia, se consideraron los distintos videos de la Tabla 5, ya que los componentes deben de ser justo los necesarios para que el proceso de manufactura sea funcionalmente didáctico.

Con base en los requerimientos que se describen en los temarios de las materias impartidas en la UTM sobre automatización y temas afines, el conjunto de los componentes seleccionados vistos en la Tabla 7 satisface las necesidades de ejemplificar casos base al momento de impartir cada materia.

Tabla 12. Sensores de la Grúa.

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	COMPONENTE SELECCIONADO
Sensor Ultrasónico	Utilizados para la detección de colisiones y para controlar la velocidad de desplazamiento. Ejemplo: Pepperl+Fuchs PMK 60	Marca: Pepperl+Fuchs Modelo: PMK 60 Tipo: Digital Distancia de Operación Nominal: 60 mm Utilizar módulo: Turck FLDP-IOM124-0002
Sensor Óptico	Sensores ópticos para la detección de posiciones y protección anti colisiones. Ejemplo: Sick WTB4-3N1361	Marca y modelo: Sick WTB4-3N1361 Tipo: Digital Rango: Hasta 10 m (33 ft)
Sensor Inductivo	Sensores inductivos para detectar la posición correcta de la grúa. Ejemplo: Pepperl+Fuchs NBB2-V3-E2	Marca y modelo: Pepperl+Fuchs NBB2-V3-E2 Tipo: Digital Distancia de operación: 2 mm

La Tabla 12 presenta una comparación clara y estructurada de tres tipos de sensores utilizados en sistemas de grúas, destacando sus funciones principales y las especificaciones técnicas de los modelos seleccionados lo que permite comparar de forma rápida los distintos sensores facilitando la selección adecuada para el sistema de control de una grúa.

Tabla 13. Componentes del AGV.

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	COMPONENTE SELECCIONADO
Sensor LiDAR	Para la navegación y detección de obstáculos. Emiten rayos láser y miden el tiempo que tarda la luz en regresar. Ejemplo: R2300 de Pepperl+Fuchs	Marca y modelo: R2300 de Pepperl+Fuchs Tipo: Digital
Sensores de proximidad	Miden aceleración y velocidad angular de un objeto, ayudan con orientación. Ejemplo: ADIS16448 de Analog Devices	Marca y modelo: ADIS16448 de Analog Devices Tipo: Digital A1:D16

En la Tabla 13 se presentan dos componentes esenciales para el funcionamiento de un AGV, detallando su propósito y el modelo específico seleccionado para cada uno. La tabla destaca cómo el AGV combina sensores externos (LiDAR) para interactuar con el entorno y sensores internos (IMU) para mantener su orientación, asegurando así una navegación autónoma precisa y segura.

Tabla 14. Diferentes Motores.

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	COMPONENTE SELECCIONADO
Motor eléctrico (Movimiento de la Grúa)	Motor para precisión y fiabilidad en control de velocidad y posición. Ejemplo: SEW-EURODRIVE DR..71	Tipo: Motor de CA con encoder incremental Rango de velocidad: Variable Precisión: Alta Comunicación: CANopen y Profibus

Motores Hidráulicos (Elevación de chasis)	Unidad mecatrónica con motor síncrono y reductor. Ejemplo: SEW-EURODRIVE MoviGear®	Motor Hidráulico Serie 50 de Cross Presión de Sobrecostión: Hasta 3500 psi Caudal Máximo (Extendida): 56 gpm Potencia Máxima: 100 hp
Servomotores	Para control preciso del movimiento. Ejemplo: Servomotores de la serie MR-J4 de Mitsubishi Electric	Servomotor MR-J4-TM de Mitsubishi Electric Hasta 55 kW a 48/24 V CC hasta 30 W

La Tabla 14 presenta tres tipos de motores utilizados en distintos sistemas de automatización y maquinaria, detallando su función, características técnicas y modelos seleccionados. Por lo tanto, se muestra cómo se integran distintos tipos de motores eléctricos, hidráulicos y servomotores según la necesidad de precisión, potencia o control en diferentes partes de un sistema automatizado.

Tabla 15. Componentes de la Estación.

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	COMPONENTE SELECCIONADO
Botón de paro de emergencia	Botón grande rojo para detener en emergencia. Ejemplo: SIRIUS 3SU1158-1HB20-1PT0	Marca: Siemens Modelo: 3SU1158-1HB20-1PT0 Tipo: Botón de paro, Ø 22 mm, metálico, LED, terminal de tornillo
Botón de paro y arranque	Botones de inicio y paro estándar. Ejemplo: Square D 9001BG201	Marca: Schneider Electric Modelo: 9001BG201 Tipo: Botón de arranque/parada, NEMA 4, 600VAC/DC

La Tabla 15 muestra los componentes esenciales de una estación de control, enfocándose en los botones de operación y seguridad. Se detallan sus funciones, ejemplos

y los modelos seleccionados para su implementación. Destaca dos elementos clave para la operación segura y controlada de una estación: un botón de emergencia robusto y visible, y un conjunto de botones estándar para el manejo diario.

Tabla 16. Componentes del Tablero de Operaciones.

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	COMPONENTE SELECCIONADO
Botones de Paro Suave	Diseñados para detener operaciones de forma progresiva. Ejemplo: Schneider Electric Harmony XB4	Modelo: Harmony XB4 Tipo: Botón de paro suave Ø 22 mm
Indicadores de Estado	Luces LED para mostrar estado operativo. Ejemplo: SIRIUS ACT 8WD44	Marca: Siemens Modelo: 8WD44 Tipo: Columna de señalización, Ø 70 mm
Panel de Operador (HMI)	Pantalla táctil SIMATIC HMI TP1500 Comfort. 15” TFT. Ejemplo: Siemens TP1500	Marca: Siemens Modelo: 6AV2124-0QC02-0AX2
Selector de modo de operación	Selector iluminado de 3 posiciones. Ejemplo: Siemens 3SU1150-2BL60-1NA0	Marca: Siemens Modelo: 3SU1150-2BL60-1NA0

En la Tabla 16 se presentan los principales componentes que conforman un tablero de operaciones, detallando su función y el modelo específico seleccionado para cada uno. Se muestra cómo se integran elementos de control, visualización y selección en un tablero de operaciones moderno, combinando funcionalidad, seguridad y facilidad de uso.

La información anterior refleja la selección de los diferentes tipos de sensores y actuadores que se utilizan en el proceso de manufactura llamado Boda tras la realización de un análisis. Cada componente seleccionado está enfocado en garantizar precisión, seguridad y eficiencia operativa. El uso de tecnología avanzada, como sensores LiDAR para navegación y paneles HMI táctiles, resalta un enfoque innovador. Además, los botones

de paro, indicadores y motores proporcionan control fiable en diversas aplicaciones industriales. En conjunto, estos elementos permiten una operación robusta, adaptable y segura en entornos exigentes como lo es el proceso de manufactura automatizada representado en esta tesis.

Por otra parte, la Guía GEMMA (Guide d'Étude des Modes de Marches et d'Arrêts) es una metodología ampliamente utilizada en la automatización industrial para describir y analizar los modos de funcionamiento y paradas de un sistema productivo o de manufactura. Esta guía proporciona un marco estructurado para entender y gestionar todos los posibles estados operativos de un sistema automatizado, asegurando que se puedan prever y manejar eficientemente [18] [19]. En el Anexo C se presenta un análisis detallado y estructurado sobre los principios fundamentales de la Guía Gemma aplicados a esta tesis, de igual manera se presenta un esquema que ejemplifica aspectos específicos y aplicaciones prácticas que demuestran su utilidad en la simulación del proceso de manufactura Boda.

En complemento a la implementación de la Guía Gemma, se ha incorporado un panel de control de operaciones, diseñado para garantizar el cumplimiento de sus principios fundamentales dentro del proceso de ensamblaje. Este sistema integra componentes estratégicos que permiten la supervisión y el dominio de cada etapa del proceso, facilitando la coordinación entre los distintos niveles de manufactura. La presencia de un panel de control en este tipo de entornos industriales es de suma importancia, ya que proporciona un mecanismo preciso para la gestión operativa, reduciendo posibles errores. A través de su interfaz, los operadores pueden monitorear variables críticas y garantizar la trazabilidad de las acciones ejecutadas, lo que resulta esencial para mantener la eficiencia y calidad en el ensamblaje.

Para garantizar una simulación precisa y eficiente del proceso de manufactura automatizada, se ha desarrollado un diseño CAD detallado que representa cada componente y su interacción dentro del flujo de ensamblaje. Este modelo digital no solo permite visualizar el comportamiento estructural y funcional de las piezas en un entorno virtual, sino que también facilita su exportación a un software especializado en simulación. La

integración del diseño CAD con herramientas avanzadas de simulación posibilita el análisis dinámico del proceso, la validación de configuraciones operativas y la detección temprana de posibles interferencias. En el siguiente apartado, se presenta un análisis detallado sobre el desarrollo del Diseño del proceso CAD a detalle, abordando los criterios utilizados para asegurar una transición fluida entre el modelado digital y la simulación en entornos industriales.

3.5 DISEÑO “CAD” DEL PROCESO.

El diseño CAD del proceso se realizó en el software SolidWorks, el proceso consiste en el ensamblaje de la carrocería y el chasis, tal como se explicó en la sección 3.3.1. La carrocería es parte de un subensamble donde se unen las diferentes partes que conforman la carrocería para posteriormente ser trasladada hasta llegar al proceso de unión con el chasis. La forma de traslado de la carrocería es por medio de una grúa, siendo esta la estructura que traslada a la carrocería hasta llegar a la parte superior del chasis, puede tener diferentes diseños, pero con base en el material visual presentado en la Tabla 5 la forma de la grúa que más se repite es la que tiene 4 brazos, que envuelve la carrocería y la sostiene durante el trayecto, es una estructura que debe de tener una altura y anchura mayor a la de la carrocería para que con facilidad se posicione y la traslade.

La carrocería que se presenta en el diseño CAD es un diseño propio que representa a un vehículo tipo SUV (Sport Utility Vehicle), ya que entre los vehículos más vendidos a nivel mundial en 2024 el primer, segundo y tercer lugar lo ocupan vehículos tipo SUV, siendo el Tesla Model Y, el Toyota RAV4 y el Honda CR-V respectivamente los vehículos más vendidos, aunado a esto es importante mencionar que los tres vehículos son eléctricos [20] [21], y por esa razón es importante también mencionar que el diseño CAD que se realizó en SolidWorks del chasis tiene características que pertenecen tanto a un vehículo de combustión interna como a un eléctrico. A continuación, se presenta la descripción de la carrocería y el tren de potencia.

Carrocería

La carrocería del vehículo tipo SUV diseñada en esta tesis se caracteriza por su funcionalidad y estética contemporánea, orientada a satisfacer las necesidades de los usuarios tanto en entornos urbanos como en carretera, tiene de largo 2.38 m, de ancho 1 m y de alto 0.74 m. el diseño de la carrocería presenta dimensiones optimizadas para ofrecer un amplio espacio interior sin comprometer la maniobrabilidad del vehículo. La longitud, anchura y altura han sido pensadas para maximizar el confort de los pasajeros y la capacidad de carga. El diseño del SUV destaca por sus líneas aerodinámicas y elegantes, que no solo contribuyen a la eficiencia del combustible, sino que también proporcionan un aspecto dinámico y moderno, destacando también el contraste de colores que se le asignó pues el toldo del vehículo resalta de un color negro satinado con el rojo perteneciente a las demás partes de la carrocería. Por otro lado, la estructura de la grúa debe de cumplir con las medidas necesarias para que la carrocería se pueda trasladar. El espacio que brinda la grúa para que la carrocería se introduzca en el espacio correspondiente tiene de alto 0.98 m, 1.34 m de ancho y 2.45 m de largo.

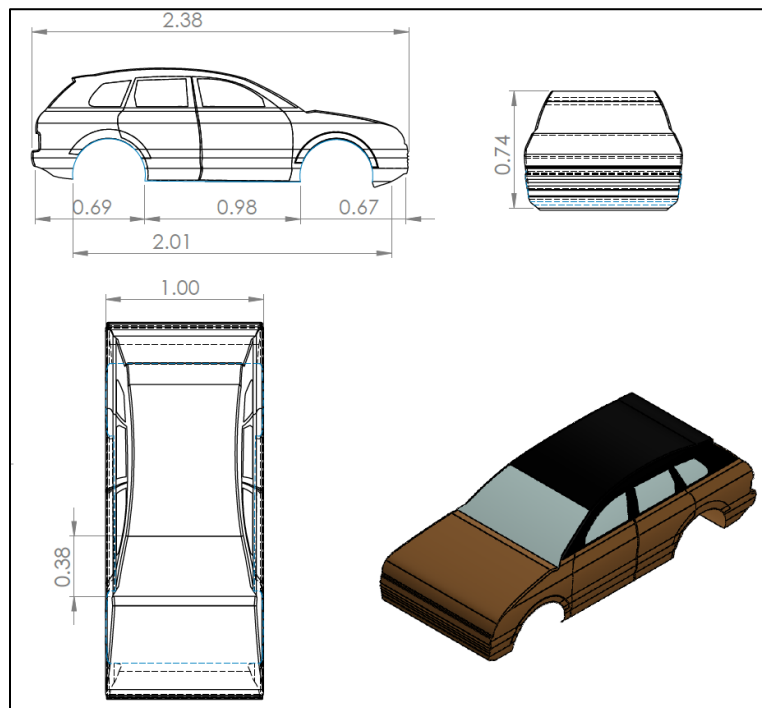


Figura 3. Vista superior, lateral, frontal e isométrica de la Carrocería.

Tren de Potencia

Para el diseño CAD del tren de potencia se consideró el objetivo de proporcionar un sistema versátil y eficiente, capaz de satisfacer las necesidades de los vehículos eléctricos y de combustión interna pues este proceso de manufactura automotriz es relevante para ambos tipos de vehículos. En un vehículo de combustión interna el tren de potencia está conformado por el motor que es la fuente principal de energía del vehículo, la caja de cambios o transmisión la cual correlaciona a las ruedas con el motor para que el vehículo se mueva a velocidades distintas, el diferencial que permite el giro de las ruedas a diferente velocidad y por último los ejes o también nombrado árbol de transmisión, todos estos componentes trabajan de manera coordinada para transmitir la potencia generada por el motor.

Para un vehículo eléctrico el tren de potencia se compone por el motor eléctrico que es el equivalente al motor de combustión interna para los vehículos convencionales, el inversor y transformador que transforman y transfieren la energía eléctrica según las necesidades del motor y de algunos otros componentes del vehículo, la batería o el banco de baterías que no es más que el almacenaje de energía eléctrica necesarias para que el motor no se apague, la transmisión que al igual que en el vehículo de combustión interna sirve para controlar la relación entre el motor y las ruedas y por último los sistemas de carga que en la actualidad siguen siendo objeto de estudio y se siguen generando nuevas propuestas y nuevas mejoras a los sistemas ya existentes, uno de ellos por ejemplo el freno regenerativo que su función es la de recuperar energía eléctrica mediante movimientos que el vehículo realiza cotidianamente en cada ciclo de trabajo.

Por lo tanto, el diseño presentado en esta tesis destaca por su capacidad para integrar componentes de vehículos eléctricos y de combustión interna, ofreciendo una solución versátil y adaptable a las necesidades del mercado actual y futuro.

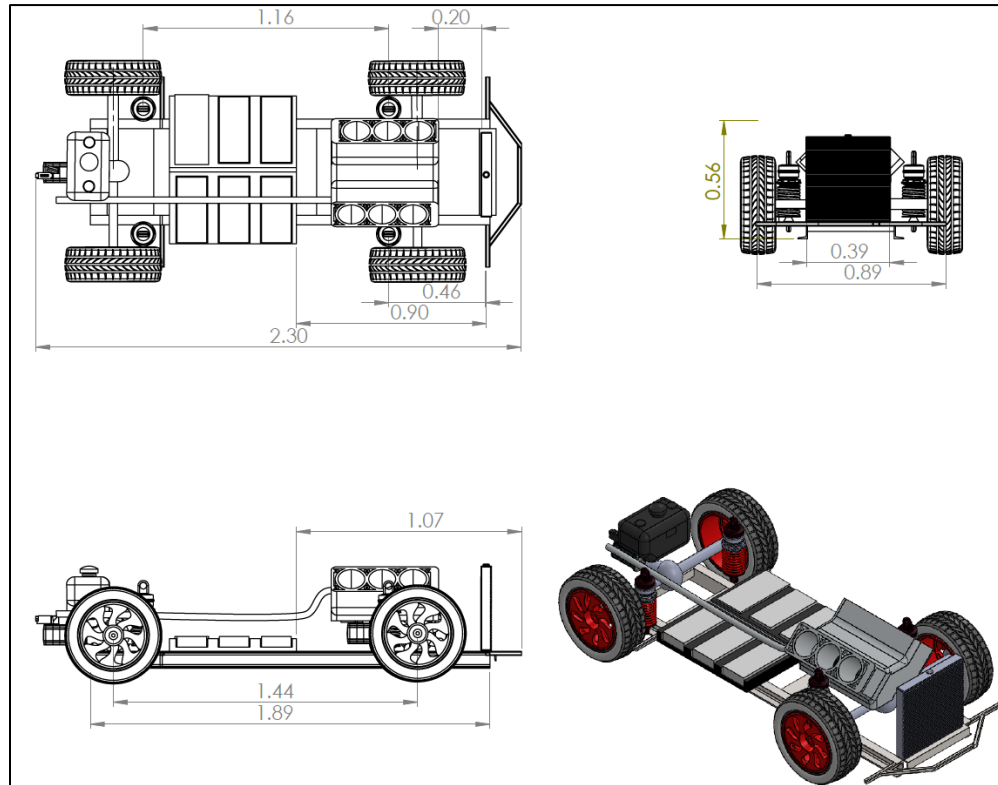


Figura 5. Vista superior, lateral, frontal e isométrica del Tren de Potencia.

Grúa

En el proceso de ensamblaje del tren de potencia y la carrocería del vehículo, la grúa desempeña un papel fundamental al permitir la manipulación segura y precisa de la carrocería durante su posicionamiento final sobre el chasis. Esta herramienta ha sido diseñada en SolidWorks considerando traslado adecuado de la carrocería sin comprometer su integridad estructural ni la seguridad del operario.

Gracias a la incorporación de rieles, la grúa puede desplazarse de manera controlada dentro del área de ensamblaje. La precisión en este proceso es esencial para asegurar un acoplamiento correcto entre la carrocería y el tren de potencia, garantizando el alineamiento adecuado de los puntos de fijación.

En las Figura 6 se presenta el modelo CAD de la grúa desarrollado en SolidWorks, que evidencia su diseño estructural y funcional dentro del entorno de ensamblaje del vehículo.

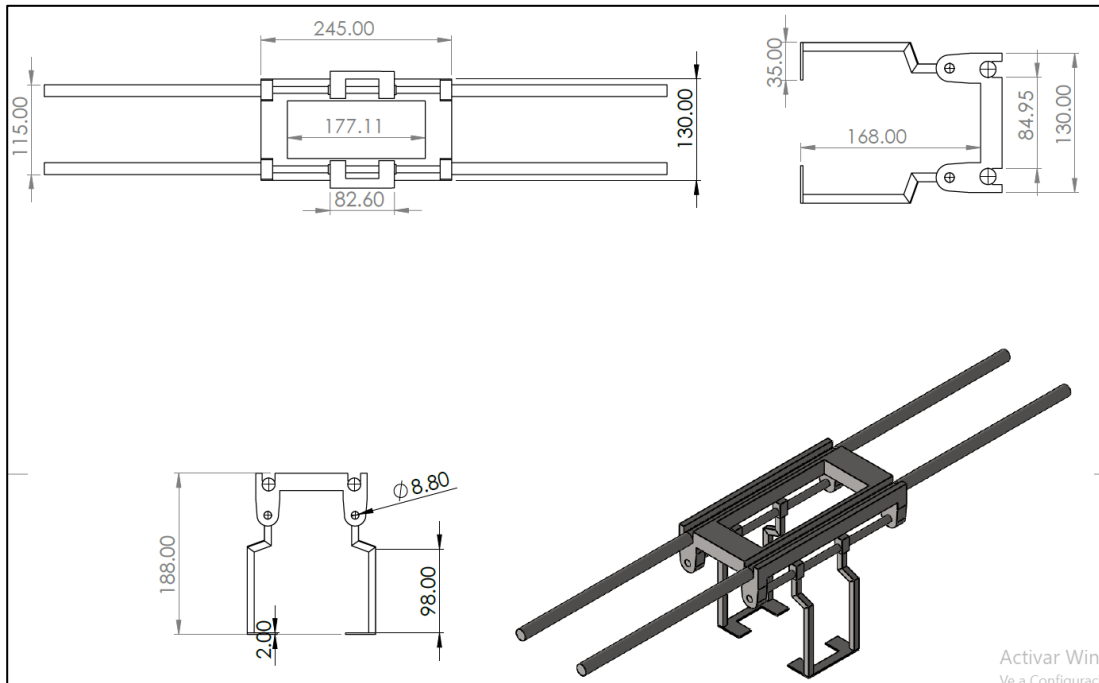


Figura 6. Vista superior, lateral, frontal e isométrica de la Grúa.

AGV

El AGV constituye un elemento esencial dentro del proceso de ensamblaje del tren de potencia y la carrocería del vehículo. Su principal función es transportar el conjunto conformado por el tren de potencia y el chasis desde el área de preensamblaje hasta la estación de unión final con la carrocería. Para cumplir esta tarea con precisión, el AGV ha sido diseñado con un sistema de 4 cilindros elevadores que permiten alinear verticalmente el tren de potencia con respecto a la carrocería, facilitando un acoplamiento exacto entre ambos módulos.

Este vehículo automatizado cuenta con diversos sensores que garantizan su navegación autónoma y segura dentro del entorno de producción. Entre ellos destaca el sensor LIDAR, que le permite generar un mapa tridimensional del entorno para detectar

obstáculos y mantener una trayectoria precisa. Asimismo, dispone de sensores de proximidad que colaboran en la detección de objetos cercanos, lo cual es especialmente útil durante las maniobras de acoplamiento. La incorporación del AGV en la línea de ensamblaje no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también incrementa la precisión en el proceso de unión de los principales sistemas del vehículo, reduciendo errores de alineación y asegurando la integridad estructural del producto final. A continuación, se presenta el diseño detallado del AGV partir del modelo CAD desarrollado en SolidWorks, con el fin de ilustrar sus componentes principales y su funcionamiento dentro de la línea de producción (Figura 7).

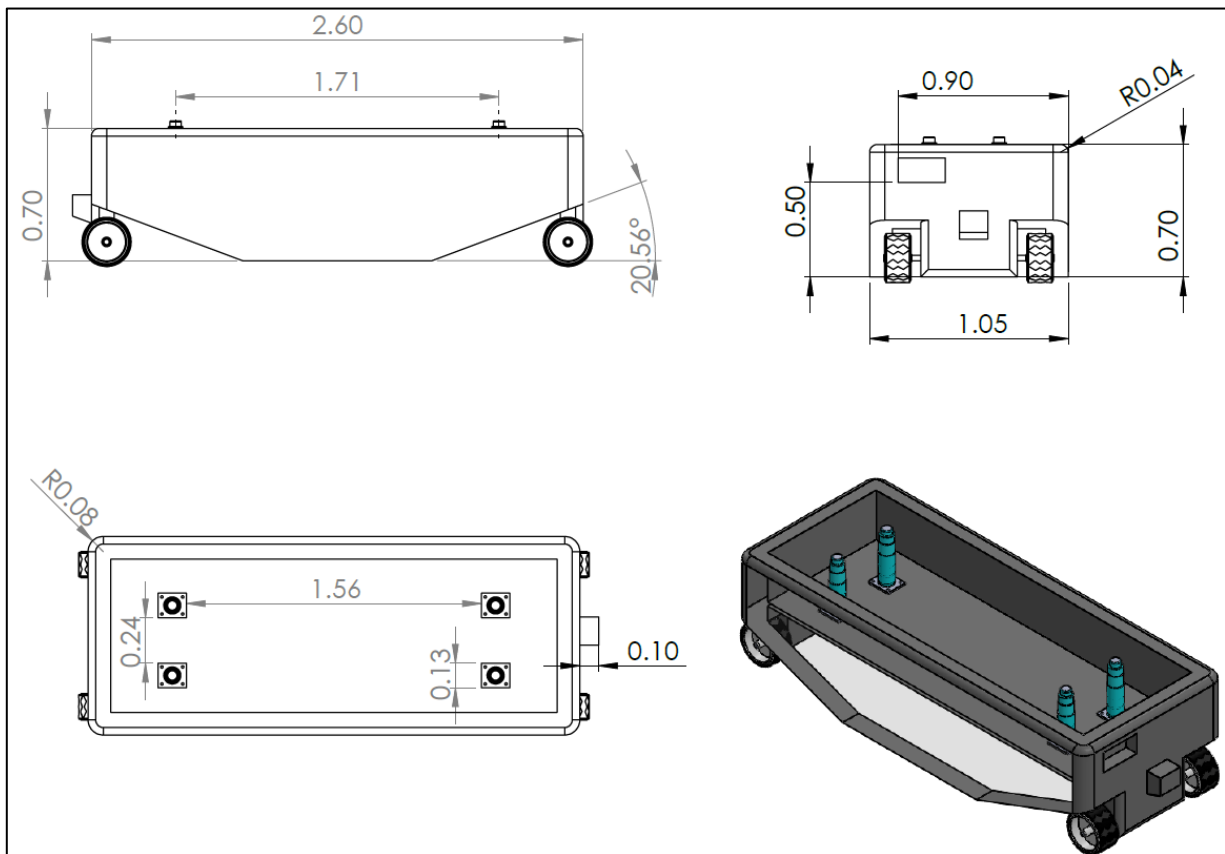


Figura 7. Vista superior, lateral, frontal e isométrica del AGV.

