

Creatividad e Innovación Industrial a Cargo de Estudiantes de 4^{to} Año.

Nicolás J. Hendrichs, University of the Incarnate Word, njhendri@uiwtx.edu

Eduardo Gaytán, SISAMEX, eduardo.gaytan@sisamex.com.mx

Joshua Castellanos, University of the Incarnate Word, jacastel@student.uiwtx.edu

Hector Trevino III, University of the Incarnate Word, hetrevin@student.uiwtx.edu

Nathan Vasquez, University of the Incarnate Word, navasqu2@student.uiwtx.edu

RESUMEN

SISAMEX, empresa mexicana del sector de autopartes, tiene ya una larga tradición de ser socio formador de estudiantes con diversas universidades. El proyecto de Mejora de Pinza de Robot #3 de la celda de Formado en Tibio Schuler en SISAMEX tuvo como objetivo rediseñar una pinza robótica que se utiliza en el proceso de fabricación, abordando problemas de seguridad e ineficiencias operativas. Por supuesto que el grupo de ingeniería de la empresa inició trabajos de rediseño de la pinza del robot proponiendo cambios de geometría y de materiales; pero siempre conscientes de las limitaciones de peso del robot. Sin embargo, en paralelo buscó a un grupo estudiantil capaz proponer diferentes formas de mejora. En este caso, el equipo, compuesto por dos estudiantes de ingeniería mecánica y un estudiante de ingeniería mecatrónica, guiados por un profesor de ingeniería mecánica, aprovechó sus capacidades teóricas y creativas para proponer un diseño de un dispositivo esencialmente diferente a la pinza actual, más sencillo, ligero y confiable. El concepto presentado se encuentra en etapa de prototipado en SISAMEX.

PALABRAS CLAVES: Vinculación universidad-empresa, metodología de diseño, creatividad e innovación.

INTRODUCCIÓN

El acompañamiento, como socio formador (Treviño, 2021), requiere de personas en la industria comprometidas con el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes. El apoyo de la empresa al equipo de estudiantes incluye, entre otros, un objetivo y alcances claros y adecuadamente delimitados a las capacidades de los estudiantes, acceso a las instalaciones de la fábrica (en este caso por medio de videoconferencias), fotografías y videos de la operación, dibujos digitales disponibles, especificaciones de equipo y máquinas, procedimientos de operación, y sobre todo disponibilidad para reuniones, atender dudas y revisar avances.

En este modelo de vinculación universidad-empresa el papel de la persona asesora del equipo de estudiantes también es fundamental (Tecnológico de Monterrey, 2024). En primera instancia, es vital que se asegure una descripción del objetivo y los alcances del proyecto (*design brief*) completa y explícita, pero que no guíe a los estudiantes en la dirección de una solución esperada. En este caso, la descripción del proyecto especificaba las acciones de movimiento de producto requeridas, las limitaciones dimensionales y de peso, así como las condiciones de trabajo. El documento de este caso ni siquiera hablaba de la necesidad de componentes específicos para que el sistema pudiera desarrollar su función.

Además, la persona responsable de guiar a los estudiantes debe proporcionar elementos metodológicos que permitan al equipo abordar la problemática sin sesgos ni prejuicios. Finalmente, la asesoría debe guiar al equipo en los procesos de escritura de reportes técnicos.

Dos elementos operativos fundamentales para el exitoso desarrollo de estas colaboraciones son: los medios de comunicación, y el proceso de selección de proyectos. La comunicación debe ser abierta y directa entre el socio formador, el asesor del equipo y los estudiantes. La comunicación debe ser prioridad. En estos tiempos es sencillo generar un grupo privado dentro de alguno de los sistemas de redes sociales de acceso libre.

La selección de proyectos adecuados para esta vinculación universidad-empresa requiere de claridad en los objetivos, alcances bien definidos y una problemática que siendo retadora para los estudiantes, está a su alcance y pueda ser desarrollada en el tiempo académico disponible. En ocasiones será necesario utilizar escenarios simplificados de tal forma que el conocimiento y habilidades requeridas para enfrentar el proyecto se ubique dentro de los alcances del programa académico al que pertenecen los participantes. Además, los alcances deberán ser delimitados para el equipo de estudiantes tenga una oportunidad realista de lograrlos.

