



**Reporte final**

José Francisco Arias Gómez		A01635790
Luis Gerardo Rendón Tapia		A01611996
José Luis González Fragoso		A00833607
Alan Salazar Gonzalez		A00833257

Diseño y desarrollo de robots | Grupo 405

Ma. Consuelo Rodríguez Padilla

05 de mayo de 2024

## Indice

Abstract.....	2
Introduction.....	2
Methodology.....	2
Project Management.....	2
Financial Analysis.....	2
Risk Assessment.....	2
Design and technologies.....	2
Robot Selection.....	2
Fixtures and Tooling.....	2
Simulation.....	2
Computer Vision.....	2
Results.....	2
Conclusions.....	3
References.....	3
Appendix.....	3

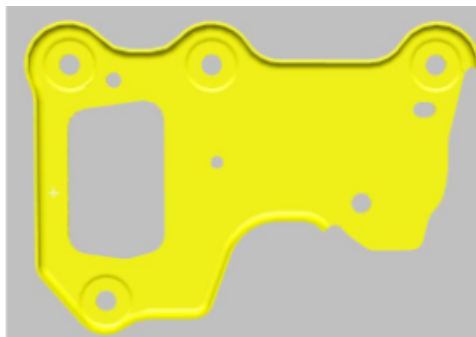
## Resumen

En el marco del curso de Diseño y Desarrollo de Robots, se desarrolló un proyecto enfocado en la creación de una estación de trabajo robotizada para la soldadura de piezas en una celda de manufactura industrial. En colaboración con ABB Robotics México, se llevó a cabo el diseño y la simulación de todo el proceso, desde la soldadura de pares de piezas hasta la inspección de calidad.

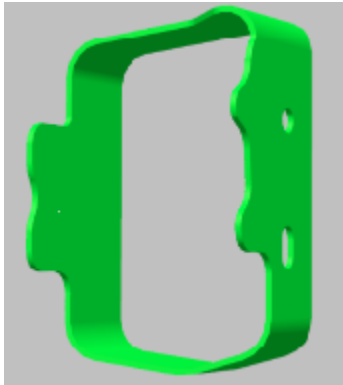
Se consideraron aspectos fundamentales como normas de seguridad, especificaciones técnicas de las herramientas, velocidad de movimiento y tipo de soldadura, además de la evaluación de un presupuesto completo y una detallada planificación de actividades. La celda de manufactura no solo se centró en la automatización del proceso, sino que también contempló estaciones de inspección donde se verificó la calidad de las piezas y la soldadura.

## Introducción

En esta introducción, se realizará una descripción detallada del proceso principal y sus subprocesos relacionados en el diseño y desarrollo de una estación de trabajo robotizada destinada específicamente a la soldadura de las piezas A (Stamping Plate) y B (Stamping Cube) dentro de una celda de manufactura industrial. El proceso principal abarca una serie de pasos, desde la planificación y diseño conceptual hasta la implementación y puesta en marcha del sistema. Los subprocesos específicos incluyen el transporte de piezas, la fijación de las mismas en los fixtures de soldadura, la aplicación de la soldadura por láser, la inspección de calidad y el mantenimiento del sistema. Cada uno de estos subprocesos será abordado de manera minuciosa, destacando las actividades clave y los requisitos técnicos asociados, con un enfoque especial en el proceso de soldadura entre las piezas A y B.



*Figura 1. Pieza A*



*Figura 2. Pieza B*

Además, se abordarán los estándares y regulaciones pertinentes que rigen este tipo de actividades industriales. Entre estos estándares se incluyen la normativa de seguridad industrial como la NOM-004-STPS-1999, que establece criterios para la seguridad en el uso de maquinaria y equipo industrial, así como la NOM-026-STPS-1998 y la NOM-018-STPS-2000 que abordan la identificación de riesgos y el manejo de sustancias peligrosas en el entorno laboral.

Además de las normativas locales, se considerarán estándares internacionales como la norma ISO 10218-1 e ISO 10218-2, que establecen requisitos de seguridad específicos para manipuladores y robots industriales. Estos estándares proporcionarán un marco normativo sólido para garantizar la seguridad y la calidad en todas las etapas del proceso de diseño y desarrollo de la estación de trabajo robotizada.