PANEL DE CONTROL

Con el objetivo de garantizar un manejo seguro y eficiente de los sistemas involucrados en el proceso de ensamblaje Boda del vehículo, se desarrolló un panel de

control que concentra las funciones operativas clave. Este panel integra los principales dispositivos de entrada y salida necesarios para supervisar y controlar los actuadores. La disposición de los elementos en el panel fue organizada de manera estratégica, buscando facilitar su operación y supervisión dentro del entorno de trabajo. Cabe destacar que los componentes que conforman este panel, tales como botones de emergencia, indicadores luminosos, selectores de función y dispositivos de arranque, son abordados durante las materias impartidas en la Universidad Tecnológica de la Mixteca, como se menciona en el Tema 3.1 y la Tabla 2 de esta tesis. En la Figura 8 se ilustran los dibujos técnicos realizados en SolidWorks correspondientes al panel de control. Estas vistas permiten visualizar la ubicación exacta de cada elemento, así como las dimensiones y características físicas generales del conjunto, sirviendo como referencia para su fabricación, instalación y uso.

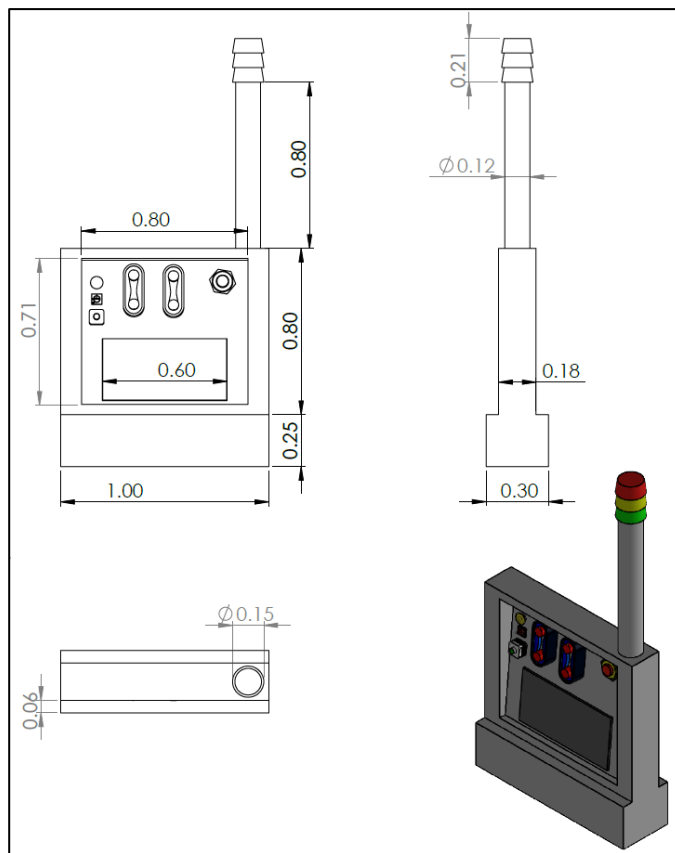


Figura 8. Vista superior, lateral, frontal e isométrica del Panel de Control.

3.6 INVESTIGACIÓN DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE PROCESOS.

La industria manufacturera oferta al mercado productos innovadores y asequibles, pero para que esto sea posible es necesario que la industria integre herramientas innovadoras al proceso de manufactura del producto y de esto se deriva la creación de software de simulación de procesos de manufactura que sirve para gestionar y automatizar todo el ciclo de vida del producto, como contabilidad, RRHH, facturación, comunicación interna, etc. [22]

Por lo tanto, para la selección del software que mejor se adapte a las necesidades de esta tesis, se realizó una investigación del diferente software que cumpla con las características necesarias como la implementación de técnicas de Planeación de Recursos Empresariales (ERP) y Sistemas de Ejecución de Manufactura (MES) así como también la simulación digital 3D de los componentes de un proceso de manufactura automatizada.

La Planeación de Recursos Empresariales (ERP) es un sistema informático que integra la información y los procesos de las diferentes áreas funcionales de una organización tales como finanzas, contabilidad, recursos humanos, producción, logística, etc. [23]. Por otro lado un Sistema de ejecución de Manufactura (MES) es un sistema informático que permite el control, la comunicación y la coordinación de los procesos, las máquinas, los materiales y los equipos en un entorno productivo [24].

Pero es importante mencionar que aunado a estas cualidades el software a seleccionar también debe de cumplir con características más específicas como, por ejemplo, la disponibilidad de licencias para estudiantes o versiones gratuitas, dado que las restricciones económicas pueden limitar el acceso a soluciones de pago para los estudiantes.

A continuación, se presenta una tabla con las cualidades y características con las que debe cumplir el software, así como también el nombre del software encontrado y que cumple con algunas de las características antes mencionadas, todo esto para garantizar la mejor elección.

Tabla 17. Comparación de Software para Simulación de Manufactura Automotriz y Automatización Industrial.

Software Principal	Software complementario	Programación de PLC	Simulación de manufactura en 3D	ERP	MES	Integración con SolidWorks	Entradas y salidas del PLC	Prueba gratis (30 días mínimo)	Detección de colisiones	Lenguaje escalera para PLC	Calificación (máx. 9)
Siemens Tecnomatix	Process Simulate, Plant Simulation, TEAMCENTER	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	9
CADesimu y PC_SIMU	Sin complementos relevantes	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	3
TIA Portal	WinCC, SIMATIC STEP 7	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✓	4
Flex Sim	FlexSim Healthcare, FlexSim Global Optimization	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✗	5
DESSAULT SYSTEMES (DELMIA)	DELMIA 3DEXPERIENCE, DELMIA Quintiq, DELMIA Ortems, DELMIA Apriso	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	6
Rockwell Automation	RSLogix, Software de gemelo digital dinámico, Sistema de	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	8

	ejecución de fabricación Plex											
Simio APS	Simio Risk Analysis, Simio Scheduling Optimizer	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	6	
PMC MX	AutoMod, Process Simulate, Factory I/O	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	8	
Visual Components	TIA Portal S7 - PLCSIM Ad-vanced	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	9	

Tabla 18. Análisis de Software para Simulación y Automatización en Manufactura.

SOFTWARE	COMENTARIO
SIEMENS TECNOMATIX	Ofrece herramientas avanzadas para la simulación de procesos industriales, incluyendo la validación virtual del ensamblaje de vehículos. Compatible con programación de PLC y sistemas de manufactura digital.
CADesimu y PC_SIMU	Cuenta con una calificación baja, lo que indica limitaciones significativas para su uso en la tesis. No cumple con los requerimientos necesarios para la simulación avanzada del proceso de manufactura automatizada.
TIA Portal	Enfocado en la programación de PLC, pero no integra técnicas de ERP ni MES, lo que limita su uso para la gestión completa del ciclo de manufactura.
Flex Sim	Ideal para la simulación de procesos industriales en entornos dinámicos, pero no incorpora funciones ERP y MES, lo que restringe su aplicación en fábricas con integración digital avanzada.
DESSAULT SYSTEMES (DELMIA)	Cuenta con herramientas de simulación y manufactura digital, pero la falta de información sobre la programación de PLC limita su potencial para la automatización completa del proceso.
Rockwell Automation	Requiere una solicitud de prueba gratuita, que debe ser aprobada por la empresa. Solo permite una evaluación de 7 días, tiempo insuficiente para realizar pruebas detalladas en un entorno académico.
Simio APS	Software especializado en simulación y planificación avanzada de manufactura. Compatible con sistemas ERP y MES, pero su curva de aprendizaje es considerable. No incluye integración directa con programación de PLC.
PMC MX	Plataforma enfocada en la manufactura digital y simulación de procesos productivos. Compatible con sistemas ERP y MES, pero su implementación puede ser compleja y requiere soporte técnico especializado para configuración óptima.

Visual Components

Software especializado en simulación 3D de procesos industriales y líneas de producción. Permite modelar, visualizar y optimizar flujos de trabajo en entornos virtuales, facilitando la toma de decisiones antes de implementar cambios físicos. Su interfaz intuitiva y biblioteca de componentes lo hacen ideal para validar diseños y mejorar la eficiencia operativa.

La investigación y el análisis que se presenta en las Tablas 17 y 18 de distinto software de simulación de procesos de manufactura ha permitido identificar las capacidades, limitaciones y aplicaciones específicas de cada plataforma, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones técnicas en el desarrollo de esta herramienta didáctica. Las tablas presentadas no solo sistematizan la información de manera clara, sino que también evidencian criterios fundamentales como la compatibilidad con PLC, facilidad de uso, capacidad de visualización 3D e integración con sistemas de supervisión. Esta evaluación resulta clave para asegurar que la solución seleccionada responda adecuadamente a los objetivos de enseñanza y simulación del proceso de manufactura automatizada seleccionado. A partir de esta fundamentación técnica, en el siguiente apartado se presenta la selección del software de simulación más adecuado, considerando tanto los requerimientos del proyecto como el entorno de aplicación académica.

3.7 SELECCIÓN DE SOFTWARE DE SIMULACIÓN.

Con base en el análisis comparativo del software de simulación, programación y visualización industrial, la combinación seleccionada para el desarrollo de la herramienta digital didáctica está conformada por TIA Portal V20, S7-PLCSIM Advanced V7.0 y Visual Components Premium. Esta triada tecnológica ha sido elegida por su alta capacidad de integración, simulación realista y flexibilidad para representar sistemas automatizados complejos, como lo es el proceso de manufactura automatizada denominado Boda.

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal), desarrollado por Siemens, constituye la plataforma central para la configuración, programación y puesta en marcha de controladores lógicos programables (PLC) de la serie S7-1200 y S7-1500, ampliamente utilizados en entornos industriales reales. Su interfaz unificada permite el desarrollo de proyectos completos desde un solo entorno, integrando la programación lógica, la configuración de redes industriales, el diseño de interfaces HMI y la gestión de dispositivos. Esta herramienta resulta esencial para replicar el control lógico de los actuadores, sensores

y sistemas involucrados en el proceso Boda, asegurando una representación precisa de las condiciones operativas de una línea de ensamble[19].

En complemento, S7-PLCSIM Advanced V7.0 actúa como un entorno de simulación que permite emular el comportamiento de los PLC programados en TIA Portal, sin necesidad de hardware físico. A diferencia de PLCSIM básico, esta versión avanzada está diseñada para ofrecer simulaciones de alto nivel, integrándose con software externo mediante protocolos como OPC UA o Ethernet y simuladores industriales como Visual Components Premium. Gracias a esta característica, es posible ejecutar la lógica del PLC en un entorno completamente virtual, facilitando la verificación funcional, la depuración de errores de programación y la validación de tiempos de ciclo, todo ello en un entorno seguro y controlado[25].

La descarga e instalación de este software se realiza directamente desde el sitio oficial de Siemens¹, donde se encuentran disponibles versiones de prueba (Trial) o temporales de cada software requerido ideal para estudiantes. En el primer enlace proporcionado se puede acceder al instalador de TIA Portal, el cual está distribuido en tres DVD los cuales contienen archivos .iso. Para los fines de esta tesis, es necesario descargar únicamente los dos primeros, ya que contienen los componentes esenciales del entorno de programación. El tercer archivo corresponde al simulador S7-PLCSIM en su versión estándar, que, si bien permite emular el comportamiento del PLC, no es compatible con las funciones avanzadas requeridas en este trabajo, por lo que su uso queda a decisión del usuario.

Cabe señalar que, para poder realizar la descarga, es indispensable crear una cuenta en el portal de Siemens. Se recomienda utilizar la dirección de correo institucional, preferentemente vinculada a la universidad, con el fin de facilitar el acceso a licencias educativas y recursos técnicos adicionales.

¹ <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109963850/simatic-step-7-incl-safety-s7-plcsim-and-wincc-v20-trial-download?dti=0&lc=en-ES>

De la misma manera el software S7-PLCSIM Advanced fue descargado directamente desde el sitio oficial de Siemens², lo que garantiza la autenticidad y seguridad del instalador. Para los fines de esta tesis, se utilizó una versión de evaluación (*Trial*), la cual ofrece funcionalidad completa durante un periodo limitado de 21 días.

Por su parte, Visual Components Premium proporciona un entorno tridimensional robusto para la simulación de procesos industriales, permitiendo la creación de modelos detallados de células de manufactura, sistemas transportadores, robots industriales y estaciones de trabajo automatizadas. A diferencia de su versión Essentials, la edición Premium habilita la integración con PLC virtuales a través de Ethernet, lo que la convierte en una herramienta indispensable para establecer una comunicación directa con el PLC simulado en S7-PLCSIM Advanced. Esta capacidad es clave para recrear el proceso de Boda en un entorno virtual realista, donde los eventos del modelo 3D están sincronizados con la lógica de control definida en TIA Portal[26].

Además de su funcionalidad técnica, la selección de este software considera su viabilidad para entornos académicos. Siemens proporciona licencias educativas para TIA Portal y S7-PLCSIM Advanced, mientras que Visual Components permite acceder a su versión Premium por 30 días mediante una solicitud formal, preferentemente desde una cuenta institucional educativa. Esta accesibilidad facilita la implementación de la herramienta didáctica en instituciones de educación superior, promoviendo la enseñanza práctica de los sistemas ciberfísicos de producción.

En conjunto, esta arquitectura de software posibilita una simulación integral del proceso de manufactura, desde la lógica de control hasta la visualización tridimensional, brindando al estudiante una experiencia inmersiva y alineada con las tendencias de la industria 4.0. La capacidad de interconectar estos tres entornos permite no solo validar el funcionamiento del sistema automatizado, sino también comprender la interacción entre los componentes físicos y digitales, elemento clave en la formación de profesionales en

² <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109963863/simatic-s7-plcsim-advanced-v7-0-download-incl-trial-license-?dti=0&lc=en-CA>

automatización y manufactura inteligente. Por tanto, esta integración tecnológica representa una solución robusta, didáctica y viable para el desarrollo de la tesis.

3.7.1 REQUERIMIENTOS PARA LA DESCARGA E INSTALACIÓN DEL SOFTWARE.

Para garantizar el correcto funcionamiento del distinto software que se utilizará en el desarrollo de esta herramienta digital didáctica propuesta en esta tesis, es necesario que el equipo de cómputo en el que se realice la instalación cumpla con ciertas características mínimas. A continuación, se describen los recursos computacionales requeridos para la descarga, instalación y ejecución de los programas que serán empleados.

En primer lugar, el entorno de programación TIA Portal, desarrollado por Siemens, requiere un procesador de al menos 2.2 GHz (recomendado Intel Core i5 o superior), una memoria RAM mínima de 8 GB, aunque se recomienda contar con 16 GB para una ejecución fluida, así como un sistema operativo Windows 10 o superior en arquitectura de 64 bits. Además, se necesita un espacio en disco duro de aproximadamente 20 a 50 GB para la instalación completa, dependiendo de los módulos seleccionados. Este entorno es fundamental para el diseño y configuración de la lógica de control del PLC (Programmable Logic Controller), así como para la gestión de variables y programación estructurada en lenguajes como LAD, FBD o STL [27].

Por otro lado, el simulador S7-PLCSIM Advanced, también de Siemens, permite la creación de controladores virtuales que emulan el comportamiento de un PLC físico. Para su ejecución eficiente se requiere un procesador multinúcleo, preferentemente Intel Core i7 o equivalente, 16 GB de RAM, y entre 10 a 20 GB de almacenamiento adicional. Además, este software necesita el uso de una tarjeta de red virtual o adaptador TAP para establecer la comunicación entre el PLC virtual y otros programas externos, como los simuladores

3D. Esta herramienta es esencial para realizar pruebas sin necesidad de hardware físico, lo cual resulta ventajoso en entornos académicos y de investigación [28].

Respecto al software de simulación tridimensional, Visual Components Premium, este cuenta con mayores exigencias en cuanto a recursos computacionales, dado que se trata de una plataforma basada en gráficos 3D y en tiempo real. El equipo recomendado debe contar con un procesador Intel Core i7 o superior, al menos 16 GB de RAM, y una tarjeta gráfica dedicada compatible con OpenGL 4.5 o superior, con 4 GB o más de VRAM. Además, se requiere un espacio en disco de aproximadamente 10 a 15 GB para su instalación. Este software permite el modelado de células de manufactura, la visualización de procesos industriales y, en versiones avanzadas como la Premium, habilita la conexión con controladores externos mediante protocolos como OPC UA o S7comm, así como la integración de scripts en Python para la automatización de eventos [29].

Es importante destacar que la versión Premium de Visual Components no se encuentra disponible para descarga directa como versión de prueba. La versión gratuita que se ofrece corresponde a la edición Essentials, la cual no incluye las funciones necesarias para la conexión con TIA Portal ni con S7-PLCSIM Advanced. Por esta razón, es necesario realizar una solicitud formal a través del portal académico de Visual Components, en la que se justifique el uso con fines educativos o de investigación. Una vez aprobada la solicitud, el estudiante recibe una licencia temporal (generalmente de 30 días) que habilita el uso completo de la versión Premium, permitiendo llevar a cabo procesos de virtual commissioning y pruebas de lógica de control integradas, tal como se plantea en los objetivos de esta tesis [30].

En conjunto, estos tres programas requieren una infraestructura computacional robusta, capaz de ejecutar tareas simultáneas como la simulación 3D, la ejecución de controladores virtuales y la programación lógica. La correcta instalación e implementación de este software en un entorno integrado es crucial para alcanzar los objetivos experimentales y de validación que se desarrollaron en esta investigación. Una vez establecidos los recursos computacionales necesarios y asegurada la operatividad del

entorno digital, se procede a la implementación de la parte más significativa del proceso, en la cual se materializa la interacción entre los elementos virtuales y el comportamiento lógico del sistema automatizado

3.8 IMPLEMENTACIÓN DE LA PARTE MÁS SIGNIFICATIVA DEL PROCESO.

Una vez seleccionadas las herramientas digitales que conformarán la arquitectura de simulación, es necesario establecer una comunicación funcional entre los entornos TIA Portal, S7-PLCSIM Advanced y Visual Components Premium para realizar la implementación de la parte más significativa del proceso de manufactura seleccionado y así llevar a cabo la validación de la herramienta digital. Para ello, se debe configurar adecuadamente la lógica del controlador en TIA Portal, simular su comportamiento mediante S7-PLCSIM Advanced y, posteriormente, habilitar el protocolo S7comm como medio de enlace con Visual Components. Esta integración permite el intercambio de variables entre el PLC virtual y el entorno tridimensional de simulación, asegurando que los eventos en el modelo 3D respondan en tiempo real a las condiciones de control definidas en la lógica del programa. En los apartados siguientes se describe detalladamente la configuración requerida en cada plataforma para lograr esta comunicación sincronizada y efectiva.

La conexión entre los sistemas seleccionados se establece siguiendo una estructura jerárquica y secuencial que garantiza la correcta transmisión de datos y la sincronización de los eventos de simulación. En este esquema, TIA Portal actúa como el entorno principal de programación, donde se desarrolla la lógica de control del proceso o sea el código para el PLC. Una vez completada la programación, el proyecto se transfiere a S7-PLCSIM Advanced, que emula el comportamiento del PLC sin necesidad de hardware físico. Este simulador expone las variables del controlador a través del protocolo Ethernet, permitiendo que dichas variables puedan ser leídas y escritas por aplicaciones externas. Finalmente, Visual Components Premium se configura como cliente S7comm, lo que le permite

conectarse a S7-PLCSIM Advanced, recibir en tiempo real el estado de las variables del PLC simulado y sincronizar las acciones dentro del entorno tridimensional del proceso de manufactura. En la Figura 9 se muestra gráficamente la cadena de comunicación, lo que permite implementar una simulación completamente virtual e integrada, replicando de forma precisa el comportamiento de un sistema automatizado real.

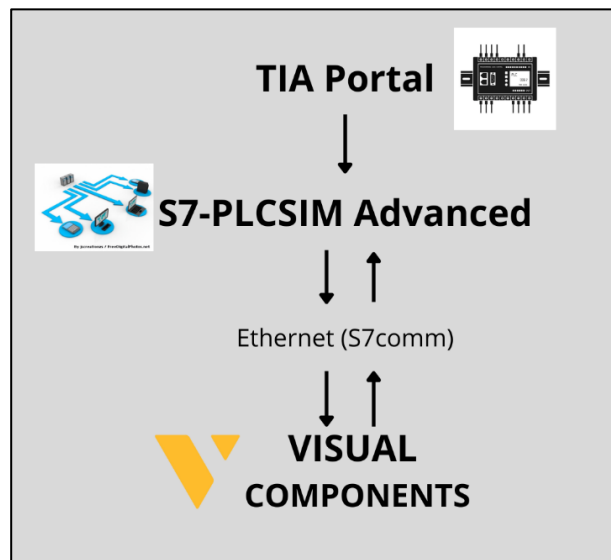


Figura 9 Cadena de Comunicación entre Software.

Configuración TIA Portal V20 y S7-PLCSIM Advanced V7.0

Para establecer una conexión funcional entre TIA Portal y S7 PLCSIM Advanced utilizando un PLC Siemens S7-1500, es necesario llevar a cabo una configuración técnica cuidadosa en ambas plataformas, asegurando la correcta emulación del controlador y habilitando la comunicación mediante el protocolo S7comm, el cual es compatible con Visual Components para la integración con entornos externos. Aunque en esta tesis se emplea un PLC S7-1500, el procedimiento también puede realizarse con un PLC S7-1200. Sin embargo, el S7-1500 ofrece ventajas como mayor capacidad de procesamiento, mejor manejo de estructuras complejas y una arquitectura más robusta para aplicaciones industriales avanzadas.

Primero, se debe crear un nuevo proyecto en TIA Portal y añadir una CPU S7-1500 como por ejemplo la CPU 1511-1 PN o modelos superiores. En la vista de configuración del CPU, se pueden visualizar los parámetros de red como dirección IP y máscara,

necesarios para la comunicación S7comm y que también ocuparemos para la configuración de S7-PLCSIM Advanced. Tal como se observa en las Figuras 10 y 11, es necesario acceder a las propiedades del proyecto y, dentro de la sección de Protección, habilitar la opción denominada *Support simulation during block compilation*, la cual permite compatibilizar la simulación de bloques durante el proceso de compilación.

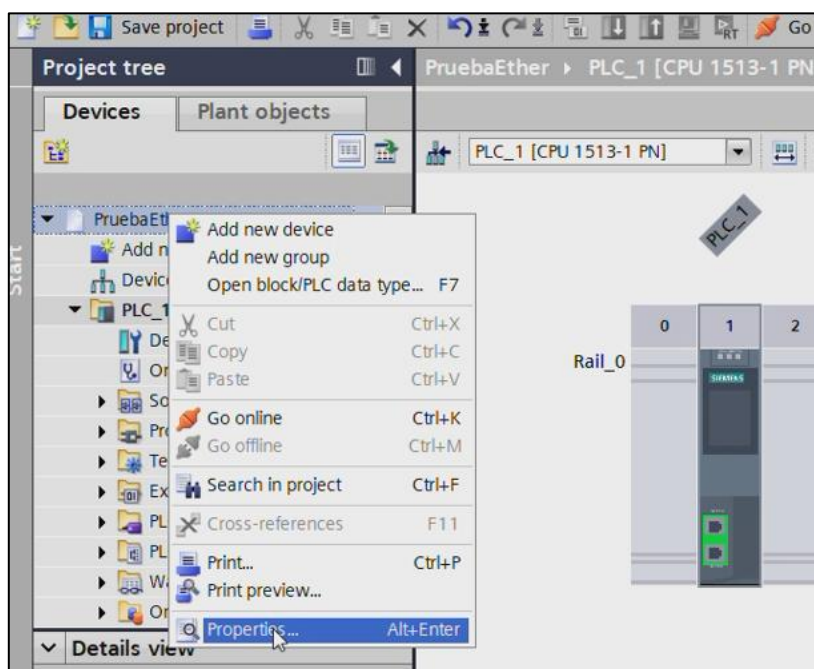


Figura 10 Propiedades del PLC.

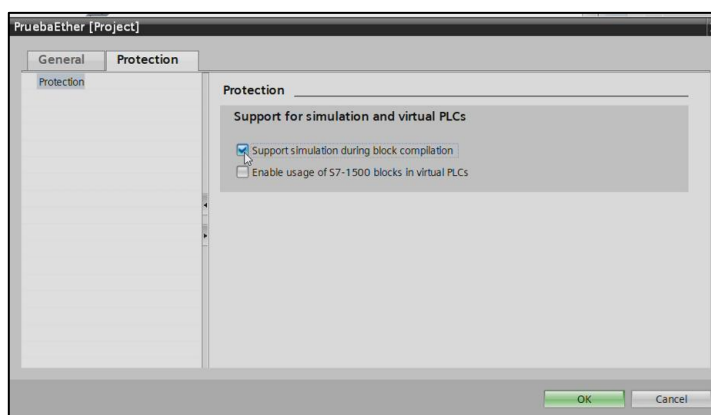


Figura 11 Permiso para compatibilizar la simulación de bloques durante el proceso de compilación.