DESARROLLO

La nueva celda Schuler en SISAMEX utiliza un proceso de formado en tibio de dos etapas para fabricar fundas de eje trasero para transporte pesado. La celda es totalmente automatizada y comprende un primer robot que alimenta *blanks*^a cortados con plasma a un horno continuo, un segundo robot que lleva los *blanks* calientes (750° ~ 850° C) desde la salida del horno a la primera etapa de formado; y un tercer robot que mueve las piezas preformadas a la segunda etapa de formado, luego la mueve a una estación de giro y finalmente la deposita en una estantería de transporte. La línea produce tres números de parte diferentes que pesan de 30 a 50 kg a un ritmo de producción de aproximadamente 120 piezas por hora.

La Figura 1 muestra la solución de pinza actual para el robot #3. Éste es un sistema compuesto por un bastidor que soporta un travesaño al que se unen dos pinzas neumáticas. Se observan en la Figura 1 los elementos verdes en forma de “dedos” directamente en contacto con la pieza. En la Figura 2 se muestra en primer plano de la acción de agarre de las pinzas con el producto.

La acción de cierre de las pinzas es neumática mediante un cilindro de Ø69 mm operado a 6 bar, ejerciendo así una fuerza de ~2.25 kN sobre la pieza. Esta fuerza proporciona suficiente fricción, por lo que la pieza nunca escapa de la pinza. Sin embargo, esta fuerza, combinada con la temperatura de funcionamiento constante de 150° ~ 250° C^b, ha demostrado ser suficiente como para deformar plásticamente los dedos de las pinzas. Esta deformación permanente se puede observar claramente en la Figura 3.

Esta deformación de los dedos se ha convertido en un problema importante, ya que las piezas se desprenden y caen durante la operación. Al tratarse de una celda de producción totalmente robotizada, estas caídas de producto implican una parada total de la línea que tiene importantes consecuencias. Por un lado, el robot #3 debe estacionarse manualmente para que un operador pueda ingresar al área de trabajo de manera segura. Por otro lado, al detener la línea de formado, es imprescindible retirar los *blanks* que se encuentran en el horno ya que de lo contrario superarían la temperatura de trabajo aceptable. Al profundizar en el problema, se ha observado repetidamente un segundo fallo: el bastidor del que se suspende el mecanismo de agarre sufre fracturas a lo largo de las aberturas para las conexiones neumáticas. La Figura 4 indica claramente que la fractura se inicia al inicio del radio de dichas aberturas.

^a *Blank*, del inglés, se refiere a una pieza recortada de una hoja, placa o rollo con un contorno específico a la parte que se producirá, pero sin operaciones de formado.

^b Esta temperatura de funcionamiento es el resultado del calor combinado de convección y radiación de las piezas que se forman en tibio.

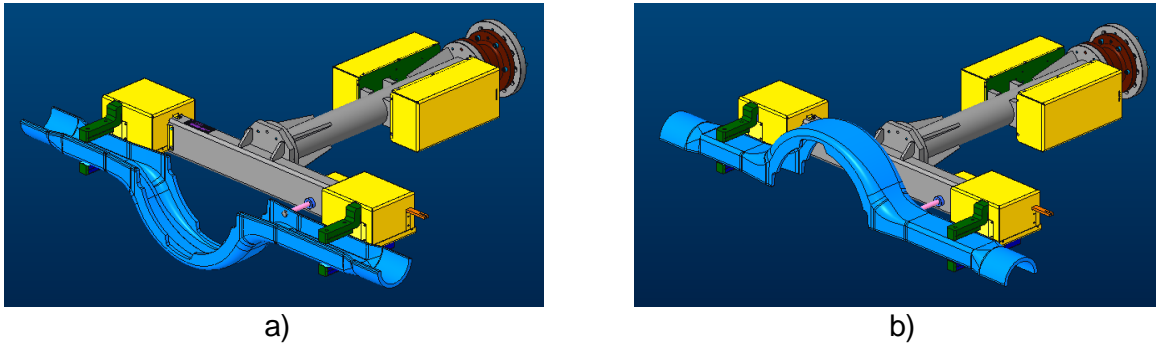


Figura 1. Solución de pinza neumática actual para el robot #3.
a) orientación de la pieza cuando sale de la segunda etapa de formado;
b) orientación de la pieza cuando sale de la estación de volteado.