## Metodología

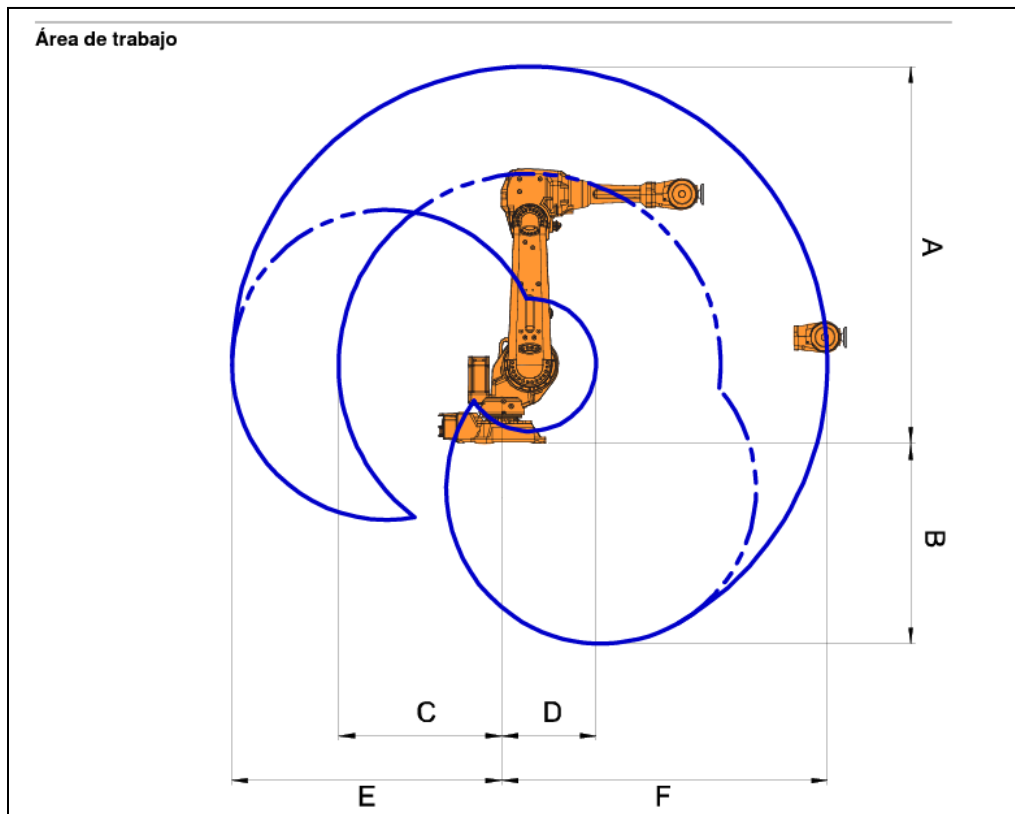
A continuación, se detallarán los pasos seguidos para integrar el diseño en sus aspectos mecánicos, eléctricos y de control. Se describirán las etapas clave del proceso de integración, desde la concepción inicial hasta la implementación final del sistema mecatrónico.

### 1. Diseño Mecánico:

- a. Se elaboró una lista de posibles componentes mecatrónicos que podrían contribuir al cumplimiento de los objetivos establecidos para la celda de trabajo. Entre los elementos considerados se encuentran brazos robóticos, bandas transportadoras, vallas perimetrales y componentes de seguridad como luces y botones de paro.
- b. Se realizó un croquis prototipado con el objetivo de analizar el área de trabajo de los robots industriales. Este croquis permitió determinar la disposición óptima de

los objetos alrededor del área de trabajo, garantizando el cumplimiento de las normas de seguridad y la adecuada distancia de seguridad para el funcionamiento seguro del robot.

- c. Se llevó a cabo una evaluación del material más adecuado para los elementos cercanos al área de soldadura. Después de considerar varias opciones, se seleccionó el acero 304 debido a su capacidad para resistir temperaturas de hasta 870 grados centígrados, asegurando así la durabilidad y seguridad del entorno de trabajo.



*Figura 3. Diagrama del alcance del robot 2600.*

## 2. Diseño Eléctrico:

- a. Al igual que en el diseño mecánico, se elaboró una lista de los componentes necesarios para garantizar el funcionamiento completo y seguro de la celda. Esta lista incluyó PLC, HMI, torretas de luz, botones de paro, cortinas láser de seguridad, tapetes de seguridad, mandos bimanuales, cámaras de calidad, entre otros elementos.
- b. Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de posibles problemas de sobrecorriente dentro de la celda. Como medida de seguridad, se optó por utilizar relevadores de

seguridad para evitar conexiones directas entre los dispositivos y así mitigar el riesgo de sobrecorriente.

3. Diseño de Control:

- a. Se simuló el control de la celda utilizando el software RobotStudio. Posteriormente, se incluirá un video en el documento que demostrará el programa en funcionamiento. Se diseñó el código con un enfoque robusto y secuencial para minimizar posibles errores y garantizar un funcionamiento eficiente de la celda.
- b. En cuanto a las consideraciones de seguridad, se establecieron los propósitos de los componentes eléctricos propuestos en el diseño. Por ejemplo, los tapetes de seguridad se utilizarán para detener el proceso de la celda y evitar accidentes en caso de que los operadores ingresen al área de trabajo. Las torretas de luz servirán para indicar a los operadores en qué fase del proceso se encuentra cada subsistema, mientras que las cortinas láser se implementarán para prevenir la entrada de objetos no deseados a la celda y así evitar posibles daños.

4. Integración y pruebas:

- a. Tras realizar un análisis global y exhaustivo, hemos determinado que nuestra celda de manufactura operará eficientemente con la colaboración de robots industriales, bandas transportadoras y fixtures de sujeción. El diseño eléctrico se ha centrado en garantizar la seguridad de los operadores, mientras que el control se ha desarrollado con un enfoque robusto y secuencial para prevenir problemas y facilitar la resolución de cualquier inconveniente que pueda surgir.
- b. Como paso final, llevaremos a cabo un análisis detallado de la precisión, eficiencia y seguridad del sistema. Este análisis nos permitirá identificar cualquier área de mejora y determinar los posibles cambios necesarios para optimizar el rendimiento y la seguridad de la celda de manufactura en el futuro.