Posteriormente, se accede a las propiedades del controlador lógico programable (PLC), como se ilustra en la Figura 12. En el apartado correspondiente a protección y

seguridad, se realiza la configuración necesaria para establecer una comunicación estable con el entorno de simulación S7-PLCSIM Advanced. Esta etapa incluye la habilitación de parámetros específicos, entre ellos la opción de comunicación PUT/GET, la cual resulta fundamental para permitir el intercambio de datos entre el PLC y sistemas externos mediante el protocolo S7comm. La Figura 13 presenta de forma visual, mediante capturas de pantalla, las casillas que deben activarse y aquellas que deben permanecer deshabilitadas para garantizar una configuración adecuada.

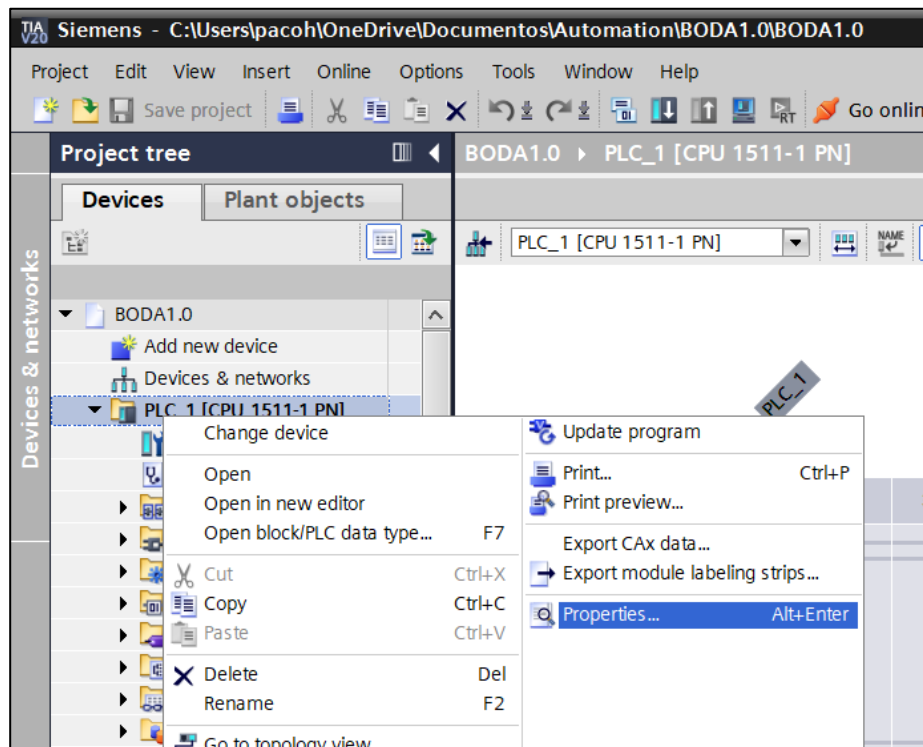


Figura 12 Propiedades del PLC.

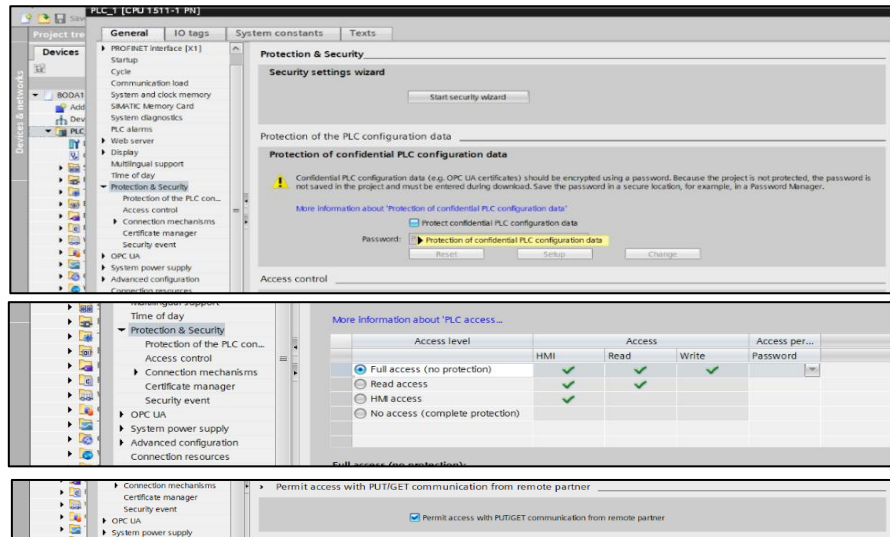


Figura 13 Configuración del PLC.

Una vez finalizada la configuración del entorno, se procede con la programación del PLC utilizando el lenguaje escalera (*Ladder Diagram*). En la Figura 14 se presenta un fragmento del código desarrollado, en el cual se emplean bloques de tipo *Set* y *Reset* con el propósito de garantizar que, al concluir la simulación del proceso, los datos correspondientes a sensores y actuadores se reinicien adecuadamente. Para estructurar la lógica de control, se implementó una técnica de programación secuencial basada en etapas, también conocida como programación por pasos o por estados. Esta metodología permite dividir el proceso automatizado en una serie de etapas claramente definidas, cada una representando un estado específico del sistema.

La transición entre etapas se controla mediante condiciones lógicas evaluadas a partir de señales de entrada, temporizadores o eventos internos. En este enfoque, cada etapa activa un conjunto determinado de acciones, y al cumplirse la condición de transición, se desactiva la etapa actual y se activa la siguiente. Esta estructura facilita el diseño modular del programa, mejora la legibilidad del código y permite una depuración más eficiente. Además, es especialmente útil en entornos didácticos y de simulación, ya que permite representar de forma clara y ordenada el comportamiento secuencial de la herramienta automatizada.

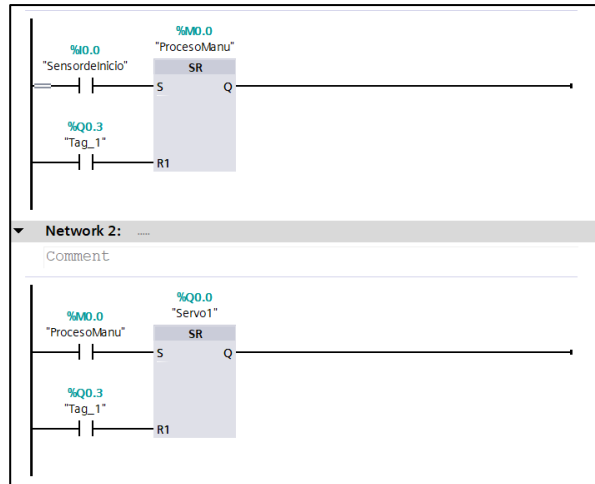


Figura 14 Fragmento del código del PLC.

Posteriormente, se compila el programa del PLC y se realiza un paso crucial para la integración con Visual Components: la exportación de la tabla de etiquetas de entradas y salidas (ver Tabla 19). Esta tabla constituye un elemento esencial para establecer la comunicación entre el entorno de simulación y el controlador, ya que permite vincular las variables del modelo virtual con las del sistema automatizado.

Tabla 19 Entradas y Salidas del PLC.

Name	Path	Data Type	Logical Address	Comment	Hmi Visible	Hmi Accessible	Hmi Writeable	Typeobject ID	Version ID
SensordeInicio	Default tag table	Bool	%I0.0		True	True	True		
Servo1	Default tag table	Bool	%Q0.0		True	True	True		
Sensor1	Default tag table	Bool	%I0.1		True	True	True		
Servo2	Default tag table	Bool	%Q0.1		True	True	True		
Sensor2	Default tag table	Bool	%I0.2		True	True	True		
Servo3	Default tag table	Bool	%Q0.2		True	True	True		
ProcesoManu	Default tag table	Bool	%M0.0		True	True	True		
Tag_1	Default tag table	Bool	%Q0.3		True	True	True		

Para llevar a cabo la exportación de la tabla de entradas y salidas del proyecto, es necesario ubicarse en el árbol de navegación de TIA Portal y desplegar las opciones correspondientes a *PLC Tags*. A continuación, se debe seleccionar la opción *Show all Tags*,

lo que permite visualizar en formato tabular todas las variables utilizadas en el programa, tanto de entrada como de salida. En la parte superior de dicha tabla se encuentra disponible la función de exportación, la cual, al ser activada, genera un archivo en formato *.xlsx*. Este archivo será posteriormente importado al entorno de Visual Components, donde cumple un papel fundamental en la comunicación entre el modelo virtual y el PLC. La Figura 15 ilustra de manera gráfica el procedimiento descrito.

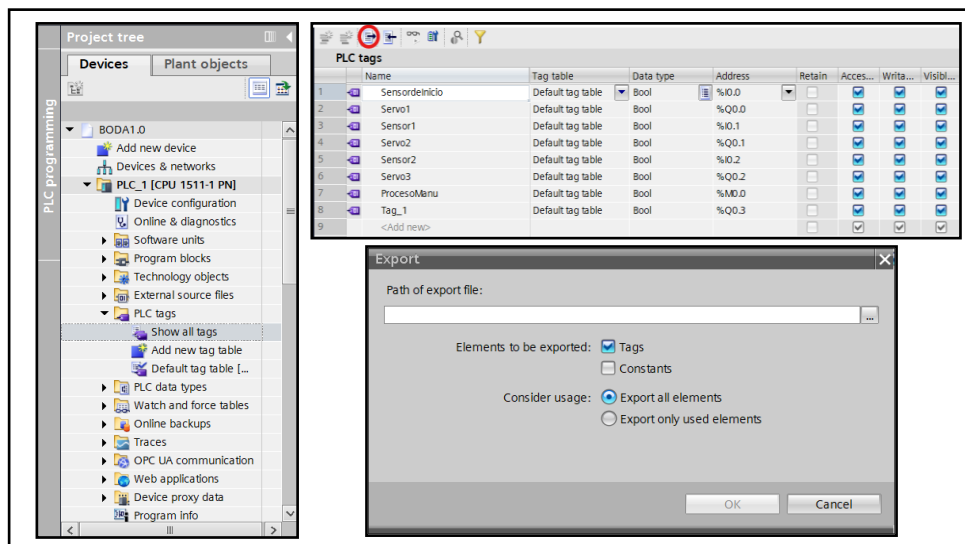


Figura 15 Proceso para exportar la tabla de entradas y salidas.

Una vez completadas las etapas de configuración del proyecto en TIA Portal y la programación del PLC, el siguiente paso consiste en preparar el entorno de simulación mediante la configuración de S7-PLCSIM Advanced versión 20.

Configuración S7-PLCSIM Advanced V20 y Visual Components Premium

La configuración de S7-PLCSIM Advanced es fundamental para establecer una comunicación efectiva entre el PLC simulado y otros componentes del sistema, como el software Visual Components. Para ello, es necesario crear una instancia de simulación que represente al PLC virtual, asignarle una dirección IP compatible con la red definida en el proyecto de TIA Portal, y asegurarse de que el perfil de simulación esté correctamente vinculado al dispositivo configurado. Para esto durante el proceso de instalación de S7-PLCSIM Advanced en el equipo de cómputo, se genera automáticamente un adaptador

virtual de red denominado *Siemens PLCSIM Virtual Ethernet Adapter*. Este adaptador cumple la función de establecer una interfaz de comunicación entre el entorno de simulación y el software de programación TIA Portal. Para su correcta configuración, es necesario acceder a la sección de **Red e Internet** → **Configuración avanzada de red** dentro de las opciones del sistema operativo. Una vez desplegadas las propiedades de la red, se debe seleccionar la opción *Ver propiedades adicionales* y proceder a editar la asignación de dirección IP, cambiando el modo de configuración a *manual*.

En esta etapa, se habilita la opción de protocolo IPv4, donde se asigna una dirección IP estática. Esta dirección debe coincidir parcialmente con la del PLC configurado en TIA Portal, manteniendo los primeros tres octetos iguales y modificando el último para evitar conflictos de red; para la tesis, se asignó el valor 15 al último octeto, reservando dicha dirección para la computadora. Asimismo, se debe establecer una máscara de subred idéntica a la utilizada en el proyecto de TIA Portal, garantizando así la compatibilidad y la correcta comunicación entre el simulador virtual y el PLC (Ver Figura 16).

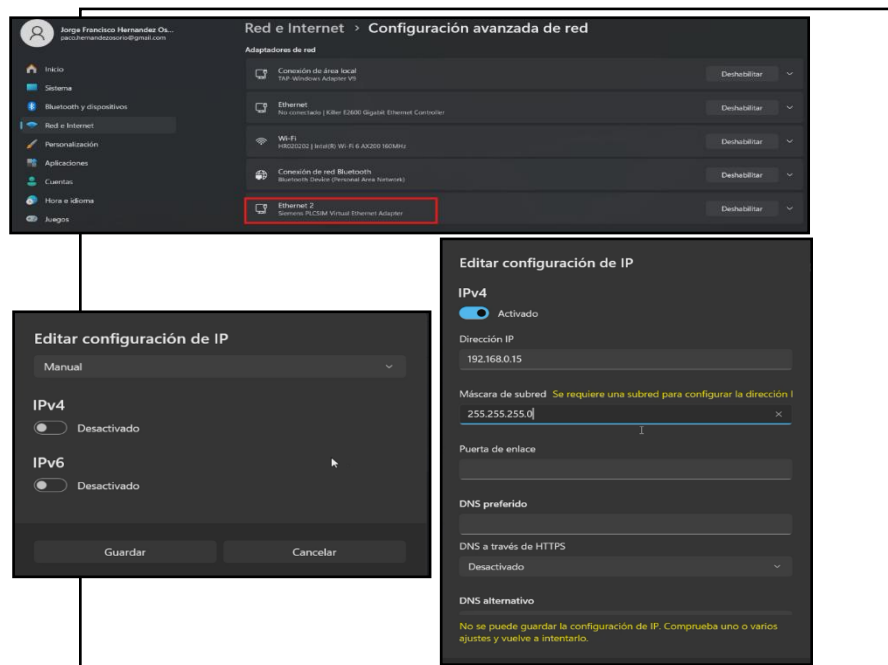


Figura 16 Cambiar dirección IP.

Una vez configurado el adaptador virtual de red, se procede a ejecutar el software S7-PLCSIM Advanced como administrador. En la interfaz principal, se selecciona el modo

de operación *TCP/IP Single Adapter*, el cual permite establecer la comunicación entre el simulador y el entorno de TIA Portal mediante una única interfaz de red. A continuación, se inicia una nueva instancia de simulación mediante la opción *Start Simulated PLC Instance*. El sistema asigna automáticamente la dirección IP del PLC que se encuentra en el proyecto de TIA Portal, lo que garantiza la coherencia en la configuración de red.

Durante este proceso, es necesario especificar el nombre de la instancia virtual que se desea crear, así como seleccionar la familia del PLC a emular; en este caso, se trata de un PLC perteneciente a la serie Siemens S7-1500. Finalmente, al confirmar la operación con la opción *Start*, se activa la instancia simulada, quedando disponible para pruebas, validaciones y comunicación con algún software externo como Visual Components.

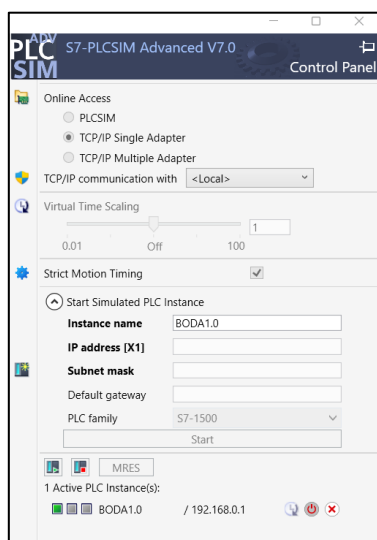


Figura 17 Configuración de S7-PLCSIM Advanced.

Una vez completada la configuración de S7-PLCSIM Advanced, se procede con la preparación del entorno de Visual Components (VC) para establecer una comunicación funcional con el controlador virtual. Una de las principales ventajas que ofrece VC es la posibilidad de importar modelos tridimensionales desarrollados en software de diseño asistido por computadora (CAD), como SolidWorks. Esta funcionalidad resultó particularmente útil en la tesis, ya que permitió incorporar de manera eficiente el diseño de la herramienta correspondiente al proceso de manufactura automatizada. Es importante

señalar que, para preservar las propiedades visuales y estructurales del modelo como el color, el material y las texturas, los diseños realizados en SolidWorks deben guardarse en formato *.STEP* antes de ser importados.

Desde la interfaz principal de VC, en la sección *Inicio*, se accede al apartado denominado *Importar Geometría*, ubicado en la parte superior de la pantalla. Al seleccionar esta opción, se debe navegar hasta el directorio que contiene los modelos tridimensionales previamente exportados desde SolidWorks en formato *.STEP*. Una vez localizado el archivo correspondiente al ensamble deseado, se procede a seleccionarlo y confirmar la operación mediante la opción *Aceptar*.

Posteriormente, en el panel lateral derecho de VC, se despliega un conjunto de parámetros configurables que permiten ajustar diversas propiedades del modelo importado, tales como su escala, orientación, y atributos visuales. Al finalizar los ajustes necesarios, se confirma la importación mediante la opción *Importar*. Este procedimiento garantiza que el modelo se integre correctamente al entorno de simulación, conservando las características geométricas y visuales requeridas para el desarrollo de la tesis. Los pasos para realizar dicha importación se ilustran en la Figura 18.

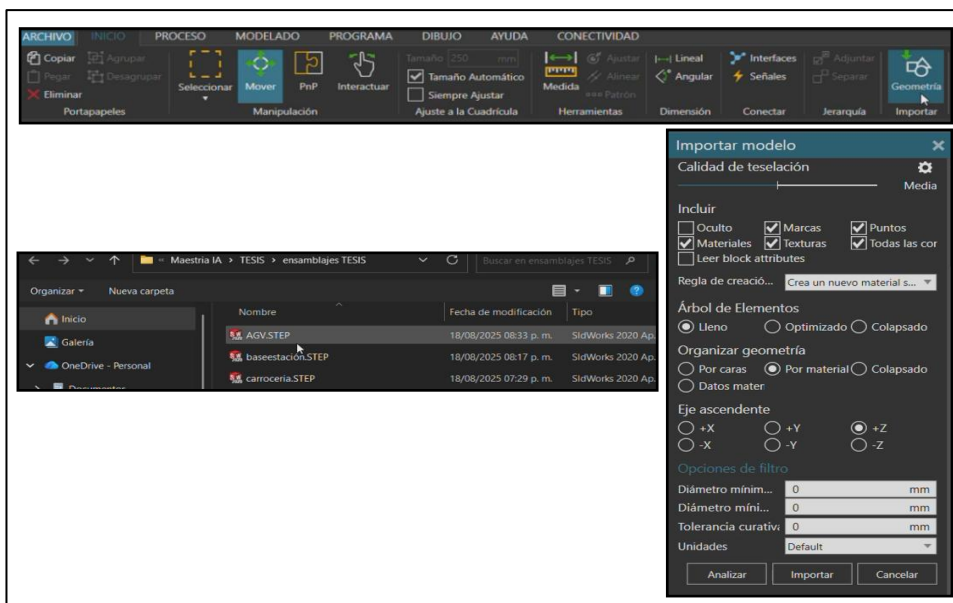


Figura 18 Representación visual de los pasos para exportar los diseños realizados en SolidWorks a VC.

Posteriormente en la sección de *Modelado*, se lleva a cabo la configuración individual de cada componente del modelo, asignándoles sus respectivos scripts de programación en lenguaje Python. Estos scripts definen el comportamiento cinemático de cada elemento durante la simulación. Para ello, se asignan juntas (joints) que representan los grados de libertad necesarios para ejecutar los movimientos requeridos; por ejemplo, si un componente debe realizar tres desplazamientos distintos, se le asignan tres juntas numeradas (0, 1, 2). Es importante destacar que Visual Components opera bajo una estructura jerárquica dentro de su entorno de modelado, lo que implica que el orden de ejecución de los movimientos debe estar claramente definido. Aunque la lógica de control se gestiona desde el PLC, una jerarquía mal estructurada en las juntas puede generar conflictos en la comunicación y provocar que los movimientos no se visualicen correctamente. Además, a cada componente se le asigna un *ServoController* junto con su script correspondiente, lo que permite ejecutar los movimientos de manera precisa y sincronizada dentro del entorno virtual.

Una vez importado el modelo tridimensional al entorno de Visual Components (VC), se procede a la incorporación estratégica de sensores que funcionarán como señales de entrada en el programa del PLC. La selección de estos sensores se realizó considerando criterios de funcionalidad y claridad didáctica, con el objetivo de representar adecuadamente el comportamiento de la herramienta. Para agregar un sensor, es necesario seleccionar previamente el componente sobre el cual se desea montar el dispositivo, y acceder al apartado *Elementos* ubicado en la parte superior de la interfaz. Desde esta sección, se inserta un *marco de referencia*, el cual debe posicionarse con precisión en el área donde se ubicará el sensor.

En esta simulación se emplearon sensores de tipo haz de luz, por lo que es fundamental orientar correctamente el marco de referencia, ya que la dirección del haz está determinada por el eje Z del mismo. Una vez colocado y orientado el marco, se accede al apartado *Comportamientos* para agregar un sensor de tipo *RaycastSensor* junto con una señal de tipo *Booleano*. Estos elementos se visualizan en el gráfico de componentes ubicado

en el panel izquierdo de la pantalla. Para completar la configuración, se selecciona el *RaycastSensor* y, dentro de sus propiedades, se asigna el marco de referencia previamente creado, además de definir el rango de detección según los requerimientos específicos del proceso. Esta configuración permite que el sensor interactúe correctamente con el entorno simulado y genere las señales necesarias para el control lógico del sistema.

En resumen, la correcta integración entre TIA Portal V20, S7-PLCSIM Advanced V7.0 y Visual Components Premium requiere las siguientes configuraciones específicas:

Configuración en TIA Portal

- Crear el proyecto y configurar el PLC (S7-1500 o S7-1200).
- Habilitar la opción *Support simulation during block compilation* en las propiedades del proyecto.
- Dar full accesses y activar la comunicación PUT/GET en el apartado de protección y seguridad.
- Programar la lógica en lenguaje escalera.
- Exportar la tabla de etiquetas de entradas y salidas en formato *.xlsx*.

Configuración de red virtual

- Verificar que el adaptador *Siemens PLCSIM Virtual Ethernet Adapter* esté instalado.
- Asignar manualmente una dirección IP estática compatible con la red del PLC en TIA Portal.
- Configurar la máscara de subred correspondiente.

Inicialización de S7-PLCSIM Advanced

- Ejecutar el software como administrador.
- Seleccionar el modo *TCP/IP Single Adapter*.

- Crear una instancia simulada del PLC, asignando nombre, familia (S7-1500) y dirección IP.
- Iniciar la instancia virtual.

Integración con Visual Components

- Importar el archivo *.xlsx* con las etiquetas del PLC.
- Configurar la comunicación mediante el protocolo S7comm.
- Asociar las variables del modelo 3D con las etiquetas del PLC.
- Ejecutar la simulación interactiva del proceso automatizado.

Este procedimiento hace posible la simulación del proceso de manufactura en un entorno ciberfísico virtual, en el que se puede simular de forma interactiva todo el sistema automatizado sin requerir hardware físico. Gracias a la capacidad de Visual Components Premium para conectarse mediante el protocolo S7comm, es posible representar visualmente, en un modelo 3D, el comportamiento de la lógica programada en el PLC. Esta interacción en tiempo real entre la simulación 3D y el controlador virtual permite no solo representar el funcionamiento del proceso de manufactura, sino también validar el diseño y la operatividad de la herramienta digital desarrollada en esta tesis.

De esta manera, se garantiza que los objetivos funcionales y didácticos del proyecto se cumplen de forma precisa, permitiendo realizar ajustes antes de cualquier implementación física y asegurando una mayor eficiencia en el desarrollo de entornos de formación basados en Industria 4.0.

3.9 Requerimientos de uso de la herramienta digital didáctica

En este apartado exponen los requerimientos técnicos y académicos necesarios para la correcta utilización de la herramienta digital didáctica diseñada. Asimismo, se describen

las competencias mínimas que deben poseer tanto el usuario final (estudiante) como el desarrollador de las prácticas (profesor).

Requerimientos del desarrollador de prácticas

Para la creación, modificación o ampliación de las prácticas basadas en la herramienta digital, es indispensable que el desarrollador cuente, en primera instancia, con los requerimientos computacionales establecidos en la sección 3.7.1, ya que estos garantizan el funcionamiento adecuado del entorno de simulación y de los programas asociados al proceso.

Una vez cubiertos estos aspectos técnicos, el desarrollador, generalmente el profesor o responsable de la asignatura, debe poseer un nivel de competencia sólido en programación, particularmente en Python, dado que este lenguaje se emplea para definir el comportamiento de los componentes, gestionar funciones complementarias del sistema y asegurar la correcta interacción entre los elementos simulados.

Asimismo, resulta esencial que el desarrollador domine el uso del software TIA Portal V20 y S7-PLCSIM Advanced V7.0, herramientas fundamentales para la programación del PLC y para la validación de la lógica de control que gobierna el proceso simulado. Estas competencias permiten realizar ajustes precisos en la secuencia operativa, así como implementar nuevas rutinas de control cuando la práctica lo requiera.