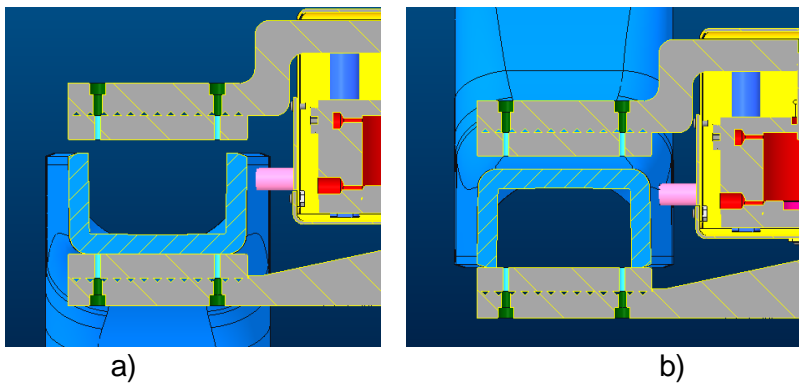


Figura 2. Detalle de la acción de agarre de la solución actual del robot #3.
a) orientación de la pieza cuando sale de la segunda etapa de formado;
b) orientación de la pieza cuando sale de la estación de volteado.



Figura 3. Espacio anormal entre los dedos de las pinzas neumáticas y la pieza que se está sujetando.

Ante este escenario, el Ing. Gaytán, líder de la sección de Diseño y Simulación de Procesos del departamento de Calidad y Tecnología de SISAMEX, solicitó al equipo de estudiantes abordar ambas cuestiones relativas al mecanismo de interacción del robot #3 con las fundas de eje.

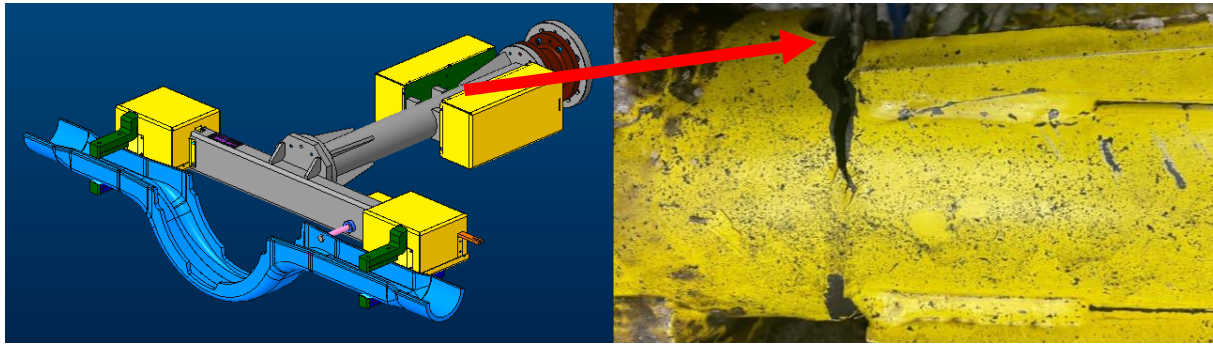


Figura 4. Fracturas observadas en el bastidor que soporta las pinzas neumáticas.

Metodología General

El grupo de trabajo (3 estudiantes) fue invitado a trabajar en equipo aprovechando los conocimientos, habilidades y actitudes de cada integrante. Así mismo, se abrió un canal de comunicación directa entre las 5 personas involucradas (socio formador, profesor asesor y 3 estudiantes) a través de un grupo dedicado en una red social fácilmente accesible para todos. Los estudiantes fueron responsabilizados de establecer un plan de trabajo, realizar las actividades propias del proyecto y consignar su trabajo a un reporte técnico del proyecto.

El socio formador se responsabilizó de proveer toda la información requerida por el equipo de trabajo, así como de atender sus dudas y revisar sus avances; todo esto sin influir en posibles respuestas a la problemática. El asesor académico del proyecto fue responsable de proveer un marco de referencia metodológico adecuado a la problemática en cuestión, así como de atender dudas y revisar avances del equipo; nuevamente, todo esto sin influir en posibles respuestas a la problemática.