## Administración de proyecto

Para realizar el proyecto se buscó dividir las actividades de la manera más equitativa posible, se comenzó con la investigación, la cual se dividió en normas, estado del arte y consideraciones sobre el proyecto. Una vez teniendo una noción y contexto sobre el proyecto, se procedió a definir la idea, cuál sería el proceso que se seguiría para llevar a cabo la soldadura requerida, se definieron los modelos de los robots, se definió el proceso a seguir, y se agregaron elementos extra que no se tomaron en cuenta en las etapas anteriores. Una vez definido el proceso y la idea de la celda de manufactura, se comenzó a desarrollar el CAD, obteniendo piezas ya modeladas de internet, para que realizar el ensamble sea posible, posteriormente, se definió y se diseñó un fixture, finalmente, se le hicieron correcciones al CAD y al proceso en general. Una

parte esencial del proyecto, fue la simulación la cual se desarrolló, haciendo el ensamble en RobotStudio como primer paso, posteriormente se definieron las trayectorias, se realizó un control y finalmente, se realizó con la simulación. Finalmente se realizó un simulación del sistema de visión, para la cual primero se tomaron diferentes fotos del CAD, se definió un proceso de visión, el cual será explicado más adelante en el reporte, posteriormente se realizó la simulación. Finalmente, se realizaron ajustes finales al proyecto en general, para así poder realizar la presentación.

	📌	Nombre	Duración	Inicio	Terminado	Predecesores	Nombres del Recurso	V	S	D	L	M	1 abr
1		Investigación	2.5 days?	1/04/24 08:00 AM	3/04/24 01:00 PM								
2		Normas	1 day	1/04/24 08:00 AM	1/04/24 05:00 PM		Francisco						
3	📌	Estado del arte	0.5 days?	2/04/24 08:00 AM	2/04/24 01:00 PM		Luis;Francisco						
4	📌	Consideraciones	0.5 days?	3/04/24 08:00 AM	3/04/24 01:00 PM		Pepe;Alan						
5		Definición de idea	2.25 days?	4/04/24 08:00 AM	8/04/24 10:00 AM								
6	📌	Definir modelos de robots	0.5 days?	4/04/24 08:00 AM	4/04/24 01:00 PM		Luis;Francisco						
7	📌	Definir proceso	0.25 days?	5/04/24 08:00 AM	5/04/24 10:00 AM		Luis;Francisco;Pepe;Alan						
8	📌	Agregar elementos extra	0.25 days?	6/04/24 08:00 AM	8/04/24 10:00 AM		Francisco;Pepe;Luis;Alan						
9		Desarrollo del CAD	10 days?	10/04/24 06:00 AM	23/04/24 05:00 PM								
10	📌	Obtener CADs de piezas	1 day	10/04/24 06:00 AM	10/04/24 05:00 PM		Pepe;Luis						
11	📌	Hacer ensamble	4 days	12/04/24 06:00 AM	17/04/24 05:00 PM		Luis						
12	📌	Definir Fixture	1 day	17/04/24 06:00 AM	17/04/24 05:00 PM		Luis;Alan						
13	📌	Diseñar Fixture	2 days	19/04/24 06:00 AM	22/04/24 05:00 PM		Luis						
14	📌	Hacer Correcciones	2 days?	22/04/24 06:00 AM	23/04/24 05:00 PM		Luis						
15		Simulación	2.5 days?	24/04/24 06:00 AM	26/04/24 01:00 PM								
16	📌	Hacer ensamble en robo...	1 day?	24/04/24 06:00 AM	24/04/24 05:00 PM		Alan						
17	📌	Definir trayectorias	1 day?	24/04/24 06:00 AM	24/04/24 05:00 PM		Pepe						
18	📌	Realizar control	1 day?	25/04/24 06:00 AM	25/04/24 05:00 PM		Alan						
19	📌	Realizar simulación	0.5 days?	26/04/24 06:00 AM	26/04/24 01:00 PM		Pepe;Alan						
20		Visión	2 days?	26/04/24 06:00 AM	29/04/24 05:00 PM								
21	📌	Tomar fotos de piezas	1 day?	26/04/24 06:00 AM	26/04/24 05:00 PM		Francisco						
22	📌	Definir proceso de visión	1 day?	26/04/24 06:00 AM	26/04/24 05:00 PM		Luis						
23	📌	Realizar simulación de si...	1 day?	27/04/24 06:00 AM	29/04/24 05:00 PM		Francisco						
24	📌	Ajustes finales	1 day?	28/04/24 06:00 AM	29/04/24 05:00 PM		Francisco;Pepe;Luis;Alan						
25	📌	Presentación	0.25 days?	30/04/24 06:00 AM	30/04/24 10:00 AM		Francisco;Pepe;Luis;Alan						