De igual manera, se considera necesario contar con conocimientos en el software Visual Components, ya que este entorno permite agregar, modificar o retirar componentes del modelo según los requerimientos de la práctica diseñada y en concordancia con los temas específicos de la materia. Esta capacidad de adaptación resulta clave para mantener la herramienta alineada con los objetivos de la materia.

Finalmente, el desarrollador debe poseer la habilidad de integrar sensores adicionales, configurar actuadores y extender la funcionalidad del panel de control, en caso de que se busque ampliar el alcance de la práctica o adecuarla a distintos niveles académicos.

Requerimientos del estudiante

El uso adecuado de la herramienta digital por parte de los estudiantes requiere, en primera instancia, que se cuente con los requerimientos computacionales descritos en la sección 3.7.1, ya que estos constituyen la base técnica necesaria para garantizar el funcionamiento correcto del sistema y una experiencia operativa fluida.

Una vez cubiertos estos aspectos, se considera fundamental que los alumnos posean los conocimientos básicos propios del nivel de ingreso a cualquier programa de ingeniería. Estos saberes permiten que el estudiante aborde con mayor solidez los conceptos de manufactura implicados en el uso de la herramienta.

Adicionalmente, antes de comenzar a interactuar con la plataforma, se espera que los alumnos hayan desarrollado actividades o prácticas preliminares asignadas por el profesor, orientadas a introducirlos en el contexto del proceso representado. Dichas actividades sirven como preparación para comprender la lógica operativa del sistema y facilitan la transición hacia el uso de la herramienta digital.

Considerando lo anterior, el estudiante deberá también contar con los conocimientos correspondientes al temario de la asignatura en la cual se integra la herramienta. Debido a que su diseño está alineado con los contenidos mencionados en la sección 3.1, se espera que el alumno comprenda los principios básicos del proceso de manufactura representado, así como la secuencia lógica de operación del mismo. Asimismo, deberá ser capaz de interpretar la interfaz de usuario, identificar los elementos operativos del sistema y comprender las interacciones entre los componentes simulados.

Cabe señalar que no se requieren conocimientos avanzados en programación, automatización o simulación, ya que la herramienta está orientada a un uso didáctico y su complejidad se adecúa al nivel formativo del curso. Esto permite que los estudiantes centren su atención en el análisis del proceso y en la adquisición de competencias prácticas relacionadas con el área de automatización en un entorno de manufactura automatizada.

Procedimiento para utilizar la herramienta digital didáctica

A continuación, se presenta la clasificación de los pasos operativos que deben realizarse para la utilización de la herramienta, diferenciando entre las acciones correspondientes al desarrollador o profesor y aquellas que competen al estudiante.

Nivel desarrollador de las practicas o profesor

El desarrollador es responsable de la preparación, configuración y validación completa de la herramienta antes de su implementación en actividades académicas. Para ello, debe llevar a cabo los siguientes pasos:

1. Instalar el software necesario, incluyendo TIA Portal V20, S7-PLCSIM Advanced V7.0 y Visual Components Premium, conforme a lo indicado en la sección 3.7 de esta tesis.
2. Importar los diseños realizados en SolidWorks al entorno de simulación de Visual Components, seleccionando y organizando los componentes adecuados según los contenidos de la asignatura.
3. Configurar los movimientos, trayectorias y comportamientos de cada componente dentro de Visual Components, asegurando la correspondencia con el proceso real de manufactura representado.
4. Desarrollar o modificar el programa del PLC en TIA Portal, integrando la lógica de control necesaria para la correcta ejecución de la simulación.
5. Configurar S7-PLCSIM Advanced para validar el programa, simular el comportamiento del controlador y establecer la comunicación con Visual Components.
6. Vincular correctamente las entradas y salidas del PLC hacia Visual Components, definiendo la asignación de señales y verificando que la intercomunicación entre software sea funcional.

7. Realizar pruebas completas de funcionamiento, ajustando movimientos, tiempos, señales y comportamientos para asegurar una operación estable antes de poner la práctica a disposición del estudiante.
8. Generar el archivo final de la práctica, el cual deberá incluir:
 - Modelo configurado de Visual Components
 - Archivo del PLC
 - Instrucciones operativas simplificadas para el estudiante
 - Material complementario si aplica (videos, diagramas, tablas de señales, etc.)
9. Asignar actividades previas o introductorias que permitan al alumno contextualizar el proceso, familiarizarse con el entorno y comprender la lógica de trabajo antes de interactuar con la herramienta.

Nivel Estudiante

El estudiante no requiere realizar configuraciones avanzadas ni tareas de programación. Su participación se centra en la interacción operativa con la simulación ya preparada por el profesor. Por lo tanto, los pasos que debe ejecutar son:

1. Contar con el software necesario instalado únicamente cuando la práctica lo requiera, o en su defecto utilizar el equipo institucional previamente configurado.
2. Abrir el archivo de práctica proporcionado por el profesor en Visual Components, sin necesidad de importar modelos ni realizar configuraciones estructurales.
3. Revisar la interfaz del modelo, identificando componentes, sensores, actuadores y paneles de control ya establecidos.
4. Cargar la simulación del PLC en caso de que la práctica lo requiera, utilizando la configuración previamente definida y proporcionada por el profesor.

5. Ejecutar la simulación, observando la secuencia de operación, registrando resultados y realizando análisis del proceso de manufactura representado.
6. Modificar parámetros operativos permitidos, tales como velocidades, tiempos de ciclo o activación manual de componentes, únicamente si la práctica lo establece.
7. Realizar las actividades asignadas, como análisis de fallas, interpretación de señales, descripción de secuencias o evaluación del proceso, conforme a las indicaciones del profesor.

Para facilitar la comprensión y la correcta ejecución de cada uno de los pasos establecidos, se elaboró una serie de videos demostrativos en los cuales se describen de manera detallada las acciones necesarias para utilizar adecuadamente la herramienta digital desarrollada (ver Anexo E). Dichos materiales audiovisuales fueron diseñados con el propósito de guiar al usuario durante el proceso de interacción con la plataforma, proporcionando instrucciones claras, ejemplos prácticos y recomendaciones para evitar errores comunes.

Los videos se encuentran almacenados en una carpeta de Google Drive con acceso restringido, la cual ha sido configurada para garantizar la seguridad y confidencialidad del contenido. El acceso está habilitado exclusivamente para usuarios que cuenten con un correo institucional de estudiante de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, con el fin de asegurar que únicamente la comunidad académica autorizada pueda consultar y emplear estos recursos como apoyo en el desarrollo de las prácticas correspondientes.

CONCLUSIONES

El desarrollo de esta tesis permitió culminar satisfactoriamente todos los objetivos específicos planteados, lo que se traduce en el diseño e implementación exitosa de una herramienta digital didáctica basada en un proceso real de manufactura automotriz. Esta herramienta, con un enfoque claro hacia la manufactura digital, responde a la creciente necesidad de modernizar los métodos de enseñanza en la ingeniería, adaptándolos al contexto dinámico y tecnológico de la Industria 4.0. Así, la propuesta no solo representa una innovación educativa dentro de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, sino también una aportación significativa para estrechar la relación entre el ámbito académico y la industria automotriz.

El primer objetivo específico, enfocado en la investigación de los procesos de manufactura automotriz para seleccionar el de mayor relevancia, fue alcanzado mediante un estudio exhaustivo que llevó a elegir el proceso conocido como Marriage o Boda. Esta etapa, fundamental en el ensamblaje de vehículos modernos, fue seleccionada por su complejidad técnica y por su capacidad para integrar diversos conceptos de automatización y control, tales como sensores, actuadores, controladores lógicos programables y sistemas de transporte autónomos. Esta selección estratégica permitió establecer un modelo que es representativo, didáctico y aplicable a la realidad industrial.

En congruencia con el segundo objetivo, se realizó un análisis detallado de los temarios de las carreras relacionadas con la automatización industrial ofrecidas en la UTM. Se identificaron materias clave en las que la herramienta puede aplicarse de manera directa, entre las que destacan Ingeniería y Manufactura Asistida por Computadora, Autómatas Programables y Controladores Lógicos Programables. Esta vinculación con el plan de estudios asegura que la herramienta no solo es técnicamente viable, sino que también posee un impacto educativo tangible, fortaleciendo la formación práctica y teórica de los estudiantes de la UTM en diversas áreas académicas.

Cumpliendo el tercer objetivo, se llevó a cabo el diseño del proceso de manufactura seleccionado utilizando SolidWorks, generando un modelo CAD detallado. Este diseño sirvió como la base visual e interactiva para la simulación y validación de la herramienta digital, facilitando la comprensión integral del proceso y permitiendo una representación fiel del entorno de manufactura real.

El cuarto objetivo fue abordado mediante la investigación y evaluación de diferente software comercial y académico orientados a la manufactura digital. Se seleccionó aquella plataforma que mejor se adaptó a los requerimientos técnicos, pedagógicos y de accesibilidad, garantizando una implementación adecuada y eficaz de la herramienta digital en un entorno virtual que simula condiciones industriales reales.

Finalmente, el cumplimiento del quinto objetivo se refleja en la implementación exitosa de la herramienta en el software seleccionado, fortaleciendo habilidades prácticas relacionadas con el uso de tecnologías emergentes, como sensores inteligentes y sistemas de comunicación industrial. En conjunto, esta tesis aporta una solución educativa moderna, accesible y funcional que supera las limitaciones propias de los equipos físicos, los cuales suelen ser costosos y de difícil acceso para los estudiantes.

En conclusión, el cumplimiento exitoso de los objetivos específicos ha permitido consolidar una herramienta didáctica integral que contribuye al fortalecimiento académico y profesional de los estudiantes de la UTM y ofrece una solución efectiva para superar limitaciones de equipos físicos costosos o inaccesibles, apoyando la formación de capital humano preparado para los retos de una industria automotriz cada vez más digitalizada, automatizada y exigente, posicionando a la institución a la vanguardia en la enseñanza de la ingeniería en el marco de la Industria 4.0 y promoviendo una mayor vinculación con el sector industrial.

TRABAJO FUTURO

Si bien esta tesis logró diseñar e implementar una herramienta digital didáctica representativa de un proceso clave en la manufactura automotriz, existen diversas áreas de oportunidad que podrían explorarse en trabajos futuros para enriquecer y ampliar su impacto educativo e industrial.

Una de las primeras líneas de trabajo consiste en completar la implementación de todo el proceso de ensamblaje, más allá de la etapa "Marriage". Incluir procesos previos como soldadura, pintura, inspección o montaje de interiores permitiría representar el ciclo completo de fabricación de un vehículo, lo cual ofrecería una experiencia didáctica más integral.

Asimismo, podría desarrollarse una versión interactiva basada en realidad aumentada o realidad virtual (RA/RV), lo que potenciaría la inmersión y comprensión de los estudiantes, y permitiría una simulación más realista de las condiciones de trabajo en una planta automotriz. Esto también facilitaría el entrenamiento de habilidades prácticas en un entorno seguro y controlado.

Otra línea de expansión consiste en vincular la herramienta con dispositivos físicos reales, como estaciones de entrenamiento con PLC, brazos robóticos didácticos o sensores industriales disponibles en los laboratorios universitarios. Esta integración permitiría validar el diseño digital en entornos físicos, fortaleciendo el aprendizaje híbrido y la preparación para entornos productivos reales.

También se recomienda el diseño de guías didácticas y material complementario, como ejercicios prácticos, simulaciones parametrizadas, rúbricas de evaluación y estudios de caso, que faciliten su adopción por parte de docentes y estudiantes. Esto podría incluir módulos específicos para diferentes semestres o carreras.

Finalmente, sería de gran valor realizar una evaluación formal de su impacto educativo, mediante estudios que analicen el desempeño y percepción de los estudiantes

antes y después de utilizar la herramienta. Esta retroalimentación permitiría realizar mejoras iterativas y respaldar su utilidad como recurso educativo con base en evidencia.

En conjunto, estas posibles líneas de desarrollo abren la puerta a nuevas investigaciones, proyectos colaborativos y mejoras tecnológicas que pueden consolidar esta herramienta como una plataforma educativa sólida, escalable y alineada con los requerimientos actuales de la Industria 4.0.

REFERENCIAS

- [1] I. del T. Organización, «El futuro del trabajo en la industria automotriz y la necesidad de invertir en la capacidad de las personas y el trabajo decente y sostenible». 2020.
- [2] INEGI, «Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Ligeros». 7 de marzo de 2025. Accedido: 22 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en:
https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2025/rm_raiavl/rm_raiavl2025_03.pdf
- [3] «Industria automotriz mexicana en 2025: cifras, competitividad y desafíos – ConaLog». Accedido: 23 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://conalog.org.mx/noticias/industria-automotriz-mexicana-en-2025-cifras-competitividad-y-desafios/>
- [4] E. Secretaria de, «Industria Automotriz», p. 43, mar. 2012.
- [5] «Industria 4.0 en el Sector Automotriz», TRACTIAN. Accedido: 23 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://tractian.com/es/blog/industria-4-en-el-sector-automotriz>
- [6] «Digitalización: clave para que México siga siendo campeón en manufactura». Accedido: 28 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en:
<https://www.forbes.com.mx/negocios-digitalizacion-clave-para-que-mexico-siga-siendo-campeon-en-manufactura/>
- [7] E. H. D. Ribeiro Da Silva, A. C. Shinohara, E. P. De Lima, J. Angelis, y C. G. Machado, «Reviewing Digital Manufacturing concept in the Industry 4.0 paradigm», *Procedia CIRP*, vol. 81, pp. 240-245, 2019, doi: 10.1016/j.procir.2019.03.042.
- [8] H. Nylund y M. Lanz, «Interactive learning activities for education of factory level order-to-delivery process», *Procedia Manuf.*, vol. 45, pp. 504-509, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.04.065.
- [9] R. H. Sampieri, «Metodología de la Investigación».
- [10] Y. C. Suárez, «Tecnológica y reconfiguración del mercado mundial Paradigma económico.», vol. 2, n.º 1, pp. 24-52, Enero-Junio.
- [11] D. R. Spillane, J. Menold, y M. B. Parkinson, «Broadening participation in learning factories through Industry 4.0», *Procedia Manuf.*, vol. 45, pp. 534-539, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.04.074.
- [12] Y. Liu y X. Xu, «Industry 4.0 and Cloud Manufacturing: A Comparative Analysis», *J. Manuf. Sci. Eng.*, vol. 139, n.º 3, p. 034701, mar. 2017, doi: 10.1115/1.4034667.

- [13] CIMdata, Inc., «Digital Manufacturing “Enabling Lean for More Flexible Manufacturing”». 2011. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/338772731/Siemens-PLM-Flexible-Mfg-CIMdata-WP-20110830-Tcm1023-133968>
- [14] M. R. Darun, D. Palm, R. Athinarayanan, V. Hummel, y K. Von Leipzig, «The Learning Factory – A New Stimulus to Enhance International Collaboration», *Procedia Manuf.*, vol. 31, pp. 290-295, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.03.046.
- [15] A. Kreß y J. Metternich, «System development for the configuration of learning factories», *Procedia Manuf.*, vol. 45, pp. 146-151, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.04.086.
- [16] R. Moreno y R. Mayer, «Interactive Multimodal Learning Environments: Special Issue on Interactive Learning Environments: Contemporary Issues and Trends», *Educ. Psychol. Rev.*, vol. 19, n.º 3, pp. 309-326, sep. 2007, doi: 10.1007/s10648-007-9047-2.
- [17] M. A. Omar, *The Automotive Body Manufacturing Systems and Processes*, 1.ª ed. Wiley, 2011. doi: 10.1002/9781119990888.
- [18] M. L. Alvarez, A. Burgos, I. Sarachaga, E. Estévez, y M. Marcos, «GEMMA based approach for generating PLCopen Automation projects», *IFAC Proc. Vol.*, vol. 45, n.º 4, pp. 230-235, 2012, doi: 10.3182/20120403-3-DE-3010.00067.
- [19] A. Mejia, A. F. Guarnizo, y G. Barbieri, «Assessment of the PLC Code generated with the GEMMA-GRAFCET Methodology», *Procedia Comput. Sci.*, vol. 200, pp. 699-709, 2022, doi: 10.1016/j.procs.2022.01.268.
- [20] «Estos son los coches más vendidos del mundo: el ranking definitivo». Accedido: 24 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.motor16.com/noticias/coches-vendidos-mundo-ranking-definitivo/>
- [21] «Los coches más vendidos del mundo: la clasificación definitiva de 2023», Motor1.com. Accedido: 24 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.motor1.com/news/722989/ranking-coches-mas-vendidos-mundo/>
- [22] G. Mancuzo, «Las herramientas ERP más usadas: funciones y ejemplos 2024», Blog - ComparaSoftware. Accedido: 27 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blog.comparasoftware.com/herramientas-erp-mas-usadas-y-ejemplos/>
- [23] R. F. Oltra Badenes, «Sistemas ERP (Enterprise Resources Planning)». [En línea]. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/50815/Art_Docente_SI_ERP_Def_Cast.pdf?sequence=1
- [24] «Control Supervisorio Mediante Sistemas de Ejecución de la Manufactura (M.E.S)-Edición Única». Accedido: 29 de enero de 2024. [En línea]. Disponible

- en: <https://1library.co/document/rz31vndy-control-supervisorio-mediante-sistemas-ejecucion-manufactura-edicion-unica.html>
- [25] «SIE_WD_N3R_Elbow_1ph.pdf - N3R Elbow 1-Phase Wiring Diagram - ID: 109796681 - Industry Support Siemens». Accedido: 28 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109796681/n3r-elbow-1-phase-wiring-diagram?dti=0&dl=en&lc=es-ES>
- [26] «Academia», Visual Components. Accedido: 28 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.visualcomponents.com/companies/academia/>
- [27] «Support Page - Siemens SiePortal». Accedido: 28 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://sieportal.siemens.com/en-ww/support>
- [28] «An Introduction to PLCSim Advanced». Accedido: 28 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.solisplc.com/tutorials/plcsim-advanced>
- [29] «Connect to a Siemens S7 PLC», Visual Components Academy. Accedido: 28 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://academy.visualcomponents.com/lessons/connect-to-a-siemens-s7-plc/>
- [30] «Academia», Visual Components. Accedido: 28 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.visualcomponents.com/companies/academia/>
- [31] «I can't connect PLCSIM Advanced to UA Expert - 290596 - Industry Support Siemens». Accedido: 30 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/forum/WW/en/posts/i-can-t-connect-plcsim-advanced-to-ua-expert/290596>
- [32] «OPC UA». Accedido: 30 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://help.visualcomponents.com/4.10/Premium/en/English/Connectivity/Connecting_to_an_OPC_UA_Server.htm?utm_source=chatgpt.com
- [33] «Accessing Connectivity feature». Accedido: 30 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://help.visualcomponents.com/4.9/Premium/en/English/Connectivity/Accessing_Connectivity_feature.htm?utm_source=chatgpt.com

Anexos

Anexo A: Tabla Contacto de Ensambladoras en México.

MARCA	URL	FACEBOOK	TELE/WATHSAPP	CORREO	CONTACTO
ZACUA	https://azuca.com	https://www.facebook.com/zacuacomficial	55 4188 3860	comunicacion@azuca.com	N/D
VHUL	https://vuhl05.com/pages/vuhl-headquarters	https://www.facebook.com/vuhlofficial	N/D	info@vuhl05.com	N/D
GM	N/D	https://www.facebook.com/GMColmotoresMX	55 5521 4260 (WhatsApp)	N/D	N/D
FIAT	https://fiusa.com.mx	https://www.facebook.com/fiatoficialmexico/	55 2000 2029	contacto@fiusa.com.mx	N/D
GYUNDAI	https://www.kia.com/mx.html	KIA MÉXICO	55 4780 0542	krrmm@kia.com	Directora de Comunicación Corporativa
NISSAN	https://www.nissan.com.mx/	https://www.facebook.com/nissanmexico	55 5628 2727	N/D	Directora de Comunicación Corporativa
	https://www.nissan.com.mx/	https://www.facebook.com/nissanmexico	55 5628 2727	N/D	Directora de Comunicación Corporativa
	https://www.nissan.com.mx/	https://www.facebook.com/nissanmexico	55 5628 2727	N/D	Directora de Comunicación Corporativa
	https://www.nissan.com.mx/	https://www.facebook.com/nissanmexico	55 5628 2727	N/D	Directora de Comunicación Corporativa
GM	https://www.gm.com.mx/es/home.html	https://www.facebook.com/generalmotorsmx	N/D	hugo.vieyra@gm.com	N/D
	https://www.gm.com.mx/es/home.html	https://www.facebook.com/generalmotorsmx	N/D	hugo.vieyra@gm.com	N/D
	https://www.gm.com.mx/es/home.html	https://www.facebook.com/generalmotorsmx	N/D	hugo.vieyra@gm.com	N/D
AUDI	https://www.audi.com.mx	https://www.facebook.com/AudiMexico	N/D	N/D	N/D
BMW	https://www.bmw.com.mx/	N/D	55 3503 3440	N/D	N/D
TOYOTA	https://www.toyota.mx	https://www.facebook.com/ToyotaMex	80 0786 9682	N/D	N/D
MAZDA	https://www.mazda.mx/distribuidores/mazda-salamanca	https://www.facebook.com/mazdamoficial	464 648 8800	N/D	N/D
CHRYSLER	https://www.chrysler.com.mx	https://www.facebook.com/ChryslerMexico	(722) 279-00-00 y 800 505 1300	N/D	N/D
FORD	https://www.ford.mx/	https://www.facebook.com/FordMexicoFordTerritory	81 1503 9231	atncliente@ford.com	N/D
	https://www.ford.mx/	https://www.facebook.com/FordCuautitlanPlanta?locale=es_LA	55 5999 7270	atncliente@ford.com	N/D
HONDA	https://www.honda.mx/	https://www.facebook.com/hondamexico	TEL: 800 368 8500	N/D	N/D
	https://www.honda.mx/	https://www.facebook.com/hondamexico	TEL: 800 368 8500	N/D	N/D
VOLKSWAGEN	https://www.vw.com.mx/es.html	https://www.facebook.com/VolkswagenMX	WhatsApp: 5548437690	contacto@vw.com.mx	N/D

Anexo B: Tabla Información del Material Audiovisual Adicional.

EMPRESA	URL	Nivel de detalle	Tipos de autos en la línea	Fábrica en México	Origen del video	Posible propuesta
FORD	https://www.youtube.com/watch?v=Pqbh1ysuEYE	REGULAR	GASOLINA	sí	USA	
	https://www.youtube.com/watch?v=ms7ZnHnLzZ0	BUENO	ELÉCTRICO		USA	
	https://www.youtube.com/watch?v=chtBqfgrRfS	BUENO	GASOLINA Y DIESEL		EE. UU.	
NISSAN	https://www.youtube.com/watch?v=NeSv4vDnYtl	EXCELENTE	ELÉCTRICO Y GASOLINA	sí	JAPÓN	00:06:18
	https://www.youtube.com/watch?v=NeSv4vDnYtl	BUENO	ELÉCTRICO		JAPÓN	
GM	https://www.youtube.com/watch?v=plb1TgNkjJE	BUENO	GASOLINA	sí	GUANAJUATO, MÉXICO	5:14:13
AUDI	https://www.youtube.com/watch?v=RskR7077uZ8	BUENO	GASOLINA	sí	PUEBLA, MÉXICO	
MAZDA	https://www.youtube.com/watch?v=Y6bSeI6d4WY	BUENO	GASOLINA	sí	GUANAJUATO, MÉXICO	
	https://www.youtube.com/watch?v=Y6bSeI6d4WY	EXCELENTE	HIBRIDOS		JAPÓN	00:27:30, 00:17:33
TOYOTA	https://www.youtube.com/watch?v=uN4rGvUdCuA	BUENO	ELÉCTRICO Y GASOLINA	sí	CANADÁ	00:10:29
BMW	https://www.youtube.com/watch?v=nvhYQygiInM	EXCELENTE	GASOLINA	NO	MÉXICO	00:01:50
Volkswagen	https://www.youtube.com/watch?v=1xYgX Ym1Y5c	EXCELENTE	GASOLINA, DIESEL, HÍBRIDO	sí	ALEMANIA	00:12:29, 00:14:41, 00:04:57
	https://www.youtube.com/watch?v=1xYgX Ym1Y5c	BUENO	GASOLINA		ALEMANIA	
Hyundai	https://www.youtube.com/watch?v=rs9w1St8Whk	EXCELENTE	GASOLINA	sí	MONTERREY Y MÉXICO	
Honda	https://www.youtube.com/watch?v=ns4d8h7gSnY	BUENO	GASOLINA	NO	USA DIFERENTES ESTADOS	

Anexo C: Aspectos clave de la guía GEMMA para esta Tesis.