Para producir un diseño nuevo se requiere un proceso metodológico que incluye etapas de conceptualización, diseño, creación de prototipos, pruebas y refinamiento. Para descubrir los requisitos y desafíos precisos que plantea la aplicación, el proyecto comenzó con investigación y análisis exhaustivos. La investigación incluyó revisar soluciones comerciales para problemas similares, el análisis de los tres tipos de productos a manipular, el rango de movimiento previsto y cualquier limitación relacionada con las dimensiones, la masa y la cinética del sistema. Esta evaluación inicial sirvió como base para la fase de diseño, en la que se crearon modelos conceptuales y simulaciones para investigar diferentes configuraciones y modos de funcionamiento. El refinamiento de los conceptos y la optimización incluyeron la precisión de la interacción robot-pieza y la flexibilidad para adaptarse a los tres números de parte. Después de seleccionar un concepto de diseño viable, se procedió a la creación de prototipos de forma con procesos de manufactura aditiva. Luego, el diseño se modificó y mejoró gradualmente a través de un proceso iterativo, buscando satisfacer los requisitos funcionales y las métricas de rendimiento previstos.

Metodología de Diseño Aplicada

La metodología de diseño que se trabajó en este caso fue Matrices Morfológicas basada en la literatura comúnmente referida. Para el desarrollo del *Design Brief* se utilizaron los conceptos de Diseño Axiomático de Suh (Suh, 2001), para la definición de la Estructura Funcional las ideas de Pahlly y Beitz (Pahl & Beitz, 1996), y para para la formación de la Matriz Morfológica el método de Ulrich y Eppinger (Ulrich & Eppinger, 2000).

Design Brief

- Compañía:
 - SISAMEX

- Descripción de la compañía:
 - SISAMEX es una empresa manufacturera líder especializada en la producción de componentes automotrices, suministrando a fabricantes de renombre mundial ejes, frenos y componentes relacionados para camiones, tractocamiones y otros productos de la industria agrícola.
- Diseñadores:
 - Héctor Treviño, Joshua Castellanos, Nathan Vásquez
- Objetivo principal:
 - Rediseñar el sistema de interacción robot-pieza para que estos problemas no ocurran.

La pinza neumática actual del robot #3 es una parte integral del éxito general de la línea de formado. El objetivo principal de este diseño es mejorar la funcionalidad general, la eficiencia y la seguridad de operación del robot #3. Con el diseño actual se está sufriendo fallos prematuros (excesiva deformación plástica).

- Otros objetivos y solicitudes:
 - Idealmente, la solución debería diseñarse para reducir su peso, una instalación sencilla, un mantenimiento sencillo y un reemplazo conveniente.
 - Buscar opciones para reducir el agrietamiento prematuro del bastidor de soporte del robot #3.
- Alcance:
 - Enfoque exclusivo en el sistema de interacción robot-pieza.
 - Lograr un modelo satisfactorio para el elemento de interacción.
 - Fabricar un modelo a escala para fines de prueba de concepto.
- Restricciones de diseño:
 - Peso: los esfuerzos deben dirigirse a minimizar el peso del dispositivo, ya que esta consideración es fundamental para salvaguardar la precisión del sistema robótico.
 - Tamaño: Las dimensiones del dispositivo deben cumplir con las medidas especificadas del área de trabajo designada, así como integrarse perfectamente dentro de los límites de la estantería de transporte utilizada, asegurando una compatibilidad espacial y una eficiencia operativa óptimas.
 - Material: El material elegido para el dispositivo debe ser capaz de soportar temperaturas elevadas resultantes de la convección y radiación de los procesos de formado.
- Resultados previstos:

Debido al límite de 16 semanas de este proyecto, la expectativa es la siguiente:

 - Generar bocetos operables para posibles soluciones.
 - Explorar detalladamente la operabilidad de la solución propuesta.
 - Fabricar un modelo impreso en 3D a escala como prueba de concepto.