Figura 4. Gant

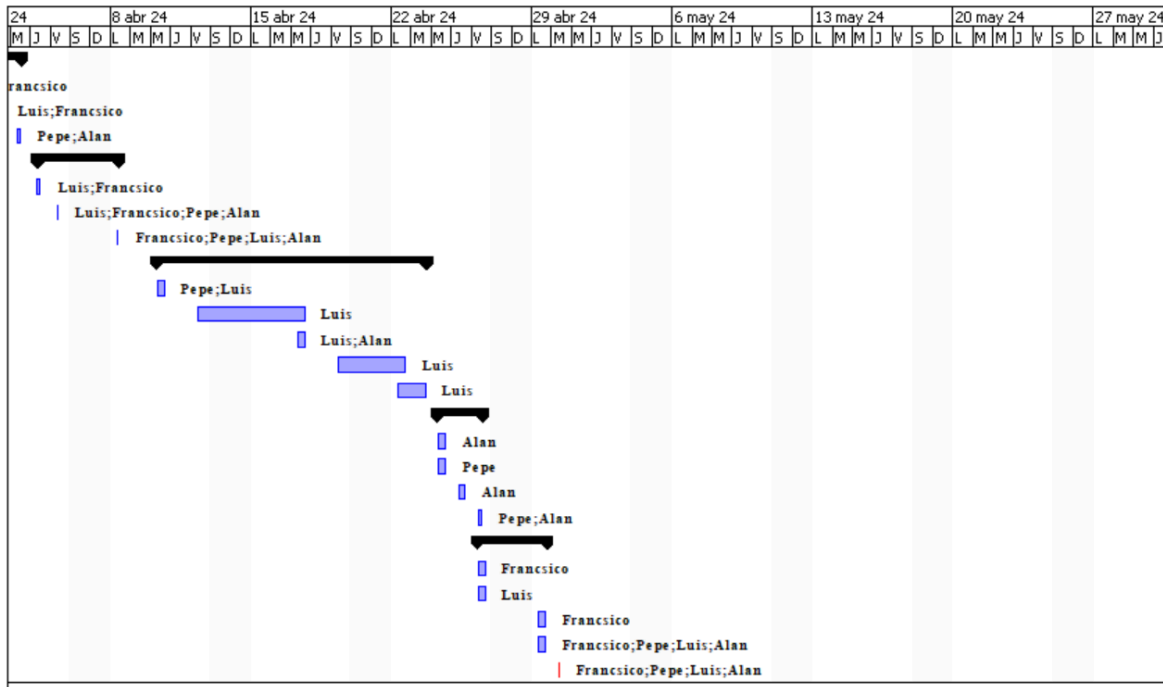


Figura 5. Gant

## Análisis financiero (Risk Assessment)

Conocemos la importancia de un análisis financiero para cualquier tipo de desarrollo de proyecto, por lo que es evidente que el implementar un proyecto tecnológico tiene que ofrecer ganancias en vez de gastos a futuro. Para este caso evaluamos nuestra propuesta asumiendo que las ventas, costos por venta y gastos generales como sueldos, rentas, etc, son constantes. Además se tomó en cuenta una inversión inicial de \$2,065,900.00 MXN contemplando todo el equipo tecnológico y objetos necesarios para la celda propuesta, el desglose gastos para cálculo de la inversión inicial se aprecia en la figura 6.



Nombre	Precio	Cantidad
Banda transportadora	\$35,000mxn	3
valla perimetral	\$500mxn/mts	17
mesa de trabajo	\$5,000mxn	1
robot articulado ABB IRB 120	\$200,000mxn	1
robot articulado IRB 2600	\$750,000mxn	1
pistones neumáticos SMC	\$1,200mxn	4
cabezal de soldadura	\$990,000mxn	1
cortinas de seguridad	\$3,200mxn	6
tapetes de seguridad	\$3,000mxn	4
botones de paro	\$600mxn	4
luces indicadoras	\$2,000mxn	1
PLC	\$20,000mxn	1
HMI	\$12,000mxn	1
power supply allen bradley	\$2,400mxn	1
TOTAL=	\$2,065,900 MXN	ROI = 43.7%

Figura 6. Inversión inicial

La evaluación del proyecto y la implementación se llevó a cabo con el concepto de retorno de inversión (ROI) que como se aprecia en la tabla 1, es un ROI = 33% el cual es bastante bueno y se considera como una inversión viable. Además se hizo una suposición de ventas para conocer en cuantos meses se conseguiría un retorno de inversión. Se asume que al mes se venden 5,000 piezas y se vende cada una a \$250.00 MXN, por lo tanto los cálculos comprueban que la inversión se recuperará en el 9no mes.

Inversion												pz vendidas x mes	5000.00
\$2,065,900.00												costo x pz	\$ 250.00
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Venta	\$ 1,250,000.00	\$1,250,000.00	\$1,250,000.00	\$1,250,000.00	\$1,250,000.00	\$1,250,000.00	\$1,250,000.00	\$1,250,000.00	\$ 1,250,000.00	\$1,250,000.00	\$1,250,000.00	\$ 1,250,000.00	
Costo de ventas	\$ 625,000.00	\$ 625,000.00	\$ 625,000.00	\$ 625,000.00	\$ 625,000.00	\$ 625,000.00	\$ 625,000.00	\$ 625,000.00	\$ 625,000.00	\$ 625,000.00	\$ 625,000.00	\$ 625,000.00	
Gastos	\$ 125,000.00	\$ 125,000.00	\$ 125,000.00	\$ 125,000.00	\$ 125,000.00	\$ 125,000.00	\$ 125,000.00	\$ 125,000.00	\$ 125,000.00	\$ 125,000.00	\$ 125,000.00	\$ 125,000.00	
Utilidad	\$ 500,000.00	\$ 500,000.00	\$ 500,000.00	\$ 500,000.00	\$ 500,000.00	\$ 500,000.00	\$ 500,000.00	\$ 500,000.00	\$ 500,000.00	\$ 500,000.00	\$ 500,000.00	\$ 500,000.00	
Profit	-\$ 250,000.00	-\$ 500,000.00	-\$ 750,000.00	-\$1,000,000.00	-\$1,250,000.00	-\$1,500,000.00	-\$1,750,000.00	-\$2,000,000.00	-\$ 2,250,000.00	-\$2,500,000.00	-\$2,750,000.00	-\$ 3,000,000.00	
ROI	33%												