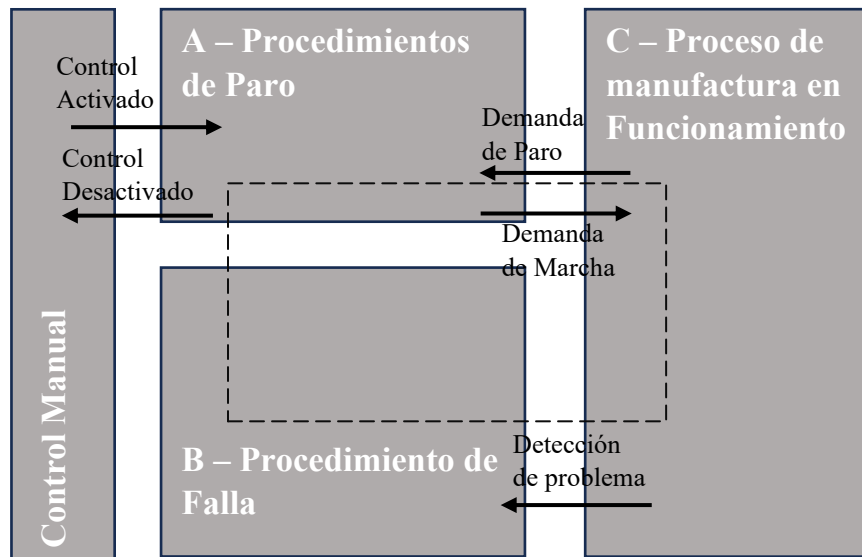
1. Estandarización: Proporciona un lenguaje común y estandarizado para describir los diferentes estados de un sistema, facilitando la comunicación entre ingenieros y operadores [18].

2. Gestión de modos operativos: Ayuda a identificar y optimizar los procesos operativos y de mantenimiento, mejorando la eficiencia y reduciendo tiempos de inactividad [18].

3. Aplicación en casos de uso: GEMMA se utiliza junto con los casos de uso para identificar los actores involucrados en cada modo de operación y para diseñar las secuencias de control necesarias. Esto asegura que todos los posibles estados del sistema estén cubiertos y gestionados adecuadamente [19].

4. Optimización de Procesos de Diseño: La aplicación de GEMMA ayuda a mejorar el proceso de diseño en la ingeniería de automatización, proporcionando una estructura clara y coherente para la definición de los modos de operación y las transiciones entre ellos [19].

El uso de la Guía GEMMA en la manufactura, particularmente en procesos como la Boda permite un control preciso y una gestión eficiente de cada etapa del proceso. Definir claramente los modos de funcionamiento y paradas garantiza que cada paso se realice de manera segura y óptima, minimizando riesgos y optimizando tiempos de ciclo. A continuación, se presenta un diagrama de los modos de funcionamiento del proceso de manufactura automotriz seleccionado.



Cada uno de estos estados en los que se puede encontrar el proceso de manufactura se subdividen en grupos:

Grupo C. Proceso de Manufactura en Funcionamiento

C1: Producción Normal. Estado en que el proceso de manufactura automatizado se encuentra normalmente. Es el estado más importante y en él se deben realizar las tareas por las cuales la herramienta ha sido diseñada.

C2: Marcha de Preparación. Son las acciones necesarias para que el proceso dé inicio.

C3: Marcha de Cierre. Hace referencia a la fase en donde se encuentra terminado el producto realizado en este proceso de manufactura específicamente listo para pasar a la siguiente estación.

Grupo A. Procedimientos de Paro

A1: Paradas en el Estado Inicial. Hace referencia al estado de reposo del proceso.

A2: Parada del proceso al final de la unión.

A3: Parada Solicitada en un Estado Determinado. Es un estado en el que el proceso se detiene, pero no coincide con el final del mismo.

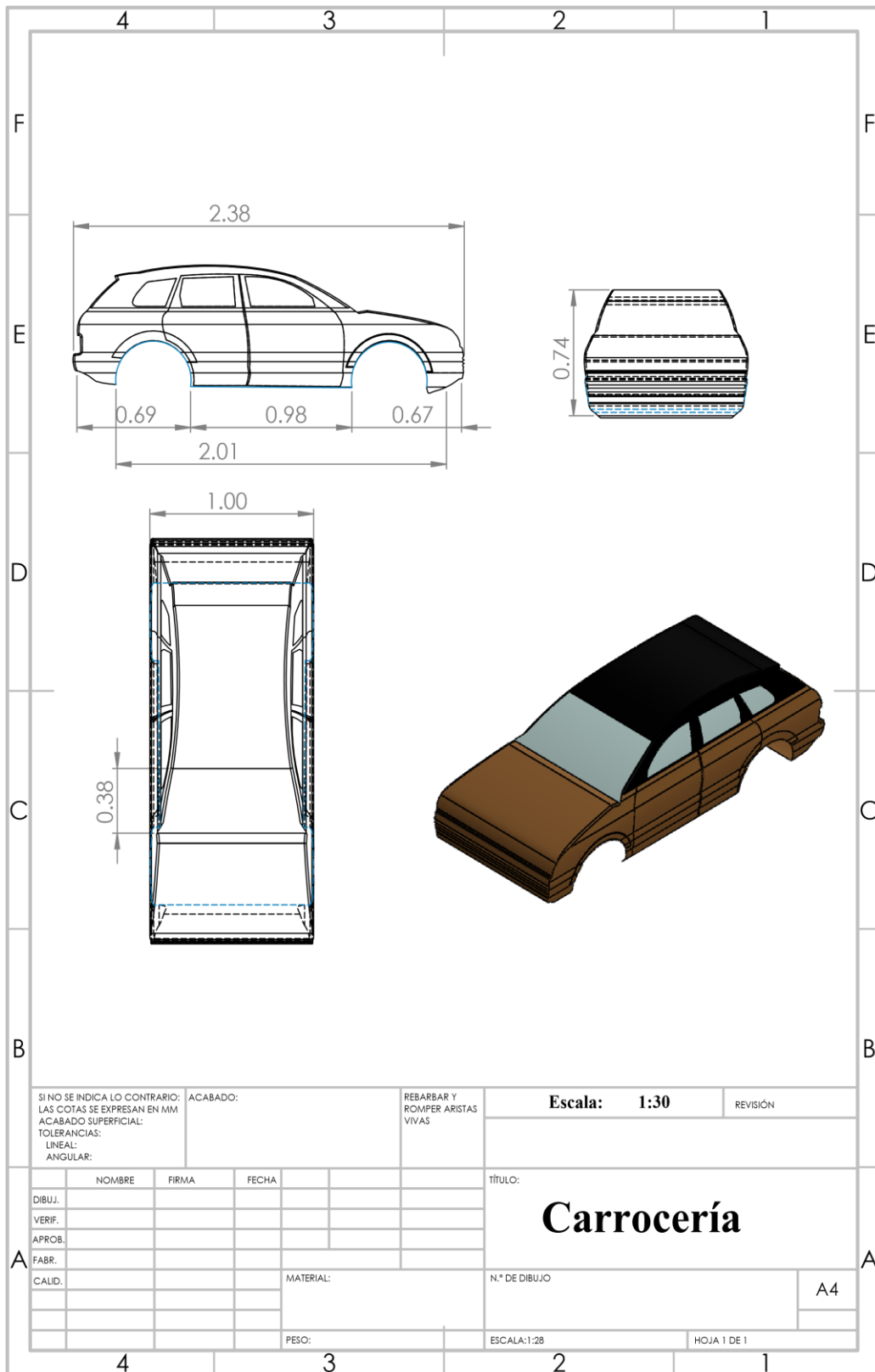
Grupo B. Procedimiento de Falla

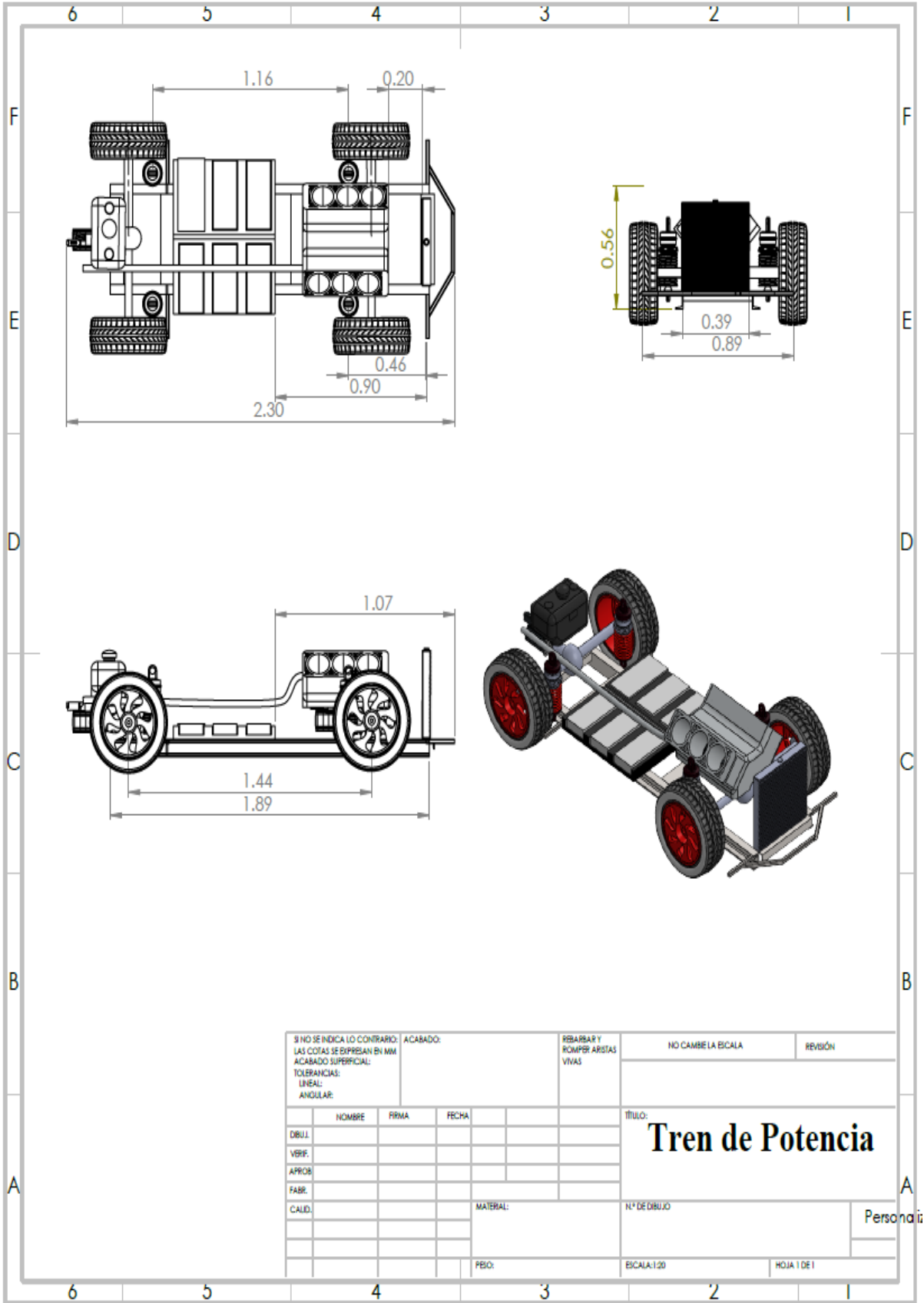
B1: Parada de Emergencia. Es el estado al que se llega después de haber detectado una falla inesperada en el proceso donde deben de tenerse en cuenta las precauciones necesarias para evitar o eliminar las consecuencias debidas a defectos.

B2: Diagnostico y/o tratamiento de fallas. Es el estado donde los componentes del proceso pueden ser examinados después de una falla para indicar los motivos de la falla.

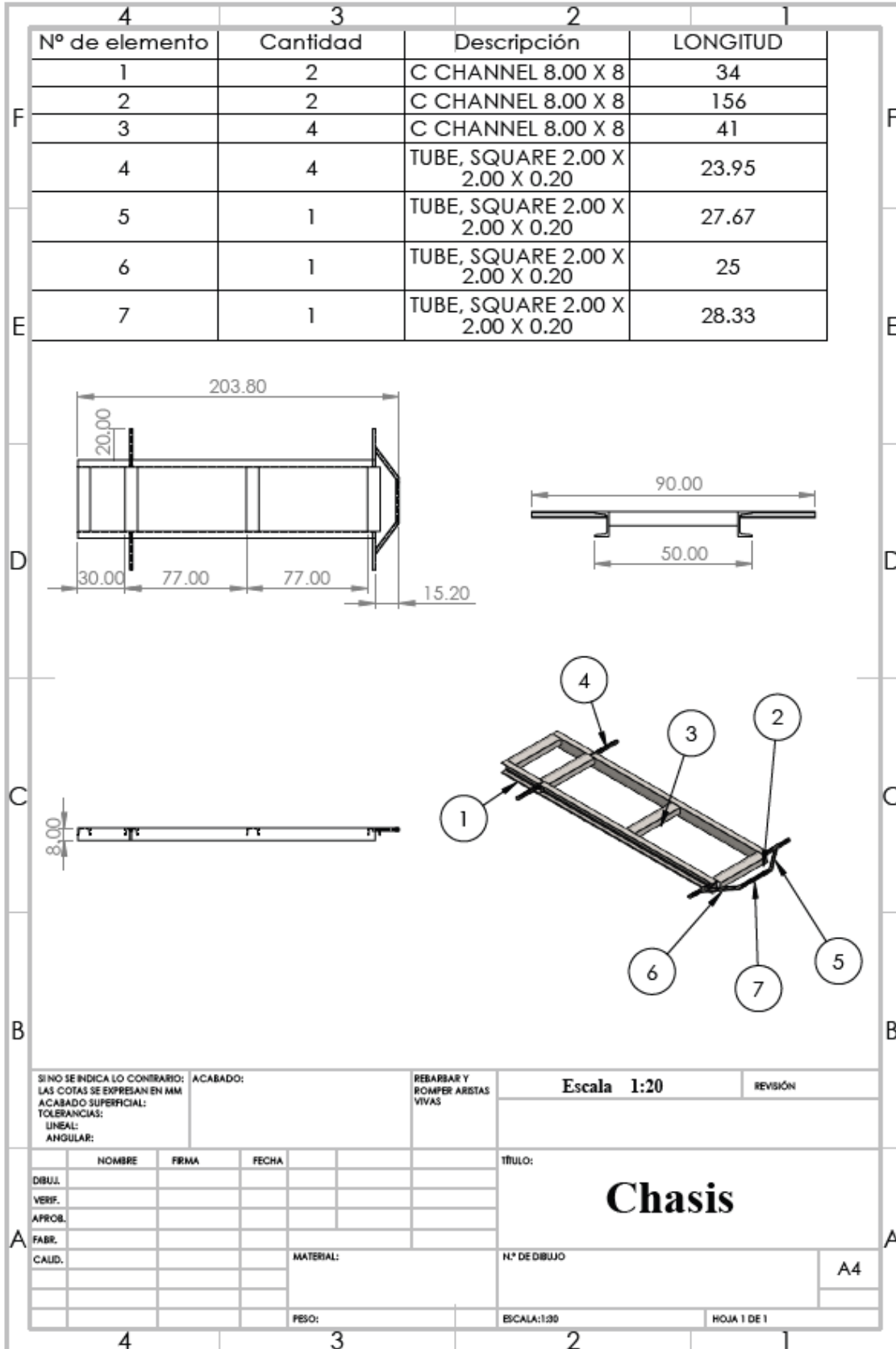
B3: Funcionamiento a pesar de los Defectos. Corresponde a los casos en los que se deba continuar con el proceso a pesar del fallo.

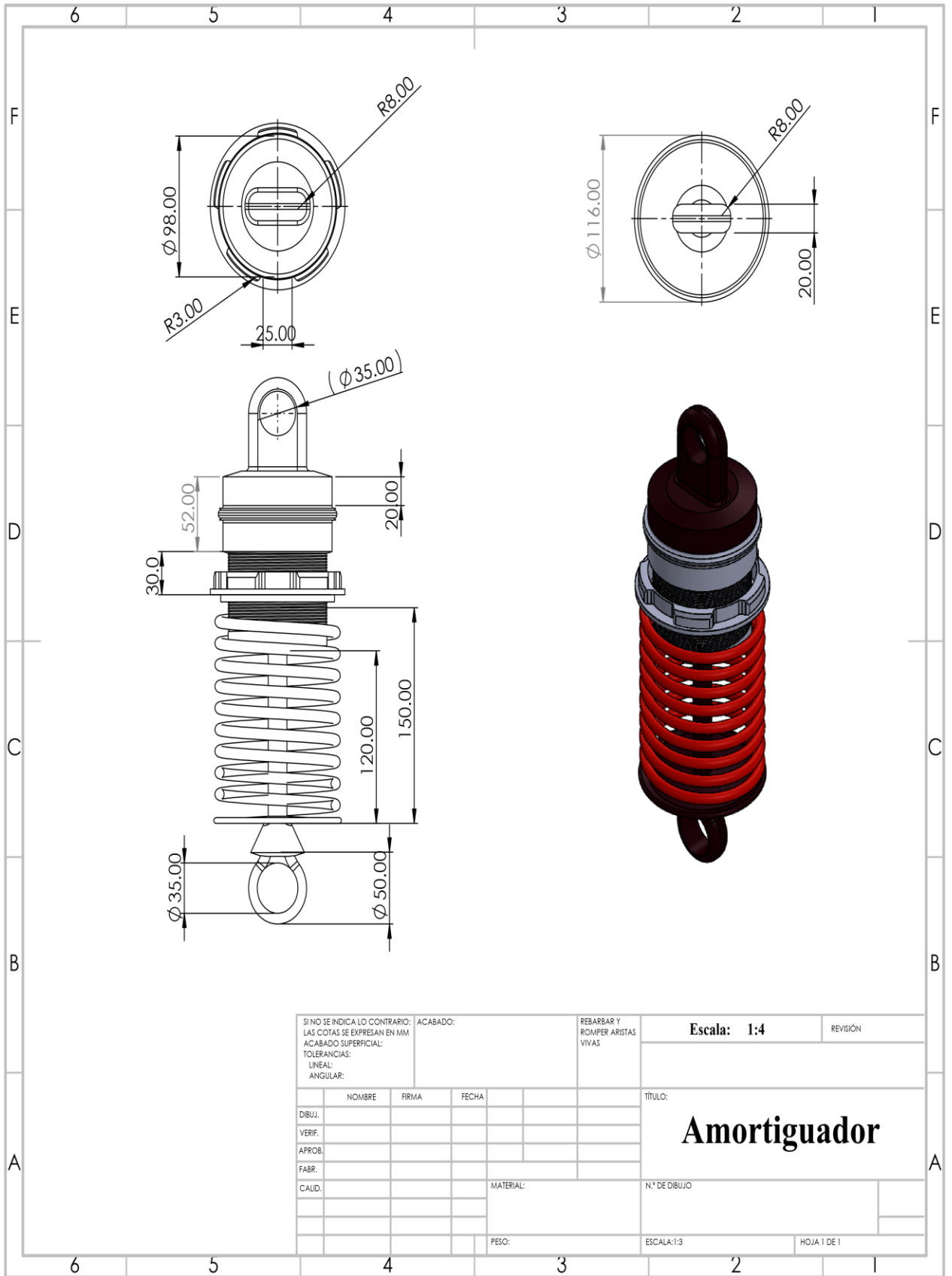
Anexo D: Dibujos Realizados en SolidWorks de los Componentes del Proceso.

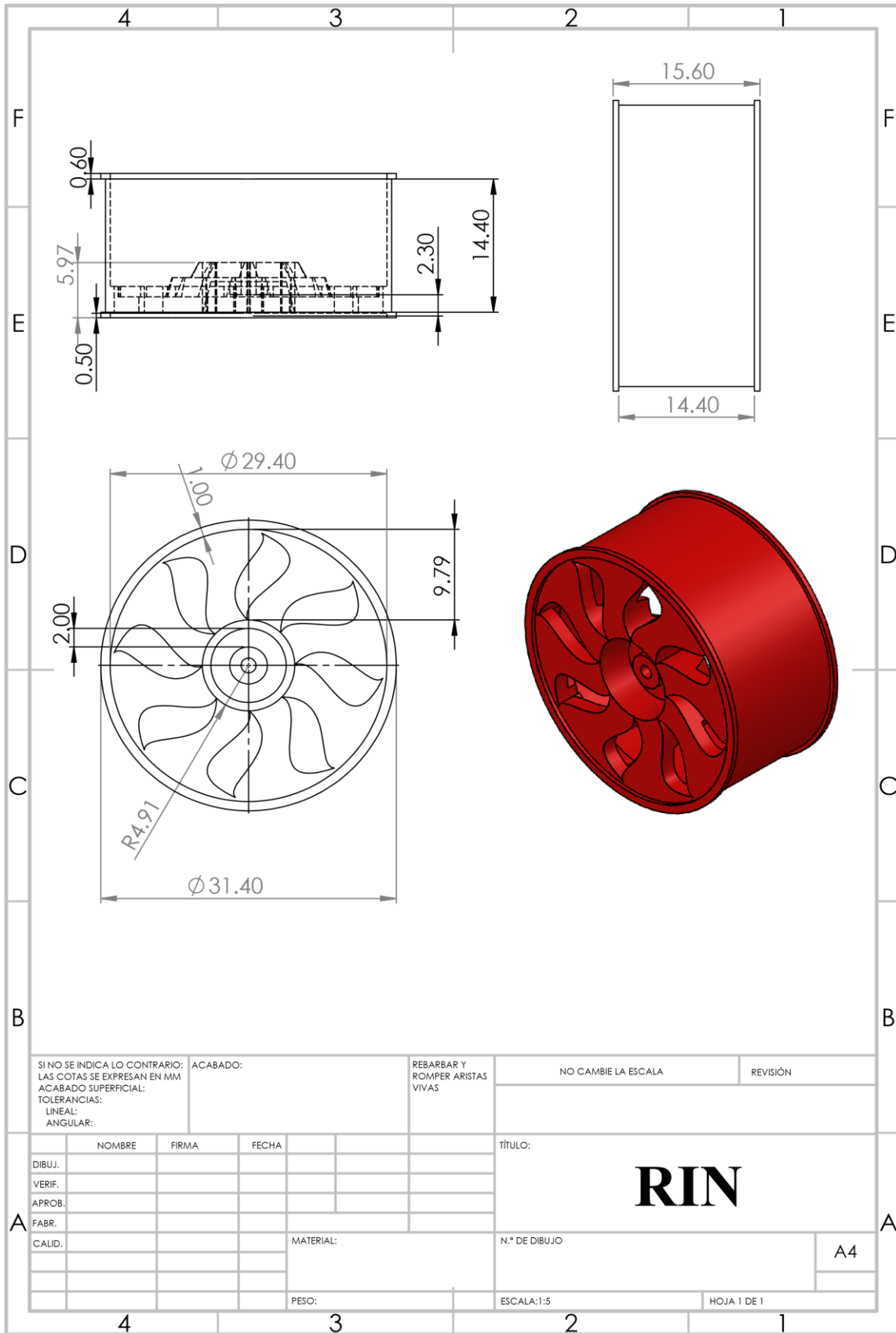


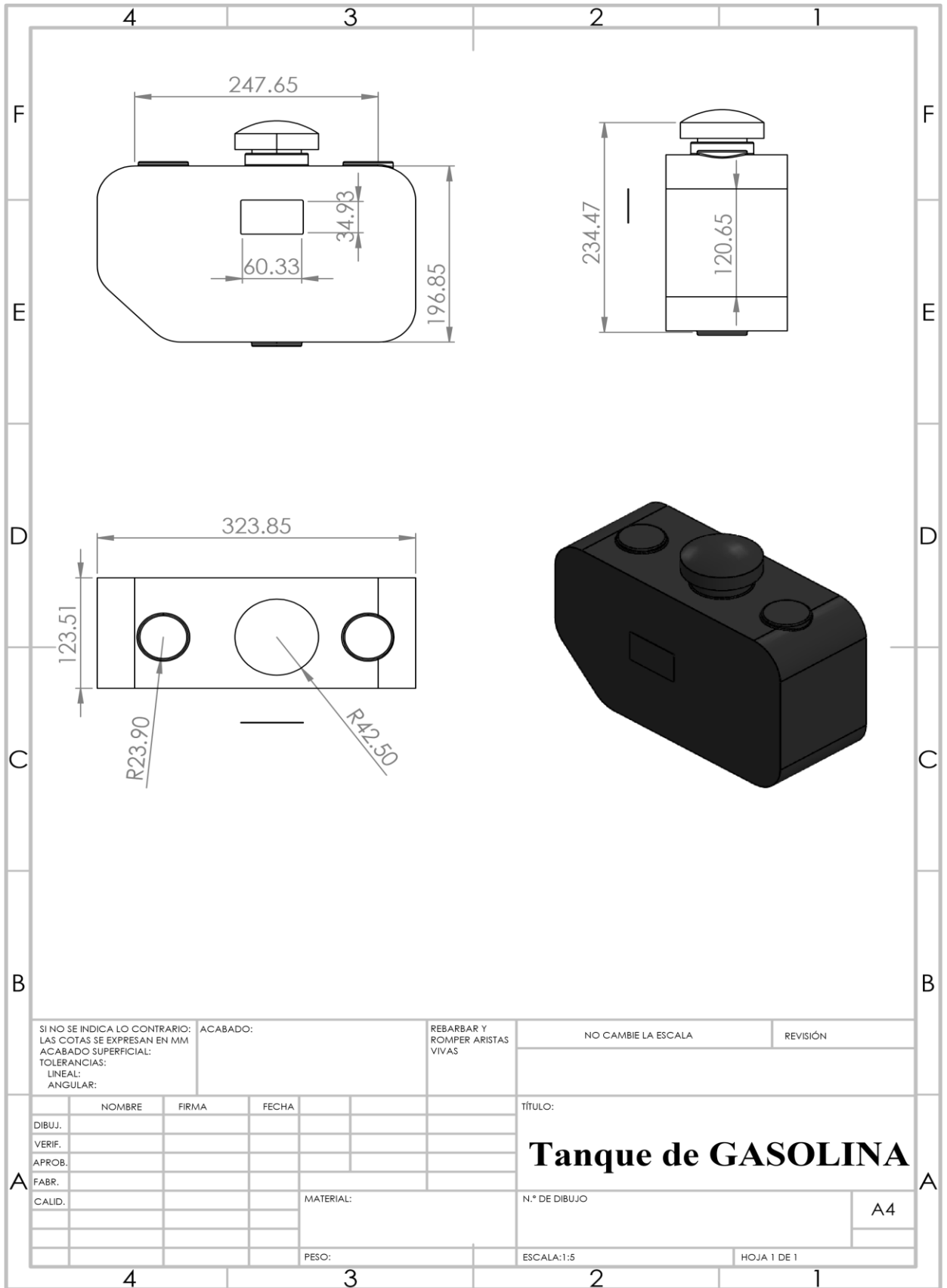


SINO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBE LA ESCALA	REVISIÓN
ACABADO SUPERFICIAL:						
TOLERANCIAS:						
LINEAL:						
ANGULAR:						
	NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:	
DIBUJ.					Tren de Potencia	
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CAUD.						
				MATERIAL:	Nº DE DIBUJO	Personal
				FEBO:	ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1