Estructura Funcional

La función esencial del robot y su dispositivo de interacción robot-pieza es manejo de materiales entre estaciones de trabajo. Las subfunciones del dispositivo son recolectar, asegurar, transportar y liberar las fundas de eje trasero a medida que se procesan en la línea de formado. La Figura 5 es una representación gráfica de las subfunciones identificadas para el robot #3. Estas subfunciones comprenden: (a) moverla la pieza formada (segunda estación de formado) a la estación de giro, (b) luego mover la pieza preformada de la primera a la segunda etapa de formado, y (c) finalmente recoger la pieza de la estación de giro para depositarla en la estantería de transporte. El dispositivo de interacción robot-pieza debe realizar las siguientes subfunciones: (a) establecer un posicionamiento relativo con respecto a la pieza a mover, (b) interactuar con la pieza, (c) asegurar la pieza para su transporte; y (d) liberar la pieza. La Figura 6 es la representación gráfica de esta estructura de subfunciones.

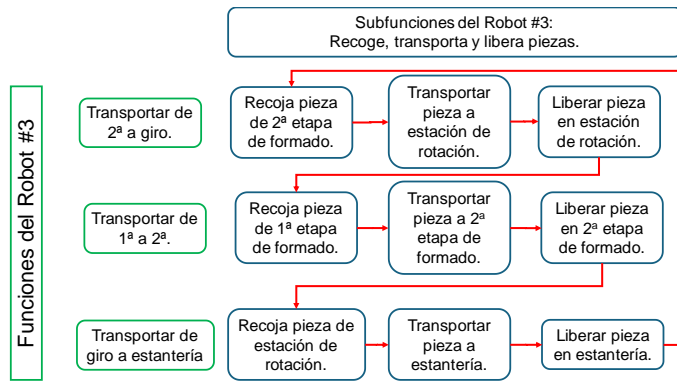


Figura 5: Diagrama de funciones del robot #3.

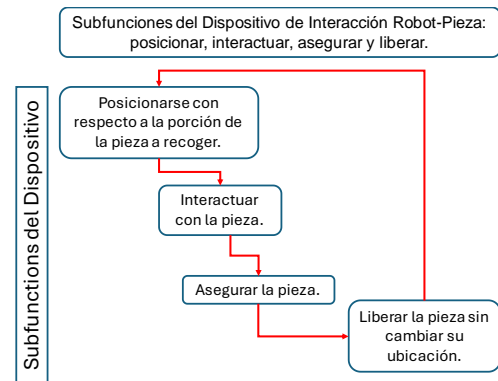


Figura 6: Diagrama de funciones del dispositivo.

El análisis detallado de la estructura funcional arrojó la siguiente serie de observaciones:

- La solución actual es compleja y requiere un mantenimiento preciso a los cilindros neumáticos. ¿Cómo puede esto ser evitado?
- La fuerza sobre la pinza actual no es excesiva, pero junto con la elevada temperatura de funcionamiento crea suficiente fluencia como para deformar permanentemente el mecanismo. ¿Es necesario sujetar con fuerza la pieza?
- El bastidor se agrieta debido a las aperturas, que a su vez se requieren para que mangueras pasen aire comprimido hacia el mecanismo. ¿Cómo se puede eliminar la necesidad de energía neumática?
- ¿Son suficientes las fuerzas de inercia debidas al movimiento del robot para desalojar la pieza?

Este proceso de cuestionamiento fue la génesis de las opciones de solución propuestas para cada una de las subfunciones del dispositivo. Estas propuestas se organizaron en una matriz morfológica que se presenta en la siguiente sección.

Matriz Morfológica

La matriz morfológica derivada de la estructura funcional comprende tres subfunciones, considerando que la etapa de liberación es la inversa de las etapas anteriores. Se generaron al menos tres opciones de solución para cada subfunción. La Tabla 1 muestra la matriz morfológica generada por el equipo de diseño.

Tabla 1. Matriz morfológica para las subfunciones del dispositivo de interacción robot-pieza. (las opciones finalmente seleccionadas se indican en verde.)

Subfunción	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Posicionar	Grandes placas de contacto planas y lisas.	Corredera angular con placa de contacto rugosa.	Guía de planos inclinados.	
Interactuar	Agarra la funda del eje de ambos lados simultáneamente.	Desliza la funda dentro del dispositivo.	Colecta la funda en el dispositivo solo por la parte inferior.	Ganchos giratorios
Asegurar	Sistema cierre paralelo que asegura las fundas.	Sistema de cinta transportadora que luego de posicionarse envuelve funda para asegurarla.	Sistema electromagnético*	Gravedad: estaca centrada en el arco de la funda.

* Esta idea se descartó más tarde porque las piezas superan la temperatura de Curie y no son magnéticos.