Tabla 1. Desarrollo de retorno de inversión

## Selección de tecnologías

### Selección Robot

Como se describió anteriormente seleccionamos dos robots un IRB 120 y un IRB 2600 los cuales se visualizan en la figura 7 respectivamente. La selección del IRB 120 fue dada ya que la tarea a

realizar era un pick and place sencillo cargando máximos de 5 kilos, y de acuerdo con el fabricante este robot soporta esta carga.

Asimismo se implementó un gripper sencillo que llevará a cabo el pick and place, por lo tanto este end effector es óptimo para dicha tarea. Por otra parte el IRB 140 cuenta con un avance de 700 mm, siendo suficiente para el área de trabajo que buscábamos. Mencionado lo anterior el IRB 120 es un robot ideal para recoger, descargar y trasladar piezas en el espacio con el que contamos.



Figura 7. Robot IRB 140 e IRB 2600

En cuanto el IRB 2600 estaba destinado a hacer la trayectoria de soldadura con el cabezal como end effector (el cual pesa 15 Kg), por lo tanto requerimos un robot con buen alcance, buena capacidad de carga y varios grados de libertad. Revisando la literatura se concluyó que el IRB 2600 contaba con un alcance de 1.65 m el cual nos resultaba suficiente para el desarrollo de la trayectoria de soldadura. Además es capaz de tener una carga de hasta 20 Kg cumpliendo con el requisito del peso del cabezal, y por último es un robot de 6 grados de libertad permitiendo completar trayectorias complejas.

## Fixtures

Durante nuestro proceso de soldadura debemos de asegurarnos que la pieza no va a moverse y para ello se diseñó un sistema de pallets, donde el operador deberá de asegurar la pieza por medio de unos custom clamps que se diseñaron para que puedan ser sujetados directamente a una base que llamaremos pallet (Figura 8),

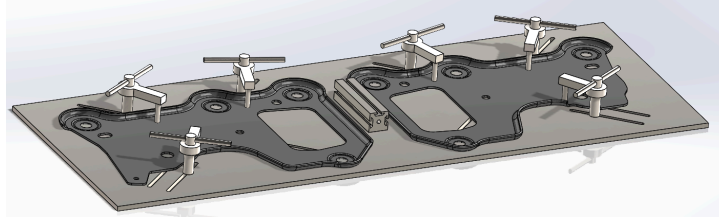


Figura 8. Fixture completo

El pallet consiste en una base de acero de clase 10 o aceros de tipo constructivos para evitar que se solden a nuestras piezas en cuestión, esta posee ranuras para poder poner los clamps en su posición para que las piezas a soldar no queden en otra orientación como si de un poka yoke se tratase.

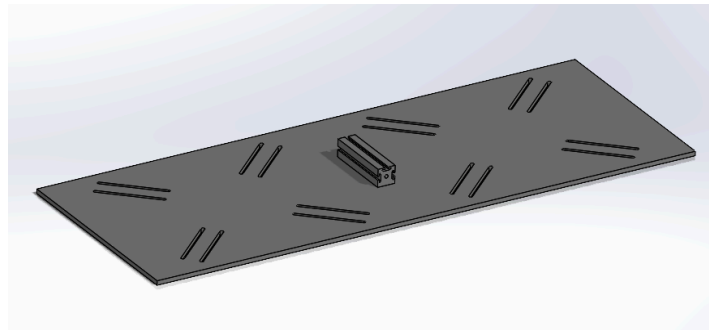


Figura 9. Pallet

al pallet se la añade la base del clamp (Figura 9), esta posee una cuerda para un tornillo de ¼-20 con el que se sujetará a través de la ranura y mantendrá su posición fija durante todo el tiempo que en línea se estén produciendo este tipo de piezas soldadas, sobre esta base se superpone un cuerpo de clamp (Figura 8), el cual no tiene cuerda sino que es liso, por lo que con el brazo de presión, podemos asegurar la fijación de nuestra pieza, los clamps están hechos de acero inoxidable 304 el cual, es resistente a la corrosión y soporta hasta los 870°C.

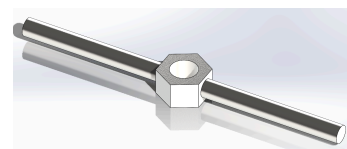
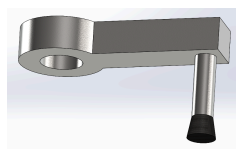


Figura 10.  
Base de clamp

Figura 11.  
Cuerpo de clamp

Figura 12.  
Brazo de presión



Figura 13.  
Clamp completo (vista explosionada)

## Simulación

El proceso como tal de nuestra propuesta para la celda de manufactura consta de dos conveyors los cuales traen las piezas crudas, un conveyor trae el *stamping cube* y el otro trae las *stamping plates* juntas (izquierda y derecha) en un pallet sujetadas por nuestro fixture (los fixtures no se muestran en la simulación). Posterior a eso el IRB 140 hace primeramente el pick and place del pallet con las *stamping plates* hacia una mesa central donde se sujeta con pistones para después el IRB 140 nuevamente hace un pick and place pero ahora del *stamping cube*.