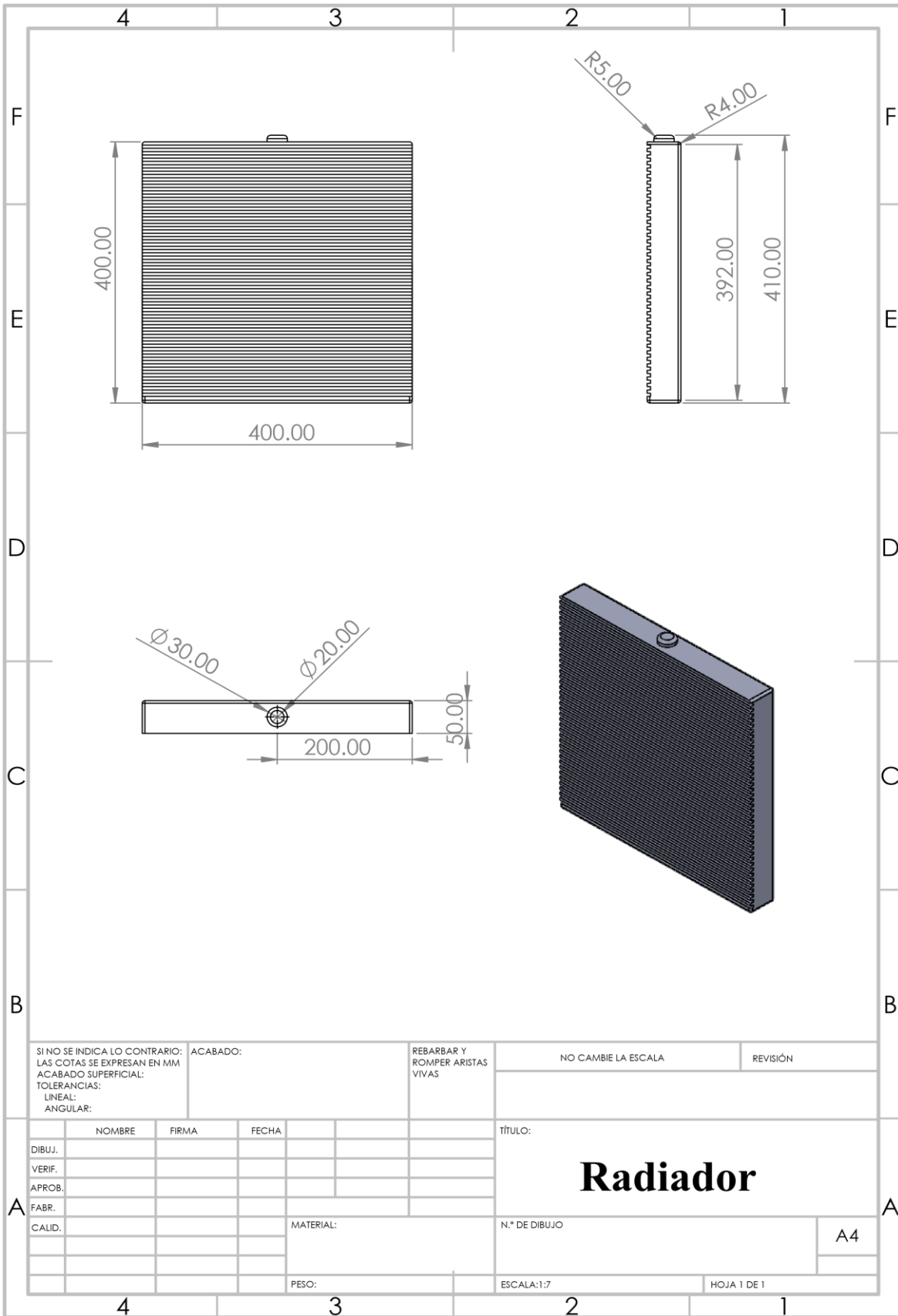




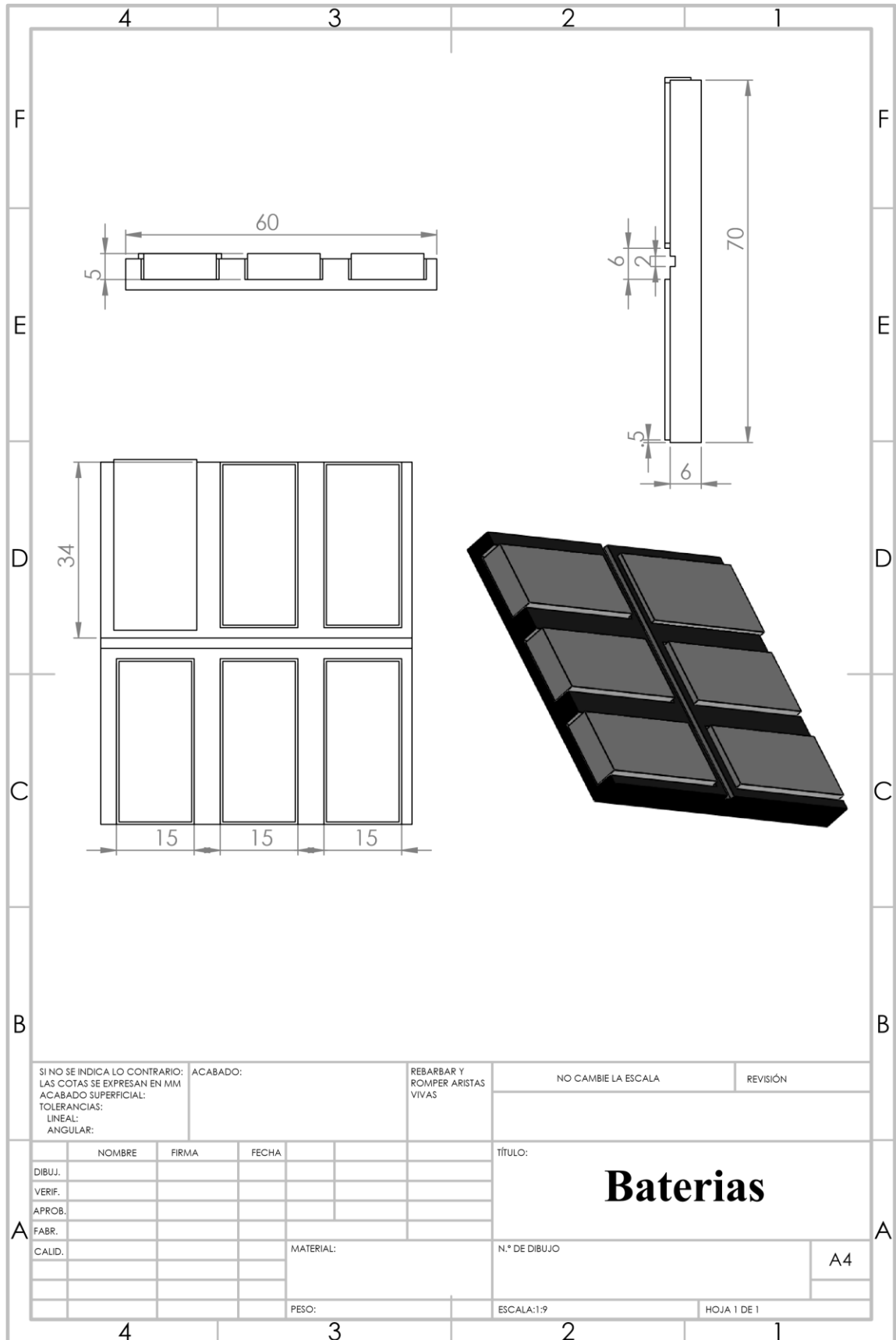




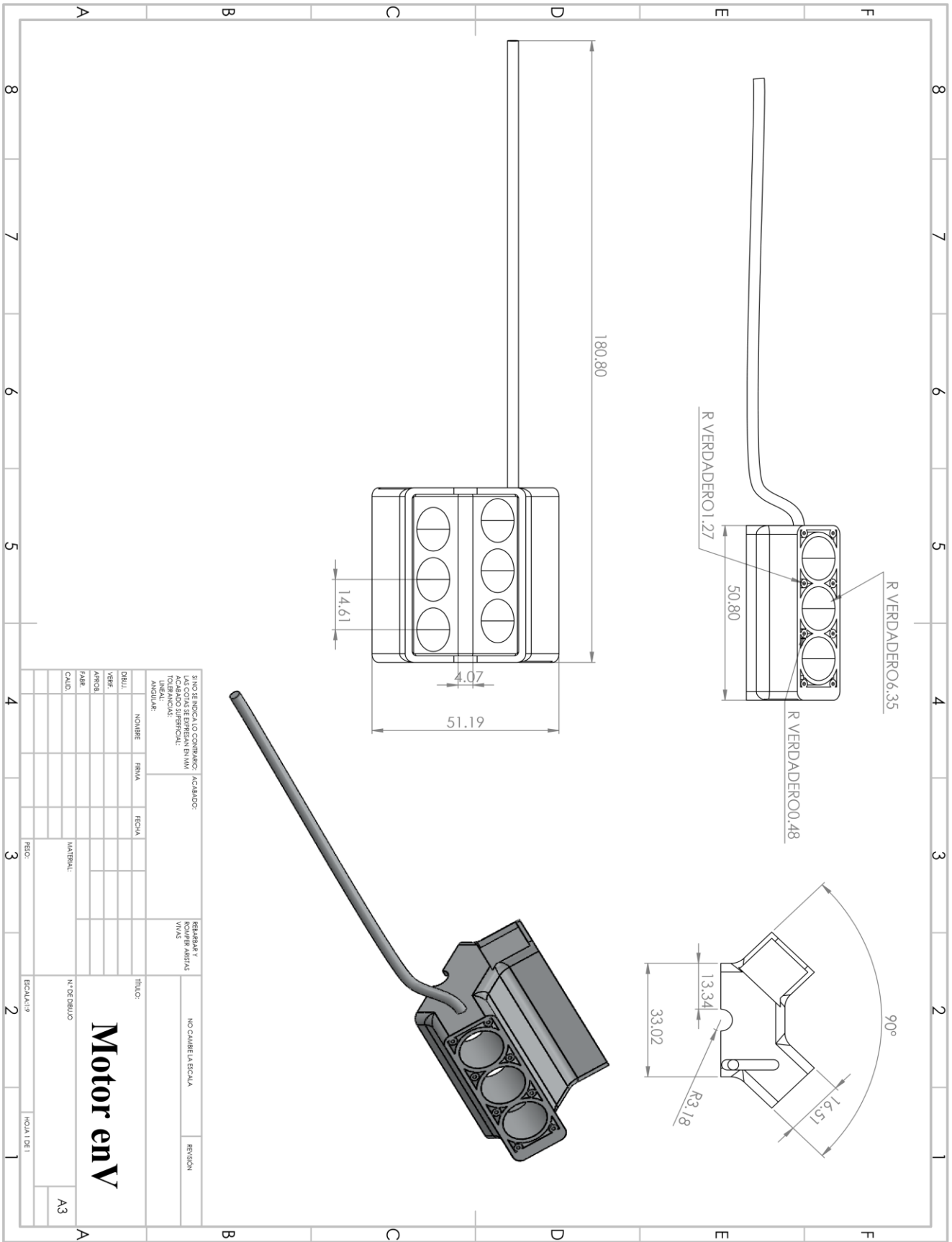
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
VERIF.						Tanque de GASOLINA			
APROB.									
FABR.						N.º DE DIBUJO		A4	
CALID.				MATERIAL:		ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1	
				PESO:					



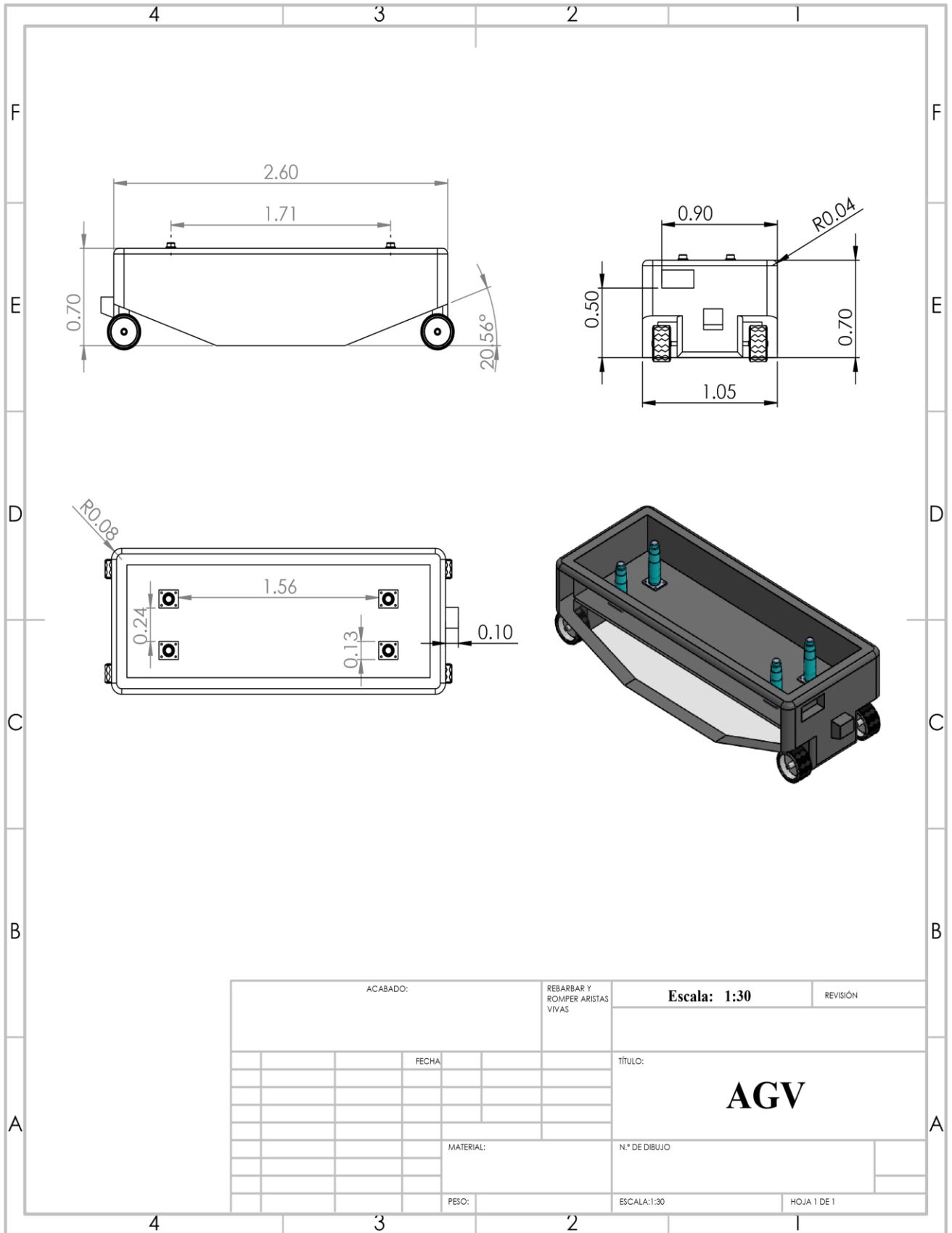
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
ACABADO SUPERFICIAL:									
TOLERANCIAS:									
LINEAL:									
ANGULAR:									
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.						Radiator			
VERIF.									
APROB.						N.º DE DIBUJO		A4	
FABR.									
CALID.				MATERIAL:					
				PESO:		ESCALA:1:7		HOJA 1 DE 1	

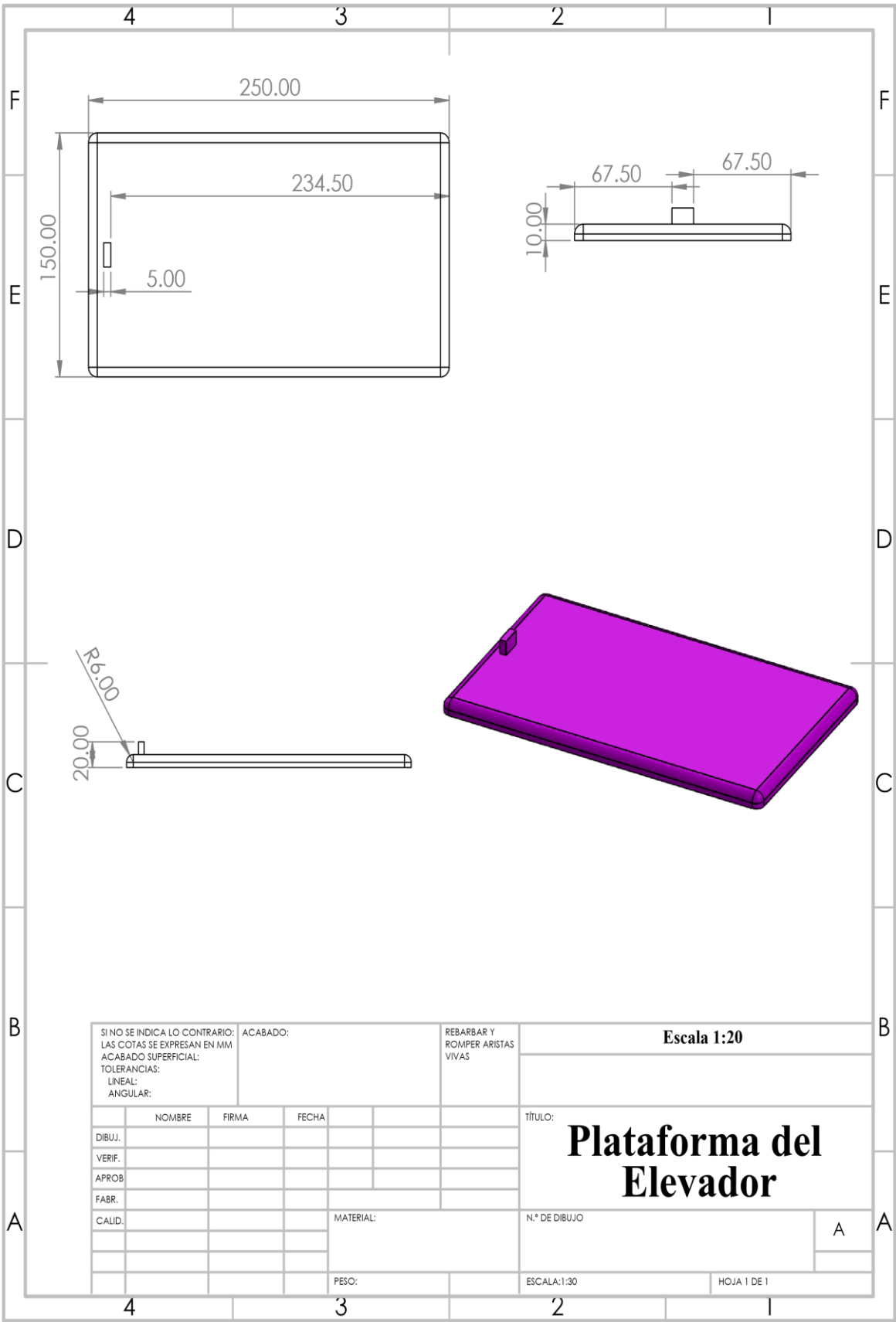


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO: <h1 style="text-align: center;">Baterias</h1>	
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	A4
			PESO:	ESCALA: 1:9	HOJA 1 DE 1

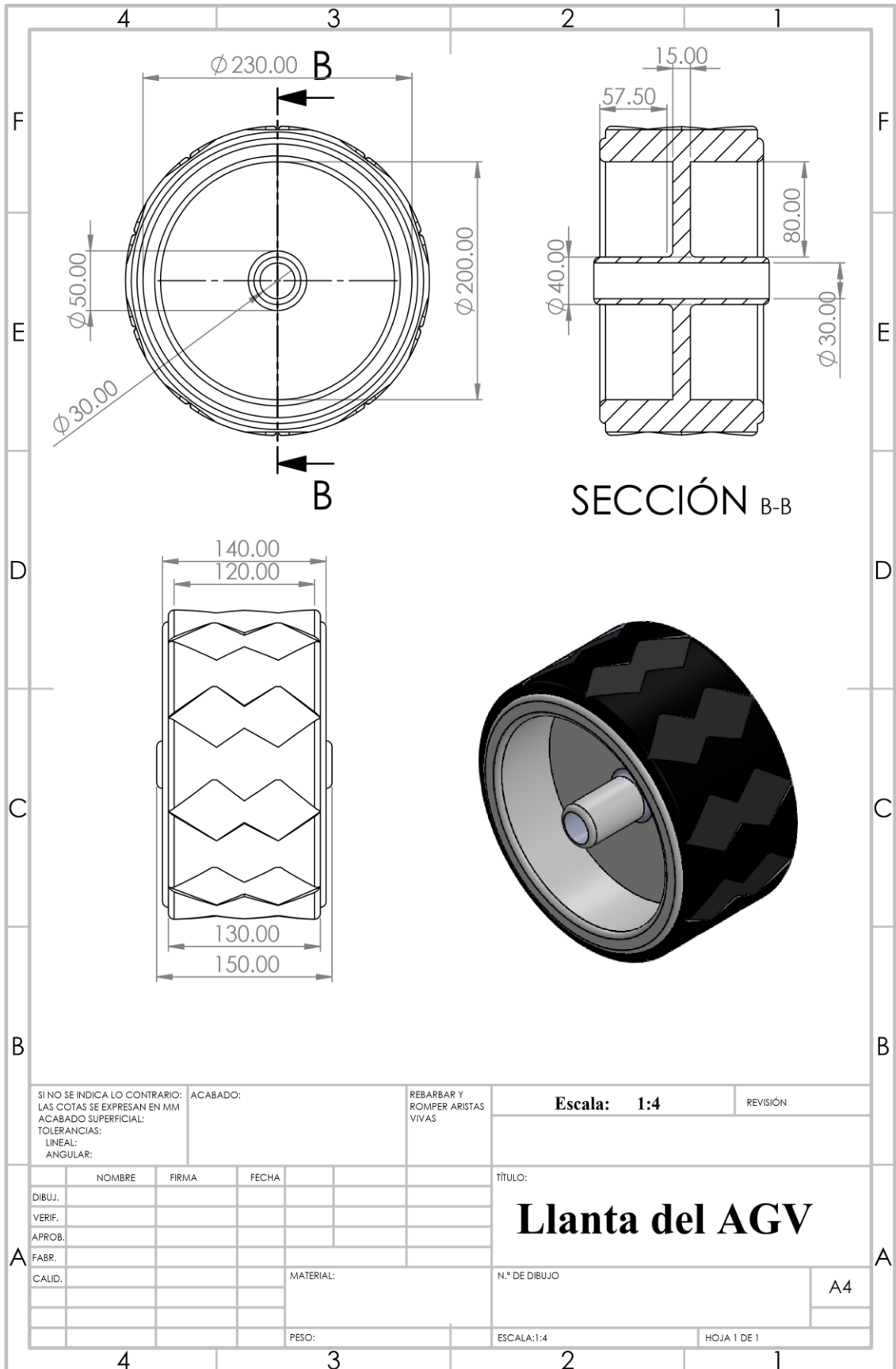


SINO SE INDICA LO CONTRARIO: ACABADO: LISO LAS COPES SE IMPRIMEN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		REVISAR Y COMPROBAREMOS VMS		NO CAMBIE LA ESCALA		ERRORES	
NO. DIBUJO	NO. REVISIÓN	FECHA	TÍTULO:	Motor en V			
VERB.	APROB.						
MATERIA:							
CAJAS:							
ESCALA: 1/9							
HORA: 1 DE 1			A3				





SIN O SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		Escala 1:20	
NOMBRE FIRMA FECHA		MATERIAL:		TÍTULO: Plataforma del Elevador		
DIBUJ. VERIF. APROB. FABR. CALID.		N.º DE DIBUJO				
		PESO:		ESCALA:1:30		
				HOJA 1 DE 1		