Un trabajo iterativo de análisis de posibles combinaciones de opciones, realizado a la luz de las preguntas emanadas de la etapa anterior, indicó que las opciones más prometedoras eran:

- Posicionar: Guía de planos inclinados.
- Interactuar: Colecta la funda en el dispositivo solo por la parte inferior.
- Asegurar: Gravedad a través de estaca centrada en el arco de la funda.

RESULTADOS

El diseño generado a partir de las opciones desarrolladas en la matriz morfológica incluye estacas en la viga de soporte en una posición en la que no requiere ser ajustarlos para los diferentes modelos de funda. Las piezas de soporte del mecanismo fueron dimensionadas para aumentar la estabilidad del producto durante el transporte a la estantería.

Una de las razones más convincentes por las que se eligió utilizar esta solución es el hecho que es puramente geométrico y no hay necesidad de sistemas neumáticos o eléctricos adicionales. Con esta solución también se ha disminuido el peso del dispositivo pues se elimina el sistema neumático actual. Más aun, al eliminar la necesidad de mangueras neumáticas (o cables eléctricos) se eliminan las aperturas en el bastidor del dispositivo, y con ello se reduce la posibilidad de fracturas.

Con el uso de un material resistente al calor, el dispositivo no expresará las mismas deformaciones plásticas que eran evidentes en el diseño inicial (como se observa en la figura 3).

Las figuras 7 y 8 muestran uno de los modelos de funda colocado en el dispositivo propuesto tanto en posición erguida como invertida. La Figura 9 muestra las dimensiones aproximadas para tener una idea de la escala del dispositivo propuesto.

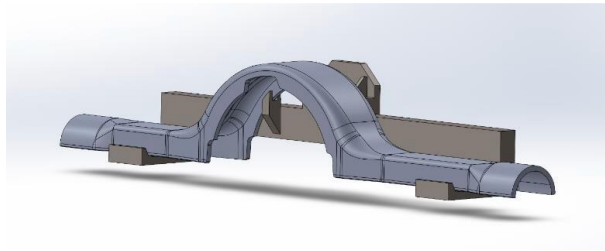


Figura 7: Nueva solución para dispositivo con la funda en posición erguida.

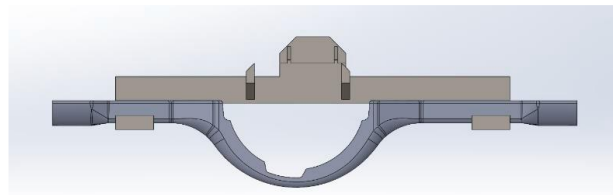


Figura 8: Nueva solución para dispositivo con la funda en posición invertida.

La creación de dispositivos de interacción robot-pieza para líneas de fabricación automatizadas significa una progresión de acciones de diseño. Al emplear un enfoque metodológico que incluye investigación, creatividad, diseño, creación de prototipos y pruebas, el proyecto ha satisfecho eficazmente las necesidades y restricciones planteadas por la aplicación (*design brief*). Con la precisión, versatilidad y adaptabilidad del nuevo dispositivo, el robot #3 podrá realizar su trabajo con fiabilidad y eficiencia. Mediante la aplicación de materiales apropiados, ideas de diseño creativas y trabajo en equipo interdisciplinario, el proyecto ha logrado avances considerables hacia la solución de la problemática planteada.

Además, el diseño propuesto no requiere ninguna fuente de energía, eliminando así la necesidad de aire comprimido y sistemas neumáticos complicados. La solución propuesta implica una importante reducción de peso, y una reducción significativa en costos de mantenimiento. Al eliminar la necesidad de mangueras de aire también se eliminó la necesidad de aberturas en el bastidor principal que soporta el dispositivo. Esto, a su vez, debería aliviar las frecuentes grietas observadas en ese elemento del sistema.