Para este punto el IRB 2600 hace una trayectoria de punteo mientras el otro robot sujeta por unos momentos para que se pueda adherir las piezas, luego el IBR 140 procede a ir por otra *stamping cube* mientras que el robot soldadora termina de soldar, luego sucede lo mismo pero ahora para el *stamping plate* derecho para terminar con el IRB 140 levantando el pallet con las piezas ya soldadas llevándolos a un tercer conveyor que se lleva las piezas terminadas. El video de la simulación se encuentra en el apéndice [1].

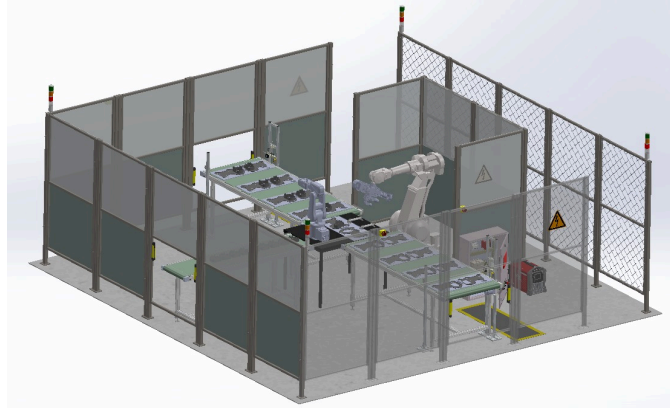


Figura 14. Propuesta de celda de manufactura

En cuanto la simulación se hizo en Robotstudio se realizaron trayectorias para los trayectos que seguían los robots, estas trayectorias tienen tiempo de espera para que se coordinen los robots en hacer los movimientos cuando se requiera, esto con ayuda de RAPID. En la figura 15 se muestra un pedazo del código de cómo se desarrollaron estas trayectorias.

```

T_ROB1/Module1 X
40  PROC carga_green()
41      MoveL Target_30_3,v1000,z0,Servo\WObj:=WO_green;
42      MoveL Target_30,v1000,z0,Servo\WObj:=WO_green;
43      MoveL Target_30_2,v1000,z0,Servo\WObj:=WO_green;
44      MoveL Target_30_4,v1000,z0,Servo\WObj:=WO_green;
45      MoveL Target_30_3_2,v1000,z0,Servo\WObj:=WO_green;
46      MoveL Target_20_4,v1000,z0,Servo\WObj:=WO_descarga;
47      MoveL Target_40,v1000,z0,Servo\WObj:=WO_green;
48  ENDPROC
49
50  PROC Main()
51      carga_pallet;
52      carga_Lgreen;
53      WaitTime 5;
54      carga_Rgreen;
55      WaitTime 5;
56      descarga_completa;
57  ENDPROC
58
59  PROC carga_Lgreen()
60      MoveL Target_30_3,v1000,z0,Servo\WObj:=WO_green;
61      MoveL Target_30,v1000,z0,Servo\WObj:=WO_green;
62      MoveL Target_30_2,v500,z0,Servo\WObj:=WO_green;
63      WaitTime 1.5;
64      MoveL Target_30_4,v1000,z0,Servo\WObj:=WO_green;
65      MoveL Target_30_3_2,v1000,z0,Servo\WObj:=WO_green;
66      MoveL Target_20_4,v1000,z0,Servo\WObj:=WO_descarga;
67      MoveL Target_40,v1000,z0,Servo\WObj:=WO_green;
68  ENDPROC
69  PROC second()
70      MoveL Target_10_3_2,v500,z0,Servo\WObj:=WO_recogida;
71  ENDPROC
72  PROC carga_Rgreen()
73      MoveL Target_30_3_3,v1000,z0,Servo\WObj:=WO_green;
74      MoveL Target_30,v1000,z0,Servo\WObj:=WO_green;

```

Figura 15. Código RAPID

## Visión computarizada

Para la parte de visión se colocará una cámara Cognex 7000 Series por encima del link final del robot IRB 140, esta cámara evaluará si la pieza está colocada en la cinta está colocada de manera correcta, de lo contrario, no continuaría con el proceso y se requeriría que la pieza sea acomodada de manera correcta.