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

Escala: 1:4

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.			
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:

Llanta del AGV

N.º DE DIBUJO

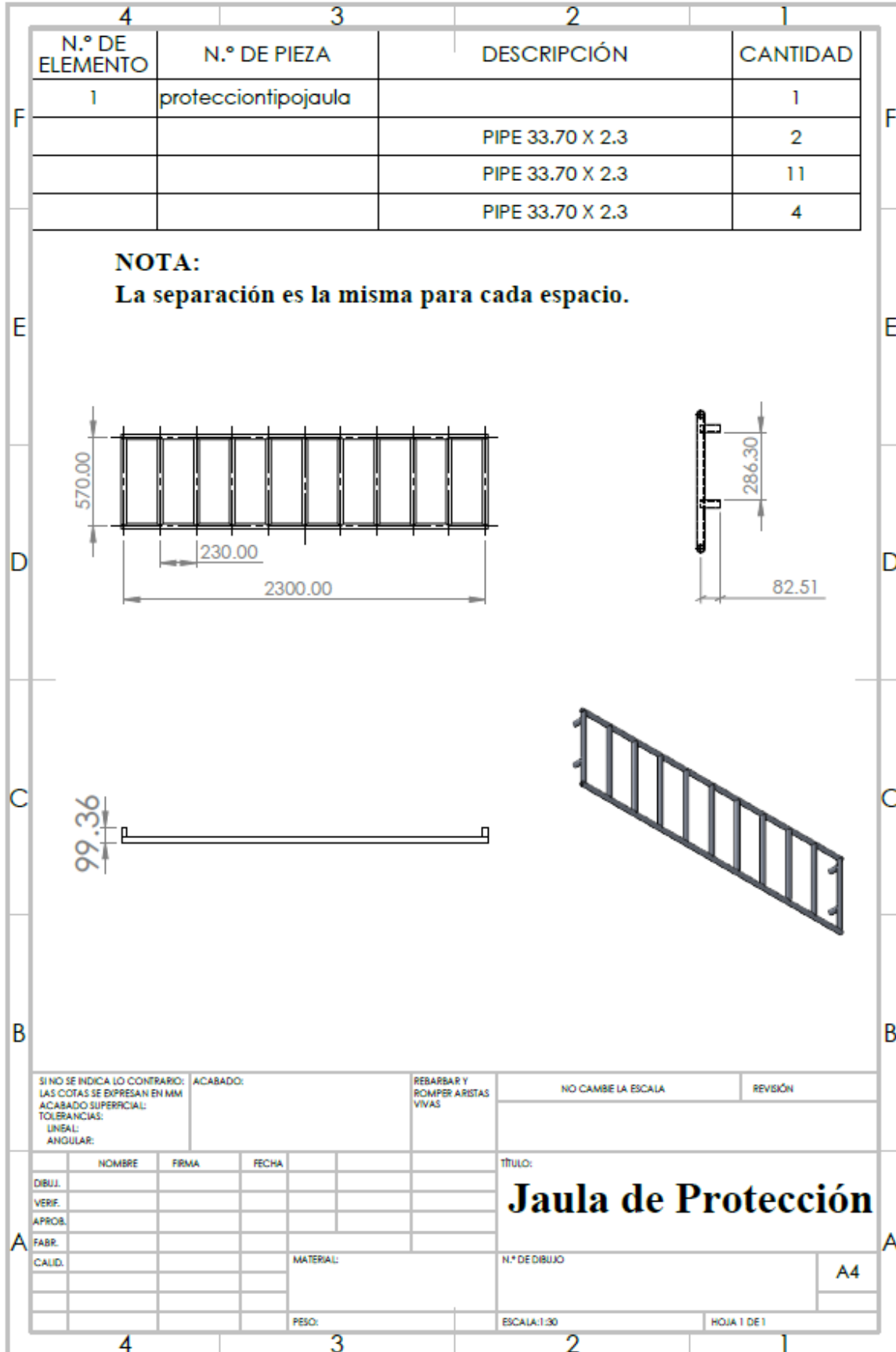
A4

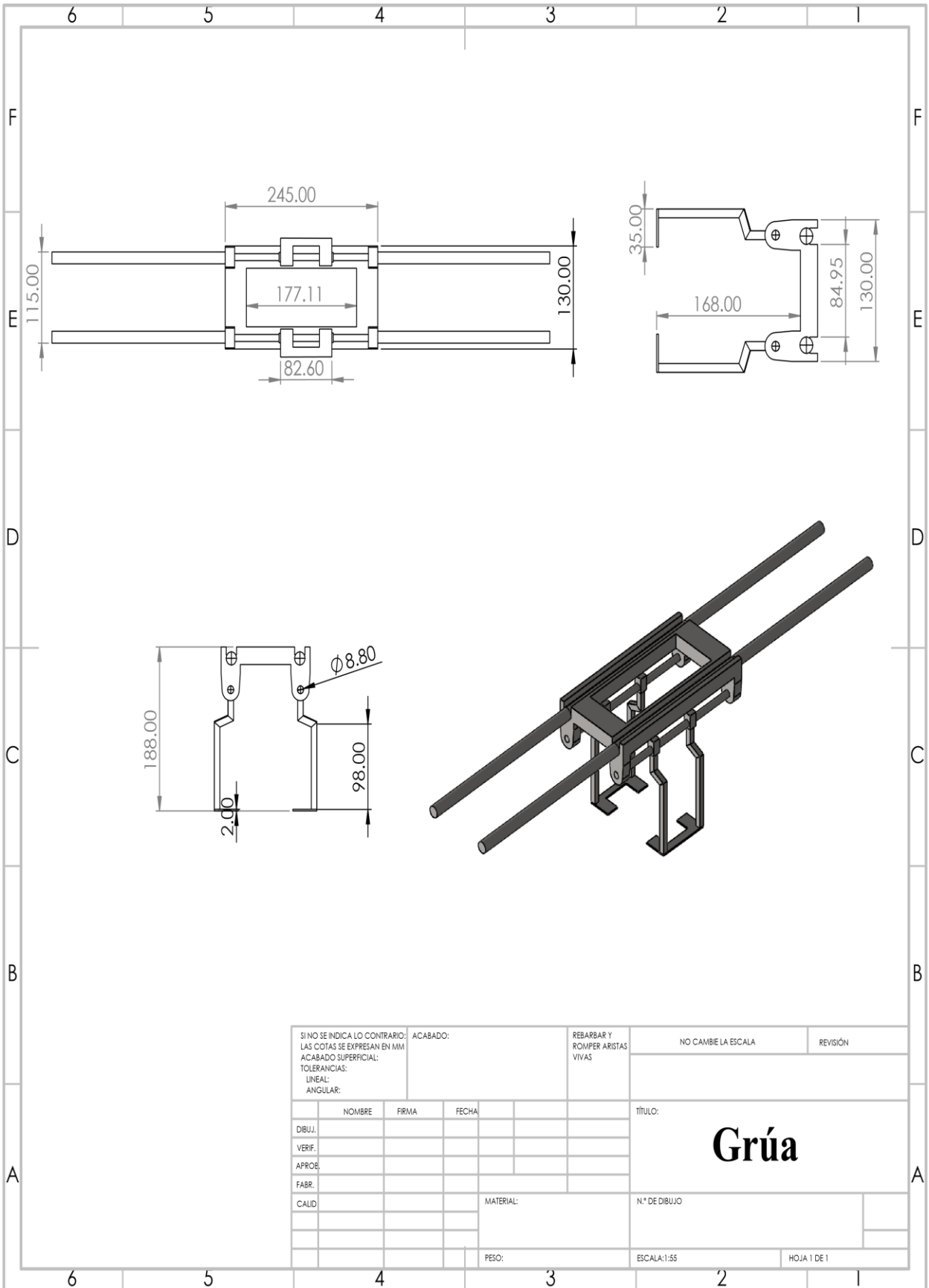
MATERIAL:

PESO:

ESCALA:1:4

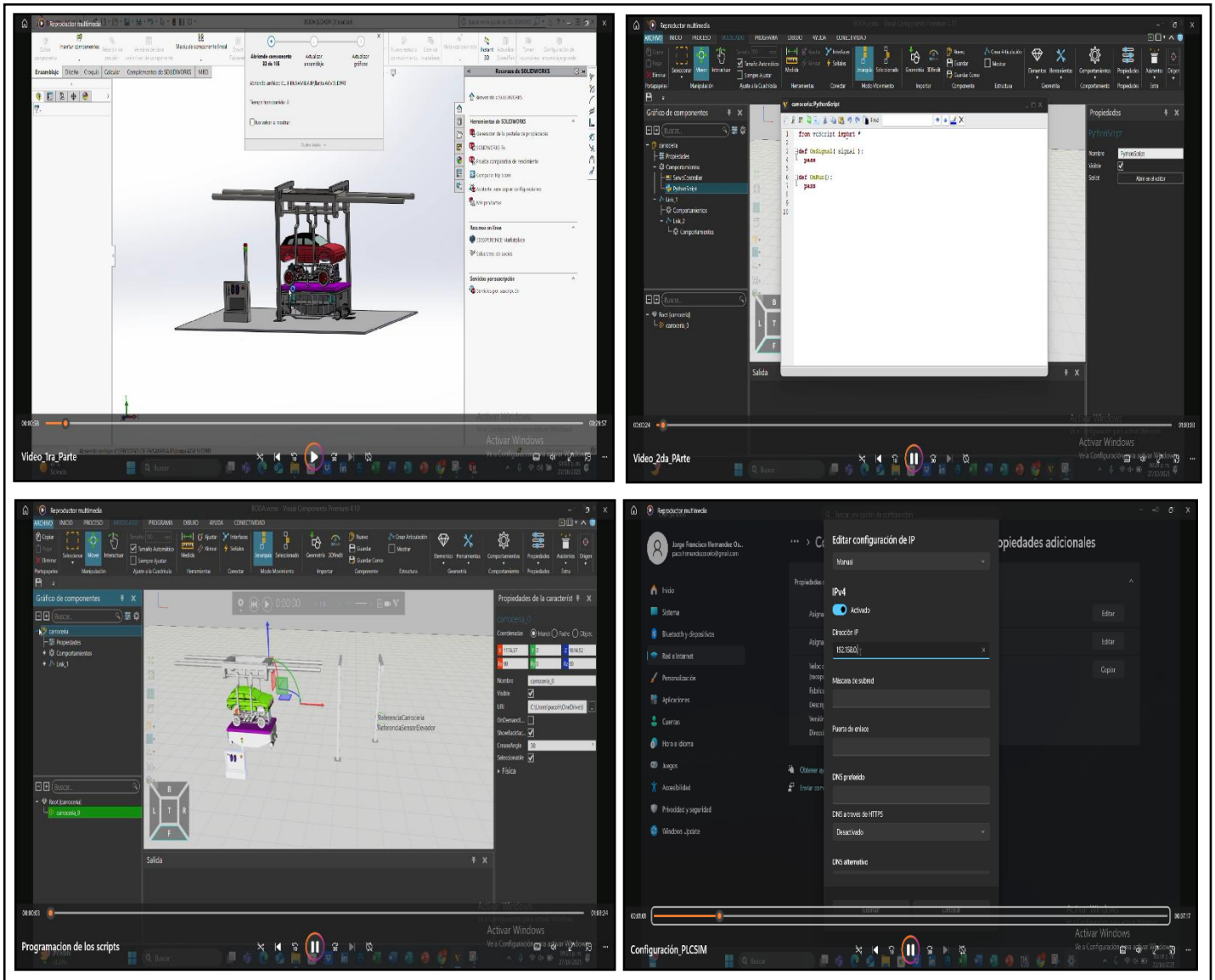
HOJA 1 DE 1





SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
					TÍTULO: Grúa						
					MATERIAL:		N.º DE DIBUJO				
					PESO:		ESCALA:1:55			HOJA 1 DE 1	
NOMBRE		FIRMA		FECHA							
DIBUJ.		VERIF.		APROB.							
FABR.		CALID									

Anexo E: Link de la Carpeta de Videos Tutoriales³.



Ingresar al Link que se encuentra al pie de página para poder acceder a los videos explicativos.

³ https://drive.google.com/drive/folders/1DAVMLxLn7qZOO1wLfpWJMwvNbtDWQRrm?usp=drive_link

Anexo F: Hojas de Datos de los sensores.

Hoja de datos de producto



WTB4-3N1361

W4

FOTOCÉLULAS MINIATURA

SICK
Sensor Intelligence.

WTB4-3N1361 | W4

FOTOCÉLULAS MINIATURA



Imagen aproximada



Información sobre pedidos

Tipo	N.º de artículo
WTB4-3N1361	1028101

Otros modelos del dispositivo y accesorios → www.sick.com/W4

Datos técnicos detallados

Características

Principio funcional	Fotocélula de detección sobre objeto
Detalle del principio de funcionamiento	Supresión de fondo
Alcance de detección máx.	4 mm ... 150 mm ¹⁾
Distancia de conmutación	15 mm ... 150 mm ¹⁾
Haz emitido	
Fuente de luz	LED de localización ²⁾
Tipo de luz	Luz roja visible
Tamaño del spot (distancia)	Ø 7 mm (50 mm)
Datos característicos del LED	
Longitud de onda	650 nm
Ajuste	Potenciómetro, 5 revoluciones
Aplicaciones especiales	Detección de objetos pequeños

¹⁾ Material con un 90% de reflexión difusa (referido al blanco estándar según DIN 5033).

²⁾ Vida útil media de 100.000 h con T_u = 25 °C.

Sistema eléctrico

Tensión de alimentación V_B	10 V DC ... 30 V DC ¹⁾
Ondulación	< 5 V_{Bz} ²⁾
Consumo de corriente	20 mA ³⁾
Clase de protección	III
Salida digital	
Tipo	NPN
Modo de conmutación	Conmutación en claro
Corriente de salida I_{max}	≤ 100 mA
Tiempo de respuesta	< 0,5 ms ⁴⁾
Frecuencia de conmutación	1.000 Hz ⁵⁾
Protección de circuito	A ⁶⁾ C ⁷⁾ D ⁸⁾

¹⁾ Valores límite.

²⁾ No se deben sobrepasar por exceso o por defecto las tolerancias de U_L .

³⁾ Sin carga.

⁴⁾ Duración de la señal con carga óhmica.

⁵⁾ Con una relación claro/oscuro de 1:1.

⁶⁾ A = Conexiones U_L protegidas contra polarización inversa.

⁷⁾ C = Supresión de impulsos parásitos.

⁸⁾ D = Salidas a prueba de sobrecorriente y cortocircuitos.

Sistema mecánico

Ejecución	Rectangular
Detalle de diseño	Flat
Dimensiones (An x Al x Pr)	16 mm x 39,5 mm x 12 mm
Conexión	Cable de 3 hilos, 2 m ¹⁾
Detalle de conexión	
Sección del conductor	0,14 mm ²
Diámetro del cable	Ø 3,4 mm
Longitud del cable (L)	2 m ¹⁾
Material	
Carcasa	Plástico, ABS
Pantalla frontal	Plástico, PMMA
Cable	Plástico, PVC
Peso	30 g

¹⁾ No deformar el cable por debajo de los 0 °C.

Datos de ambiente

Grado de protección	IP67 IP66
Operación a temperatura ambiente	-40 °C ... +60 °C
Temperatura ambiente de almacenamiento	-40 °C ... +75 °C
N.º de archivo UL	NRKH.E181493 & NRKH7.E181493

WTB4-3N1361 | W4

FOTOCÉLULAS MINIATURA

Clasificaciones

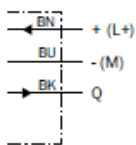
ECLASS 5.0	27270904
ECLASS 5.1.4	27270904
ECLASS 6.0	27270904
ECLASS 6.2	27270904
ECLASS 7.0	27270904
ECLASS 8.0	27270904
ECLASS 8.1	27270904
ECLASS 9.0	27270904
ECLASS 10.0	27270904
ECLASS 11.0	27270904
ECLASS 12.0	27270903
ETIM 5.0	EC002719
ETIM 6.0	EC002719
ETIM 7.0	EC002719
ETIM 8.0	EC002719
UNSPSC 16.0901	39121528

Tipo de conexión



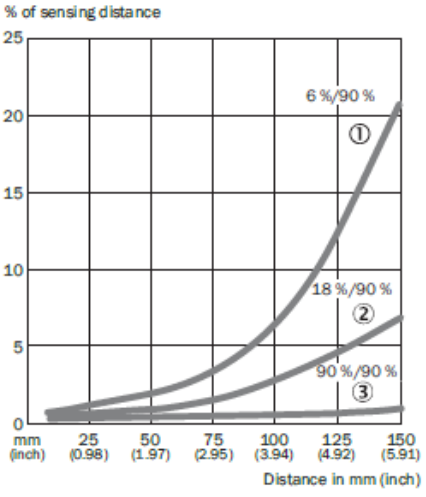
Esquema de conexión

Cd-043



Curva característica

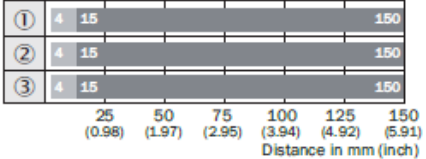
WTB4-3



- ① Distancia de conmutación sobre negro, 6 % de reflectividad
- ② Distancia de conmutación sobre gris, 18 % de reflectividad
- ③ Distancia de conmutación sobre blanco, 90 % de reflectividad

Diagrama del rango de sensibilidad

WTB4-3



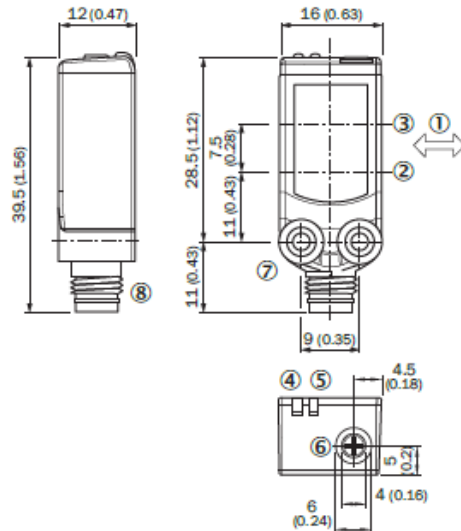
- Sensing range max.
- Sensing range
- ① Distancia de conmutación sobre negro, 6 % de reflectividad
- ② Distancia de conmutación sobre gris, 18 % de reflectividad
- ③ Distancia de conmutación sobre blanco, 90 % de reflectividad

WTB4-3N1361 | W4

FOTOCÉLULAS MINIATURA

Esquema de dimensiones (Medidas en mm)


WTx4-3, potenciómetro



- ① Sentido preferente del material
- ② Eje óptico, transmisor
- ③ Eje óptico, receptor
- ④ Indicador LED amarillo: estado de la recepción de luz
- ⑤ Indicador LED verde: tensión de alimentación activa
- ⑥ Potenciómetro
- ⑦ Rosca de fijación M3
- ⑧ Conexión

Accesorios recomendados

Otros modelos del dispositivo y accesorios → www.sick.com/W4

	Descripción breve	Tipo	N.º de artículo
Otros			
	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de conexión cabezal A: Conector macho, M8, 3 pines, recto. Con codificación A • Descripción: Sin apantallar • Método de conexión: Terminales atornillados • Sección de conductor permitida: 0,14 mm² ... 0,5 mm² 	STE-0803-G	6037322

LO MÁS DESTACADO DE SICK

SICK es uno de los fabricantes líderes de sensores y soluciones de sensores inteligentes para aplicaciones industriales. Nuestro exclusivo catálogo de productos y servicios constituye la base perfecta para el control seguro y eficaz de procesos, para la protección de personas y para la prevención de accidentes y de daños medioambientales.

Nuestra amplia experiencia multidisciplinar nos permite conocer sus necesidades y procesos para ofrecer a nuestros clientes exactamente la clase de sensores inteligentes que necesitan. Contamos con centros de aplicación en Europa, Asia y Norteamérica, donde probamos y optimizamos las soluciones de sistemas específicas del cliente. Todo ello nos convierte en el proveedor y socio en el desarrollo de confianza que somos.

SICK LifeTime Services, nuestra completa oferta de servicios, garantiza la asistencia durante toda la vida útil de su maquinaria para que obtenga la máxima seguridad y productividad.

Para nosotros, esto es "Sensor Intelligence".

CERCA DE USTED EN CUALQUIER LUGAR DEL MUNDO:

Encontrará información detallada sobre todas las sedes y personas de contacto en nuestra página web: → www.sick.com

Hoja técnica

Transmisión óptica de datos

Código: 50132935

DDLS 508 200.3 L H



Contenido

- Datos técnicos
- Dibujos acotados
- Conexión eléctrica
- Operación e Indicación
- Receptores apropiados
- Código de producto
- Notas
- Accesorios



Ethernet



Datos técnicos

Datos básicos

Serie	DDLS 508
-------	----------

Versión especial

Versión especial	Alineador láser integrado Calefacción Funcionamiento de ejes ópticos paralelos No hay interferencia a través de superficies reflectantes
------------------	---

Datos ópticos

Zona de trabajo	100 ... 200.000 mm
Fuente de luz	Láser
Frecuencia de transmisión	F3
Ángulo de apertura	1 °

Datos eléctricos

Datos de potencia	
Tensión de alimentación U_B	18 ... 30 V, CC
Entradas	
Número de entradas digitales	1 Unidad(es)
Salidas	
Número de salidas digitales	1 Unidad(es)

Interfaz

Tipo	PROFINET IRT
Protocolo de transmisión	EtherNET/IP PROFINET IO / RT PROFINET IRT PROFINET/PROFIsafe TCP/IP 100 Mbit
Tipo	EtherNet TCP/ IP, PROFINET, PROFIsafe over PROFINET
Ethernet	
Arquitectura	Transparente
Asignación de dirección	Ninguno
Velocidad de transmisión	100 Mbit/s
Función	Proceso
Funcionalidad switch	Ninguno
Protocolo de transmisión	TCP/IP, UDP
PROFINET	
Función	Proceso
Conformance Class	B
Funcionalidad switch	Ninguno
Velocidad de transmisión	100 Mbit/s

Conexión

Número de conexiones	2 Unidad(es)
----------------------	--------------

Conexión 1

Tipo de conexión	Conector redondo
Denominación en el equipo	POWER
Tamaño de rosca	M12
Tipo	Conector macho
Número de polos	5 polos
Codificación	Codificación A

Conexión 2

Tipo de conexión	Conector redondo
Denominación en el equipo	BUS
Tamaño de rosca	M12
Tipo	Conector hembra
Número de polos	4 polos
Codificación	Codificación D

Datos mecánicos

Dimensiones (An x Al x L)	100 mm x 156 mm x 99,5 mm
Material de carcasa	Metal
Peso neto	1.422 g

Operación e Indicación

Tipo de indicación	Gráfico de barras LED
--------------------	--------------------------

Datos ambientales

Temperatura ambiente en servicio	-35 ... 50 °C
Temperatura ambiente en almacén	-35 ... 70 °C

Certificaciones

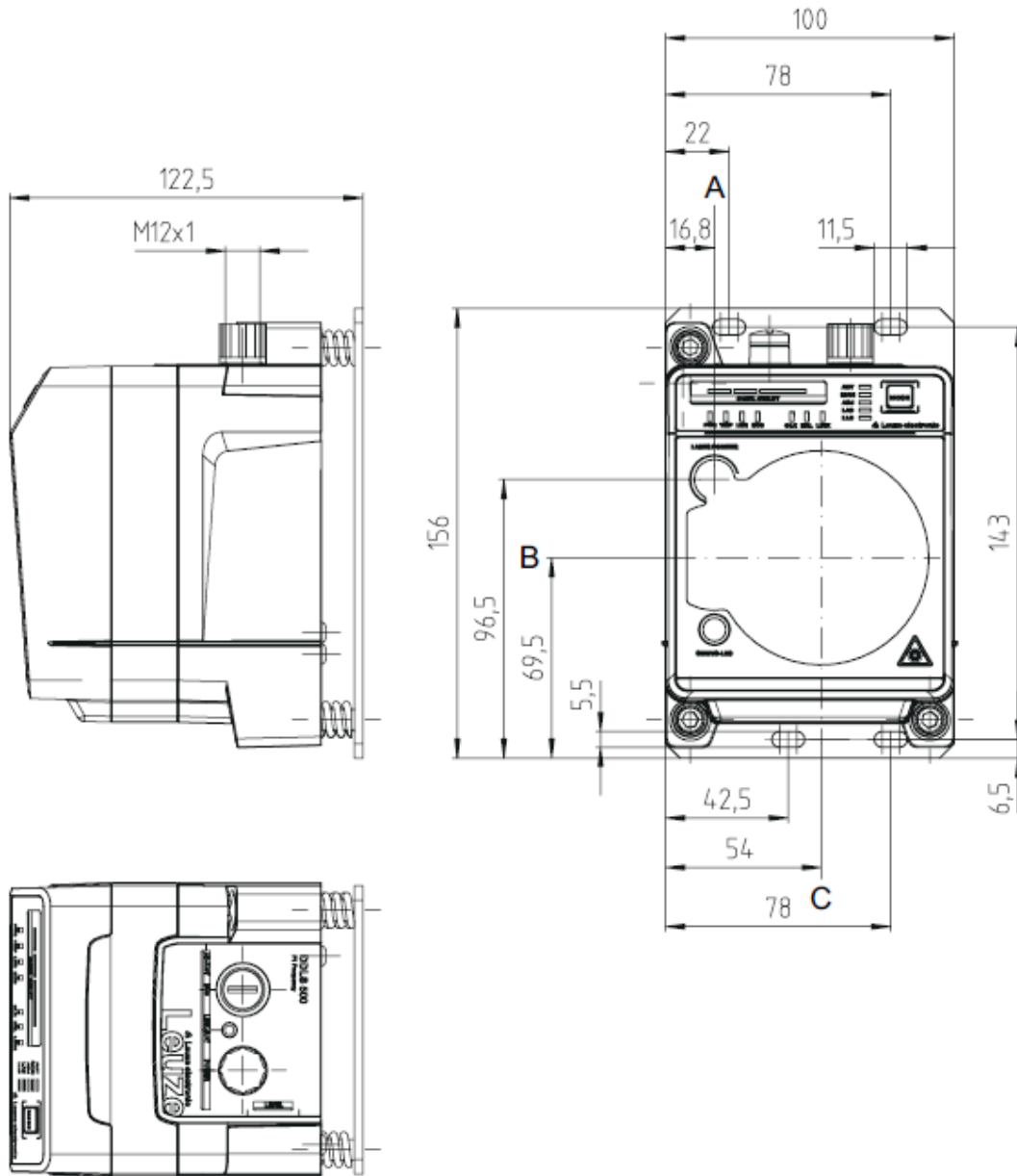
Índice de protección	IP 65
Certificaciones	c UL US
Método de prueba CEM según norma	EN 1000-6-4 EN 61000-6-2
Método de prueba ruido según norma	EN 60068-2-64
Método de prueba oscilación según norma	EN 60068-2-6
Método de prueba choque según norma	EN 60068-2-27