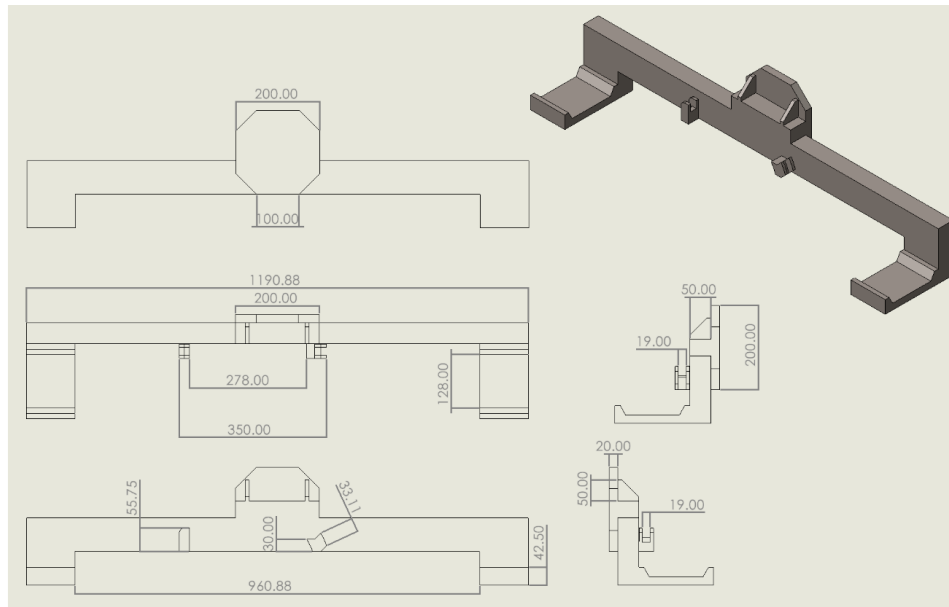


Figura 9. Dimensiones aproximadas del dispositivo (solo para fines de escala).

CONCLUSIONES

El resultado específico logrado por los estudiantes de 4^{to} año de ingeniería mecánica y mecatrónica en este proyecto satisfizo y superó las expectativas del socio formador. Independiente del resultado, lo realmente destacable es el modelo de vinculación universidad-empresa. Los elementos que de forma destacable operaron en esta ocasión incluyen:

- Un socio formador altamente comprometido con el proceso educativo; compromiso manifiesto a través de una disponibilidad extensa, información precisa y amplia sobre el problema, la voluntad de ajustarse a los tiempos académicos, y una paciencia a prueba de estudiantes.
- Una persona asesora de los estudiantes dispuesta a guiar metodológicamente el proceso de innovación, promover trabajo en equipo, y abstenerse de proponer soluciones, acciones y conducentes a satisfacer al socio formador.
- Una metodología de trabajo robusta y probada adecuada a resolver el problema en cuestión, y que los estudiantes pueden entender, aprender y aplicar exitosamente.

Es también muy importante considerar que a través del proceso es indispensable que tanto socio formador como asesor académico no deben influir en posibles respuestas a la problemática. Una sencilla forma para implementar esto es proveer información al equipo de trabajo sólo cuando es solicitada.

Los estudiantes resultaron muy satisfechos con su contribución y aprendieron a aplicar una metodología de diseño ingenieril robusta y probada. El desarrollo de este proyecto sirve como recordatorio de la fortaleza formativa de una adecuada vinculación universidad-empresa, y de la influencia que la creatividad y el trabajo en equipo interdisciplinario pueden tener un problema industrial. La búsqueda de la excelencia sigue siendo un viaje fascinante y continuo a medida que ampliamos los límites de lo que es posible y exploramos nuevas fronteras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su profundo agradecimiento a SISAMEX por su deliberado apoyo a los procesos formativos de estudiantes de diferentes universidades y en diversas disciplinas.

REFERENCIAS

- Pahl, G., & Beitz, W. (1996). *Engineering Design: A Systematic Approach* (2 ed.). Nueva York: Springer-Verlag.
- Suh, N. P. (2001). *Axiomatic Design: Advances and Applications* (1 ed.). Oxford University Press.
- Tecnológico de Monterrey. (2024). *Socios formadores comprometidos con la educación*. Obtenido de <https://tec.mx/es/socios-formadores>
- Treviño, R. (06 de 05 de 2021). *Socios Formadores: su papel en el desarrollo de los líderes del futuro*. Recuperado el 30 de 11 de 2023, de <https://conecta.tec.mx/es/noticias/nacional/institucion/socios-formadores-su-papel-en-el-desarrollo-de-los-lideres-del-futuro>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2000). *Product Design and Development* (2 ed.). Nueva York: McGraw-Hill.