Para esto, la cámara evaluará la presencia de una curva en la parte superior izquierda de la pieza A, ya sea la pieza original o reflejada, si la pieza contiene dicha curva dentro del espacio requerido, se continuará con el proceso de colocación y soldadura, de lo contrario, se requerirá que la pieza sea acomodada. Esto se puede observar en el video de demostración 2 que se encuentra en la sección de apéndice:

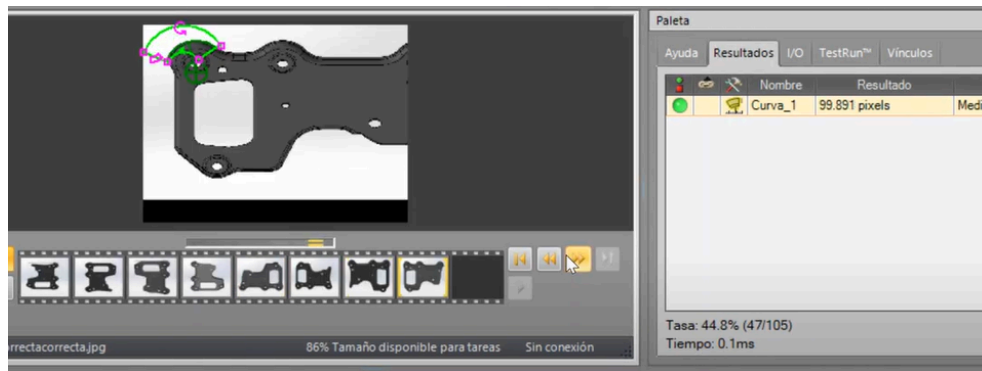


Figura 16. Pieza A colocada correctamente

Por otro lado, con la pieza B, se evalúa si se encuentra en la posición correcta tomando en cuenta los márgenes de esta, si los márgenes se encuentran dentro de cierto rango, de igual manera, se analiza el contraste generado por la luz de la celda en la pieza, si este está dentro de ciertos límites, también se infiere que la pieza está colocada de manera correcta. Si los márgenes o el contraste no están colocados dentro de los parámetros establecidos, entonces el proceso de colocación y soldadura no podría continuar, pues la pieza no se encuentra en la posición correcta. Esto se puede observar en el video 3 presente en el apéndice.

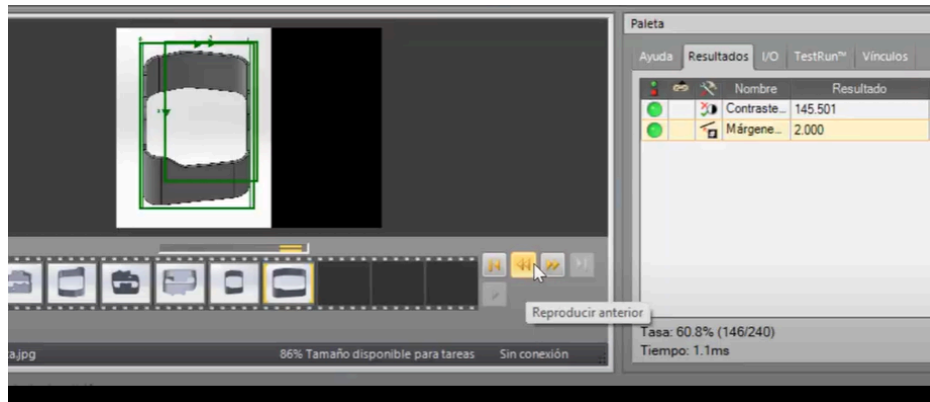


Figura 17. Pieza B colocada correctamente

### Video de demostración:

## Resultados

Describe your results. Pictures and tables must be included here to depict the system performance.

Nuestro proceso de automatización permite que nuestro tiempo de ciclo de soldado es de 23 s para ambas piezas, aunque tienen un tiempo total de 35s en toda la automatización de las dos piezas cumpliendo así las expectativas de ABB, todo nuestro proceso es lineal, por lo que puede ser integrado fácilmente a una línea de ensamblaje o de producción de ABB, para evitar perder tiempo, nuestra solución implica que un operador manualmente ponga las piezas sobre nuestra banda y asegure las mismas manualmente, pero la ventaja es que una vez hecho eso, nuestros robots por medio de la automatización no requieren de otra interacción humana en todo el proceso.

otra de las partes cruciales para ABB era la calidad que podemos ofertar y para ello nosotros implementamos sistemas de visión para la revisión de calidad de las piezas tanto de las que llegan como de las que salen de producción, esto para descartar piezas malogradas o defectuosas, desde proveedor o de nuestro proceso de soldadura, usamos 3 sistemas de visión, uno para las piezas pequeñas a soldar, otra para las piezas con el pallet y finalmente otra para las piezas al final de su proceso que verifica su cordón de soldadura.

## Conclusiones

En conclusión, el proyecto de la celda de manufactura propuesto integra de manera eficiente la automatización y el control de calidad mediante el uso de robots industriales y visión

computarizada. El proceso se inicia con la llegada de las piezas crudas a través de dos conveyors, uno para el "stamping cube" y otro para las "stamping plates". Luego, el robot IRB 140 realiza el pick and place de las "stamping plates" hacia una mesa central, donde son sujetadas para permitir el siguiente paso: el pick and place del "stamping cube". Mientras tanto, el IRB 2600 realiza una trayectoria de punteo para facilitar la adherencia de las piezas. Después de que el robot soldador completa la soldadura, el IRB 140 realiza operaciones similares para las otras "stamping plates" y finalmente levanta el pallet con las piezas terminadas para su traslado al tercer conveyor.

La simulación, realizada en Robotstudio, permitió diseñar trayectorias coordinadas para los movimientos de los robots, utilizando RAPID para programar tiempos de espera necesarios. Además, se implementó un sistema de visión utilizando una cámara Cognex 7000 Series para verificar la correcta colocación de las piezas en la cinta transportadora. Esta cámara evalúa la presencia de una curva en la pieza A y los márgenes y el contraste de la pieza B para determinar si están colocadas correctamente. Si alguna pieza no cumple con los criterios establecidos, se detiene el proceso hasta que se corrija su posición.