Clasificación

Número de arancel	84718000
ECLASS 5.1.4	19039001
ECLASS 8.0	19179090
ECLASS 9.0	19179090
ECLASS 10.0	19170506
ECLASS 11.0	19170506
ECLASS 12.0	19170506
ECLASS 13.0	19170506
ECLASS 14.0	19170506
ETIM 5.0	EC000515
ETIM 6.0	EC000515
ETIM 7.0	EC000515
ETIM 8.0	EC000515
ETIM 9.0	EC000515

Dibujos acotados

Todas las medidas en milímetros



- A Eje central del emisor y del láser de alineación
- B Eje central del emisor y del receptor
- C Eje central del receptor

Conexión eléctrica

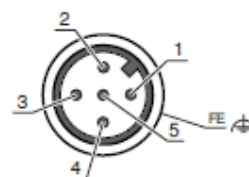
Conexión 1

POWER

Función	Alimentación de tensión Señal IN Señal OUT
Tipo de conexión	Conector redondo
Tamaño de rosca	M12
Tipo	Conector macho
Material	Metal
Número de polos	5 polos
Codificación	Codificación A

Pin Asignación de pines

1	VIN
2	IO1
3	GND
4	IO2
5	FE/SHIELD



Conexión 2

BUS

Función	BUS IN
Tipo de conexión	Conector redondo
Tamaño de rosca	M12
Tipo	Conector hembra
Material	Metal
Número de polos	4 polos
Codificación	Codificación D

Pin Asignación de pines

1	TD+
2	RD+
3	TD-
4	RD-




Operación e Indicación

LED	Display	Significado
1 AUT	Off	Modo de funcionamiento Inactivo
	Verde, luz continua	Modo de funcionamiento «Automático»
2 MAN	Off	Modo de funcionamiento Inactivo
	Verde, luz continua	Modo de funcionamiento «Manual»
3 ADJ	Off	Modo de funcionamiento Inactivo
	Verde, luz continua	Modo de funcionamiento «Alineación (Adjust)»
4 LAS	Off	Modo de funcionamiento Inactivo
	Verde, luz continua	Modo de funcionamiento «Láser de alineación: asistencia montaje»
5 LLC	Off	Modo de funcionamiento Inactivo
	Verde, luz continua	LLC sin interrupciones
	Rojo, luz continua	LLC interrumpido como mínimo una vez
6 PWR	Off	No hay tensión de alimentación
	Verde, parpadeante	Equipo correcto, fase de inicialización
	Verde, luz continua	Transmisión de datos activa
	Rojo, parpadeante	Transmisión de datos interrumpida
	Rojo, luz continua	Error del equipo
7 TMP	Off	Temperatura de trabajo OK
	Naranja, luz continua	Temperatura de trabajo crítica

Operación e Indicación

LED	Display	Significado
7 TMP	Rojo, luz continua	Temperatura de trabajo rebasada por encima o por debajo
8 LSR	Off	Con reserva de funcionamiento
	Naranja, luz continua	Equipo correcto, aviso activado
9 BUS	Off	No activo en la DDLS 508
10 OLK	Off	Perturbación
	Verde, luz continua	Sin transmisión de datos
	Naranja, luz continua	Transmisión de datos activa
11 ERL	Off	Enlace OK
	Naranja, luz continua	Enlace faltante (toma de cable Ethernet) en el segundo equipo
	Rojo, luz continua	No hay enlace conectado por cable con el equipo conectado
12 LINK	Off	No hay enlace conectado por cable con el equipo conectado
	Verde, luz continua	Enlace OK
	Naranja, luz continua	Transmisión de datos activa
13 SIGNAL QUALITY	2 rojos, 2 naranjas y 4 verdes	Nivel de recepción


Receptores apropiados

	Código	Denominación	Artículo	Descripción
	50132936	DDLS 508 200.4 L H	Transmisión óptica de datos	Versión especial: Calefacción, Alineador láser Integrado, Funcionamiento de ejes ópticos paralelos, No hay interferencia a través de superficies reflectantes Zona de trabajo: 100 ... 200.000 mm Frecuencia de transmisión: F4 Interfaz: Ethernet TCP/IP, PROFINET Conexión: Conector redondo, M12



Código de producto



Denominación del artículo: DDLS 5XXX YYY.Z A B CC



DDLS	Fotocélula de transmisión de datos digitales
5XXX	Serie 508: sin servidor web integrado para telediagnóstico 508: con servidor web integrado para telediagnóstico 538: sin servidor web integrado para telediagnóstico (EtherCAT) 548: con servidor web integrado para telediagnóstico
YYY	Alcance de la transmisión de datos en m
Z	Frecuencia del emisor 0: frecuencia F0 1: frecuencia F1 2: frecuencia F2 3: frecuencia F3 4: frecuencia F4
A	Opción L: alineador láser integrado (para emisor/receptor) No procede: estándar
B	Equipamiento especial H: con óptica calefactada No procede: ningún equipamiento especial
CC	Equipamiento especial W: óptica de transmisión con mayor ángulo de apertura (a consultar) No procede: ningún equipamiento especial


Nota	
	Encontrará una lista con todos los tipos de equipo disponibles en el sitio web de Leuze: www.leuze.com .

Notas

 ¡Atención al uso conforme!	
	<ul style="list-style-type: none"> ⌘ El producto no es un sensor de seguridad y no es apto para la protección de personas. ⌘ El producto solo lo pueden poner en marcha personas capacitadas. ⌘ Emplee el producto para el uso conforme definido.

 En aplicaciones UL:	
	<ul style="list-style-type: none"> ⌘ En aplicaciones UL está permitido el uso exclusivamente en circuitos de Class 2 según NEC (National Electric Code).

 ¡ATENCIÓN! RADIACIÓN LÁSER INVISIBLE – PRODUCTO LÁSER DE CLASE 1M	
	<p>¡No mirar directamente con ópticas telescópicas! El equipo cumple los requisitos conforme a la IEC 60825-1:2007 (EN 60825-1:2007) para un producto de láser de clase 1M y las disposiciones conforme a la U.S. 21 CFR 1040.10 con las divergencias correspondientes a la Laser Notice No. 50 del 24/06/2007.</p> <ul style="list-style-type: none"> ⌘ ¡No mirar directamente con ópticas telescópicas! El equipo cumple los requisitos conforme a la IEC 60825-1:2007 (EN 60825-1:2007) para un producto de láser de clase 1M y las disposiciones conforme a la U.S. 21 CFR 1040.10 con las divergencias correspondientes a la Laser Notice No. 50 del 24/06/2007. ⌘ Mirar prolongadamente la trayectoria del haz con una óptica telescópica puede lesionar la retina del ojo. No mire nunca al haz láser con una óptica telescópica ni en la dirección de los haces reflejados. ⌘ ATENCIÓN El empleo de equipos de operación o de ajuste diferentes o el proceder de una manera diferente a la descrita aquí, puede llevar a una peligrosa exposición de radiación. El empleo de Instrumentos o dispositivos ópticos (lupas, gemelos) con el equipo aumenta el peligro de lesiones oculares. ⌘ Observe las vigentes medidas de seguridad de láser locales. ⌘ No están permitidas las intervenciones ni las modificaciones en el equipo. El equipo no contiene ninguna pieza que el usuario deba ajustar o mantener. Cualquier reparación debe ser realizada exclusivamente por Leuze electronic GmbH + Co. KG.

 ¡ATENCIÓN! RADIACIÓN LÁSER – PRODUCTO LÁSER DE CLASE 1 (láser de alineación)	
	<p>El equipo cumple los requisitos conforme a la IEC 60825-1:2007 (EN 60825-1:2007) para un producto de láser de clase 1 y las disposiciones conforme a la U.S. 21 CFR 1040.10 con las divergencias correspondientes a la Laser Notice No. 50 del 24/06/2007.</p> <ul style="list-style-type: none"> ⌘ El equipo cumple los requisitos conforme a la IEC 60825-1:2007 (EN 60825-1:2007) para un producto de láser de clase 1 y las disposiciones conforme a la U.S. 21 CFR 1040.10 con las divergencias correspondientes a la Laser Notice No. 50 del 24/06/2007. ⌘ Observe las vigentes medidas de seguridad de láser locales. ⌘ No están permitidas las intervenciones ni las modificaciones en el equipo. El equipo no contiene ninguna pieza que el usuario deba ajustar o mantener. Cualquier reparación debe ser realizada exclusivamente por Leuze electronic GmbH + Co. KG.

Accesorios

Sistema de conexión - Cables de conexión

	Código	Denominación	Artículo	Descripción
	50132079	KD U-M12-5A-V1-050	Cable de conexión	Conexión 1: Conector redondo, M12, Axial, Conector hembra, Codificación A, 5 polos Conector redondo, LED: No Conexión 2: Final abierto Apantallado: No Longitud de cable: 5.000 mm Material de cubierta: PVC
	50135074	KS ET-M12-4A-P7-050	Cable de conexión	Apropiado para Interfaz: Ethernet Conexión 1: Conector redondo, M12, Axial, Conector macho, Codificación D, 4 polos Conector redondo, LED: No Conexión 2: Final abierto Apantallado: SI Longitud de cable: 5.000 mm Material de cubierta: PUR

Sistema de conexión - Cables de interconexión



	Código	Denominación	Artículo	Descripción
	50137078	KSS ET-M12-4A-M12-4A-P7-050	Cable de interconexión	Apropiado para Interfaz: Ethernet Conexión 1: Conector redondo, M12, Axial, Conector macho, Codificación D, 4 polos Conexión 2: Conector redondo, M12, Axial, Conector macho, Codificación D, 4 polos Apantallado: SI Longitud de cable: 5.000 mm Material de cubierta: PUR
	50135081	KSS ET-M12-4A-RJ45-A-P7-050	Cable de interconexión	Apropiado para Interfaz: Ethernet Conexión 1: Conector redondo, M12, Axial, Conector macho, Codificación D, 4 polos Conexión 2: RJ45 Apantallado: SI Longitud de cable: 5.000 mm Material de cubierta: PUR

Sistema de conexión - Conectores

	Código	Denominación	Artículo	Descripción
	50020501	KD 095-5A	Caja de conexiones	Conexión: Conector redondo, M12, Axial, Conector hembra, Codificación A, 5 polos
	50112155	S-M12A-ET	Conector	Apropiado para Interfaz: Ethernet Conexión: Conector redondo, M12, Axial, Conector macho, Codificación D, 4 polos

Accesorios

Servicios

	Código	Denominación	Artículo	Descripción
	S981001	CS10-S-110	Asistencia en la puesta en marcha	Detalles: Realización en un lugar deseado por el cliente, duración: máx. 10 horas. Condiciones: Los equipos y los cables de conexión ya están montados, precio sin incluir gastos de desplazamiento y, en su caso, de pernoctación.
	S981005	CS10-T-110	Formación de producto	Detalles: Lugar y contenidos tras acordarlo, duración: máx. 10 horas. Condiciones: Precio sin gastos de viaje y, en su caso, de pernoctación.

Nota



Encontrará una lista con todos los accesorios disponibles en el sitio web de Leuze, en la pestaña de Descargas de la página detallada del artículo.

Hoja técnica

Sensor inductivo

Código: 50114214

IS 244PP/44-40N-TB.4

Contenido

- Datos técnicos
- Dibujos acotados
- Conexión eléctrica
- Diagramas
- Operación e Indicación
- Código de producto
- Notas



La figura puede variar



Datos técnicos

Datos básicos

Serie	244
Límite tip. de alcance S_n	40 mm
Alcance efectivo S_e	0 ... 32,4 mm

Versión especial

Versión especial	Antivalente
------------------	-------------

Parámetros

MTTF	1.230 Años
------	------------

Datos eléctricos

Circuito de protección	Protección contra cortocircuito
	Protección contra inducción
	Protección contra polarización inversa

Datos de potencia

Tensión de alimentación U_B	10 ... 30 V, CC
Ondulación residual	0 ... 20 %, De U_B
Corriente en vacío	0 ... 20 mA
Histeréssis de conmutación	5 %

Salidas

Número de salidas digitales	2 Unidad(es)
-----------------------------	--------------

Salidas

Tipo de tensión	CC
Corriente de conmutación, máx.	200 mA
Corriente residual, máx.	0,5 mA
Caída de tensión	≤ 2 V

Salida 1

Elemento de conmutación	Transistor, PNP
Principio de conmutación	Contacto NA – Antivalente

Salida 2

Elemento de conmutación	Transistor, PNP
Principio de conmutación	Contacto NC – Antivalente

Respuesta temporal

Frecuencia de conmutación	180 Hz
Tiempo de inicialización	80 ms

Conexión

Número de conexiones	1 Unidad(es)
----------------------	--------------

Conexión 1

Función	Alimentación de tensión
	Señal OUT
Tipo de conexión	Borne
Número de polos	4 polos

Datos mecánicos

Diseño	Cúbico
Dimensiones (An x Al x L)	40 mm x 40 mm x 118 mm
Tipo de montaje	No enrasado
Materiales de carcasa	Plástico
Carcasa de plástico	PA 66
Materiales, superficie activa	Plástico, Poliamida (PA 66)
Peso neto	225 g
Color de carcasa	Negro
Tipo de fijación	Fijación pasante
Placa de med. norm.	120 x 120 mm ² , Fe360

Operación e Indicación

Tipo de indicación	LED
Número de LED	4 Unidad(es)

Datos ambientales

Temperatura ambiente en servicio	-25 ... 85 °C
Temperatura ambiente en almacén	-25 ... 85 °C

Certificaciones

Índice de protección	IP 68
	IP 69K
Clase de seguridad	II
Certificaciones	c UL US
Sistema de normas vigentes	IEC 60947-5-2

Factores de corrección

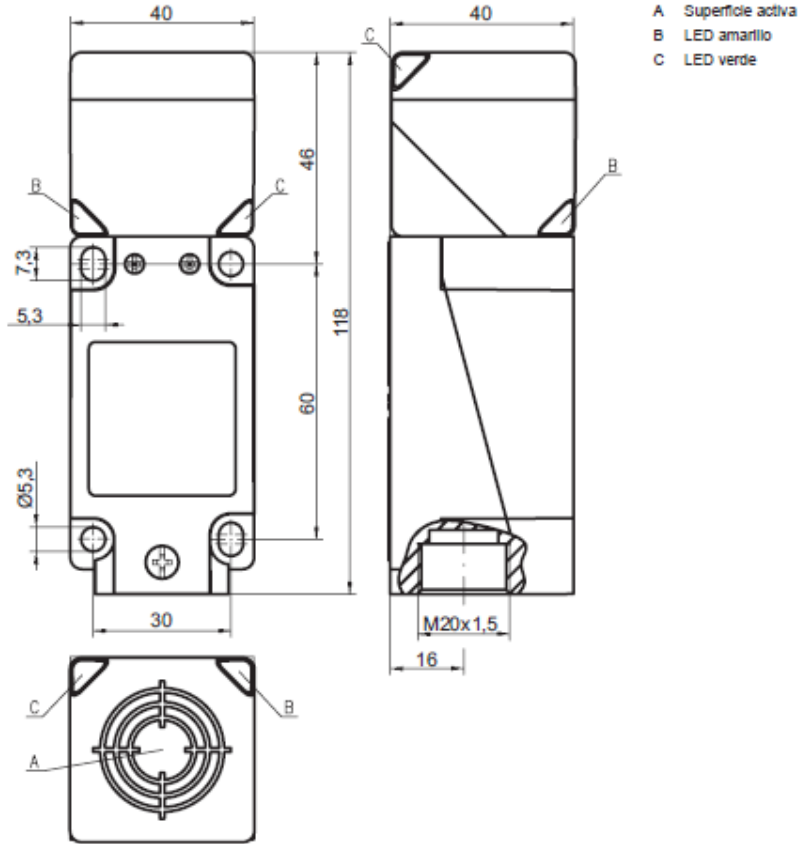
Aluminio	0,31
Acero inoxidable	0,74
Cobre	0,3
Latón	0,39

Clasificación

Número de arancel	85365019
ECLASS 5.1.4	27270101
ECLASS 8.0	27270101
ECLASS 9.0	27270101
ECLASS 10.0	27270101
ECLASS 11.0	27270101
ECLASS 12.0	27274001
ECLASS 13.0	27274001
ECLASS 14.0	27274001
ETIM 5.0	EC002714
ETIM 6.0	EC002714
ETIM 7.0	EC002714
ETIM 8.0	EC002714
ETIM 9.0	EC002714

Dibujos acotados

Todas las medidas en milímetros



Conexión eléctrica

Conexión 1

Función	Alimentación de tensión
Tipo de conexión	Señal OUT
Número de polos	Borne
	4 polos

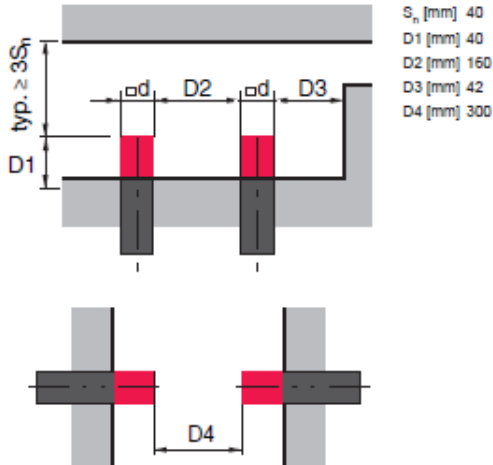
Borne

Asignación

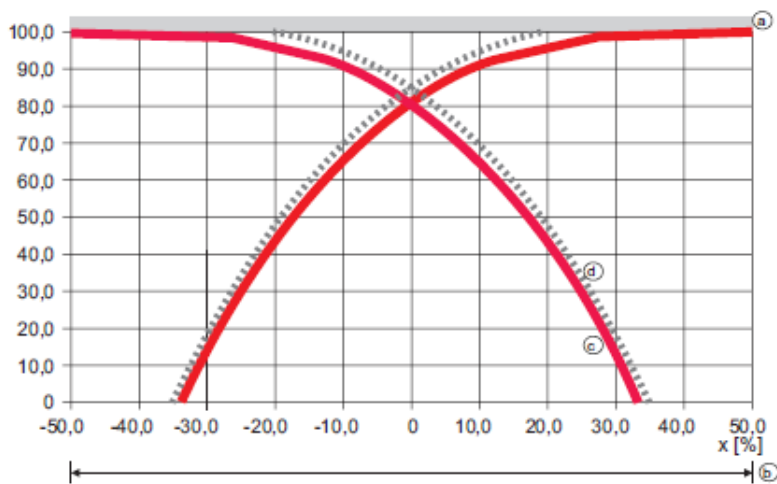
1	V+
2	OUT 2
3	GND
4	OUT 1

Diagramas

Montaje no rasante



Curva de aproximación típica



- a Placa de med. norm.
- b Diámetro de la superficie activa
- c Punto de conmutación
- d Histéresis

Operación e Indicación

LED	Display	Significado
1	Amarillo, luz continua	Salida/estado de conmutación
2	Verde, luz continua	Disponibilidad
3	Amarillo, luz continua	Salida/estado de conmutación
4	Verde, luz continua	Disponibilidad

Código de producto

Denominación del artículo: ISX YYY ZZ/AAA.BB-CCC-DDD-DDD





ISX	Principio de funcionamiento / diseño IS: sensor inductivo, diseño estándar ISS: sensor inductivo, versión corta
YYY	Serie 203: serie con Ø 3 mm 204: serie con Ø 4 mm 205: serie con rosca externa M5 x 0,5 206: serie con Ø 6,5 mm 208: serie con rosca externa M8 x 1 212: serie con rosca externa M12 x 1 218: serie con rosca externa M18 x 1 230: serie con rosca externa M30 x 1,5 240: serie con diseño cúbico 244: serie con diseño cúbico 255: serie con sección 5 x 5 mm ² 288: serie con sección 8 x 8 mm ²
ZZ	Carcasa / rosca MM: carcasa de metal (superficie activa: plástico) / rosca métrica FM: carcasa completamente de metal (superficie activa: acero inoxidable AISI 316L) / rosca métrica MP: carcasa de metal (superficie activa: plástico) / lisa (sin rosca)
AAA	Corriente de salida / alimentación 4NO: transistor PNP, contacto de cierre (NO) 4NC: transistor PNP, contacto de apertura (NC) 2NO: transistor NPN, contacto de cierre (NO) 2NC: transistor NPN, contacto de apertura (NC) 1NO: relé, contacto NA / CA/CC 1NC: relé, contacto NC / CA/CC 44: 2 salidas de transistor PNP, antivalentes (NO+NC) 22: 2 salidas de transistor NPN, antivalentes (NO+NC)
BB	Equipamiento especial No procede: ningún equipamiento especial 5F: versión para la industria alimentaria 5: material de la carcasa: V2A (1.4305, AISI 303)
CCC	Rango de medición / Tipo de montaje 1ED: típico alcance de detección límite 1,0 mm / puede montarse enrasado 1E5: típico alcance de detección límite 1,5 mm / puede montarse enrasado 2ED: típico alcance de detección límite 2,0 mm / puede montarse enrasado 3ED: típico alcance de detección límite 3,0 mm / puede montarse enrasado 4ED: típico alcance de detección límite 4,0 mm / puede montarse enrasado 5ED: típico alcance de detección límite 5,0 mm / puede montarse enrasado 6ED: típico alcance de detección límite 6,0 mm / puede montarse enrasado 8ED: típico alcance de detección límite 8,0 mm / puede montarse enrasado 10E: típico alcance de detección límite 10,0 mm / puede montarse enrasado 12E: típico alcance de detección límite 12,0 mm / puede montarse enrasado 15E: típico alcance de detección límite 15,0 mm / puede montarse enrasado 20E: típico alcance de detección límite 20,0 mm / puede montarse enrasado 22E: típico alcance de detección límite 22,0 mm / puede montarse enrasado 2N5: típico alcance de detección límite 2,5 mm / no puede montarse enrasado 4N0: típico alcance de detección límite 4,0 mm / no puede montarse enrasado 8N0: típico alcance de detección límite 8,0 mm / no puede montarse enrasado 10N: típico alcance de detección límite 10,0 mm / no puede montarse enrasado 12N: típico alcance de detección límite 12,0 mm / no puede montarse enrasado 14N: típico alcance de detección límite 14,0 mm / no puede montarse enrasado 15N: típico alcance de detección límite 15,0 mm / no puede montarse enrasado 20N: típico alcance de detección límite 20,0 mm / no puede montarse enrasado 22N: típico alcance de detección límite 22,0 mm / no puede montarse enrasado 25N: típico alcance de detección límite 25,0 mm / no puede montarse enrasado 40N: típico alcance de detección límite 40,0 mm / no puede montarse enrasado
DDD	Conexión eléctrica No procede: cable, longitud estándar 2000 mm S12: conector M12, de 4 polos, axial 200-S12: cable, longitud 200 mm con conector M12, de 4 polos, axial 200-S8.3: cable, longitud 200 mm con conector M8, de 3 polos, axial S8.3: conector M8, de 3 polos, axial 005-S8.3: cable, longitud 500 mm con conector M8, de 3 polos, axial 050: cable, longitud estándar 5000 mm, 3 conductores

Nota



Encontrará una lista con todos los tipos de equipo disponibles en el sitio web de Leuze: www.leuze.com.

Notas

 ¡Atención al uso conforme!	
	<ul style="list-style-type: none">⚠ El producto no es un sensor de seguridad y no es apto para la protección de personas.⚠ El producto solo lo pueden poner en marcha personas capacitadas.⚠ Emplee el producto para el uso conforme definido.
 En aplicaciones UL:	
	<ul style="list-style-type: none">⚠ En aplicaciones UL está permitido el uso exclusivamente en circuitos de Class 2 según NEC (National Electric Code).