En resumen, la propuesta de celda de manufactura combina eficientemente la automatización con la verificación de calidad, garantizando la precisión y la eficacia en la producción de las piezas. Además de los robots industriales y la visión computarizada mencionados en el proyecto de la celda de manufactura, hay varias otras tecnologías que podrían implementarse para mejorar aún más el proceso de fabricación y la eficiencia del sistema. Algunas de estas tecnologías incluyen:

Internet de las cosas (IoT): Integrar sensores en diferentes partes del proceso de fabricación para monitorear el rendimiento de las máquinas, la temperatura, la humedad, y otros parámetros relevantes. Esto permitiría la recopilación de datos en tiempo real para análisis y optimización continua del proceso.

Sistemas de control de calidad automatizados: Además de la visión computarizada, se podrían implementar otros sistemas automáticos de inspección de calidad, como sensores de ultrasonido, rayos X o láser, para detectar defectos o inconsistencias en las piezas durante el proceso de fabricación.

Robótica colaborativa (cobots): Implementar robots colaborativos que puedan trabajar junto con los operadores humanos de manera segura y eficiente en tareas específicas, como la sujeción de las piezas al pallet.



Inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (ML): Utilizar algoritmos de IA y ML para analizar grandes cantidades de datos generados por el proceso de fabricación y optimizar la eficiencia operativa, predecir fallas en los equipos, o mejorar la calidad del producto final o incluso mantenimientos agendados por la IA para así tener en un mejor estado nuestra celda de producción.

## Referencias

Görneman, O. (2017). *SEGURIDAD DE LOS ROBOTS COLABORATIVOS* [Online]. IEEE. Disponible en: [https://www.osalan.euskadi.eus/contenidos/informacion/ponencias\\_jt170720\\_cursoverano/es\\_def/adjuntos/ponencia\\_jt170720\\_otto\\_goernemann.pdf](https://www.osalan.euskadi.eus/contenidos/informacion/ponencias_jt170720_cursoverano/es_def/adjuntos/ponencia_jt170720_otto_goernemann.pdf)

Norma Oficial Mexicana NOM-004-STPS-1999, Sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo. (1999). SECRETARÍA DEL TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL. [Online]. IEEE. Disponible en: <https://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-004.pdf>

Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2000, SISTEMA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y COMUNICACIÓN DE PELIGROS Y RIESGOS POR SUSTANCIAS QUIMICAS PELIGROSAS EN LOS CENTROS DE TRABAJO. (2000). SEGOB. [Online]. IEEE. Disponible en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=2062745&fecha=27/10/2000#gsc.tab](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2062745&fecha=27/10/2000#gsc.tab)

Norma Oficial Mexicana NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías. (2008). SECRETARÍA DEL TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL. [Online]. IEEE. Disponible en: <https://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/nom-026.pdf>

Ghanbarzadeh, A., & Najafi, E. (2023). *SAFE PHYSICAL HUMAN-ROBOT INTERACTION THROUGH VARIABLE IMPEDANCE CONTROL BASED ON ISO/TS 15066* [Online]. IEEE. Disponible en: <https://arxiv.org/pdf/2311.13814.pdf>

Hu, M., Tian, Y., Wang, H., & Pan, X. (2019). *Optimal synthesis of pose repeatability for collaborative robots based on the ISO 9283 standard* [Online]. IEEE. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Hu-Mingwei-2/Publication/335496303\\_Optimal\\_synthesis\\_of\\_pose\\_r](https://www.researchgate.net/profile/Hu-Mingwei-2/Publication/335496303_Optimal_synthesis_of_pose_r)

peatability\_for\_collaborative\_robots\_based\_on\_the\_ISO\_9283\_standard/Links/5e1d950ea6fdcc283771364  
c/Optimal-Synthesis-of-Pose-Repeatability-For-Collaborative-Robots-Based-On-The-ISO-9283-Standard.pdf

Moreno, J., & Sánchez, C. (2015). *AUTOMATIZACIÓN EN EL ENSAMBLE BUSCANDO PRODUCTIVIDAD EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ* [Online]. IEEE. Disponible en:  
<https://www.colinnovacion.com/wp-content/uploads/Art%C3%ADculo-2-REVISTA-EDICI%C3%93N-4-VOLUMEN-2-Diciembre-2015.pdf>

ABB. (s.f.). *IRB 140*. [Online]. IEEE. Disponible en:  
<https://new.abb.com/products/es/3HAC020536-001/irb-140>

ABB. (s.f.). *IRB 2600*. [Online]. IEEE. Disponible en:  
<https://new.abb.com/products/es/3HAC020536-018/irb-2600>

## Apéndice

- [1] Video de simulación Robotstudio:  
<https://drive.google.com/file/d/1pqVV1ZL7Qddn9905wKzRAVdMwpSC1eJM/view?usp=sharing>
- [2] Video de demostración de visión computarizada para pieza A:  
<https://drive.google.com/file/d/1pqVV1ZL7Qddn9905wKzRAVdMwpSC1eJM/view?usp=sharing>
- [3] Video de demostración de visión computarizada para pieza B: