

# PROYECTO APM – CELDA ROBOTIZADA

Grupo:

- Juan Sebastián Piña Jaramillo.
- Leonardo Fabio Mercado Benítez.
- Nelson Daniel Cruz Camelo.
- Manuel Alejandro Rojas Cubillos.
- Michael Alexander Rodríguez Urbina

## 1. ORIENTACIÓN DEL PROYECTO.

### OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO.

Diseñar e implementar en un ambiente virtual, una celda robotizada para la soldadura del marco de bicicletas tipo playeras.

#### Requerimientos del cliente:

- La celda debe producir más de 81 marcos por turno de trabajo.
- La celda se debe adecuar a un espacio de 5 m x 4 m y a las condiciones ambientales de la fábrica.
- La celda debe ser segura para los operarios de la fábrica.
- La celda debe permitir un monitoreo visual seguro de la operación de soldadura realizada.
- La celda debe permitir un fácil acceso para su mantenimiento.
- La costo de la celda robotica debe estar dentro presupuesto del cliente.

#### Medidas de desempeño:

- El número de marcos producidos por turno debe ser mayor a 81 piezas.

#### Recursos disponibles:

- Se cuenta con 5 estudiantes de Ingeniería Mecatrónica de último semestre.
- Se cuenta con los softwares RobotStudio 2020 licenciado, Siemens NX, Studio 5000.

## 2. ESTUDIO DEL PROCESO.

#### Operaciones realizadas por el operario:

- a. Acondicionar el sitio de trabajo para el proceso de soldadura.
  1. Adecuar la matriz de soldadura.
  2. Preparar el equipo de soldadura (Inversora, electrodos, etc...).
- b. Ubicar los 12 tubos en la posición correspondiente dentro de la matriz de soldadura.

- c. Ubicar elementos auxiliares dentro de los tubos(Platinas de soporte rueda trasera, platinas de cubre cadena, platina de reflector, platina para freno, collarín del asiento).
- d. Realizar punteado de los tubos.
- e. Realizar el cordón de soldadura de los tubos.
- f. Realizar la soldadura de los elementos auxiliares.
- g. Liberar marco soldado de la matriz de soldadura.
- h. Colocar marco en unidad de almacenamiento.

**Identificar los recursos:**

- Se cuenta con una estación de soldadura MIG completa.
- Matriz de soldadura de marco de bicicleta playera rin 26".
- Dos soldadores experimentados.
- Elementos de protección (Guantes, delantales, botas, mascara de soldadura, cubre bocas.)
- Herramientas necesarias para el proceso.

**Determinar el nivel de complejidad de cada operación:**

Se identifica que el proceso más complejo es la elaboración del cordón de soldadura del marco, por tanto se propone una celda con al menos 8 grados de libertad.

**Identificar indicadores de productividad actuales:**

- Tiempo de ciclo = 10:49 min por marco.
- Tiempo de producción = 5 min por marco.
- Tiempo de setup = 5:49 min por marco.
- Porcentaje del tiempo de turno en espera = 7%.
- Porcentaje del tiempo de turno en operación = 43%.
- Porcentaje del tiempo de turno en setup = 50%.

**Identificar el orden de operaciones realizadas actualmente\***

1. Adecuar la matriz de soldadura.
2. Preparar el equipo de soldadura (Inversora, electrodos, etc...).
3. Ubicar los 12 tubos en la posición correspondiente dentro de la matriz de soldadura.
4. Ubicar elementos auxiliares dentro de los tubos(Platinas de soporte rueda trasera, platinas de cubre cadena, platina de reflector, platina para freno, collarín del asiento).
5. Realizar punteado de los tubos.
6. Realizar el cordón de soldadura de los tubos.
7. Realizar la soldadura de los elementos auxiliares.
8. Liberar marco soldado de la matriz de soldadura.
9. Colocar marco en unidad de almacenamiento.

### 3. Relación entre tareas y Diagrama de flujo.

#### Diagrama de flujo

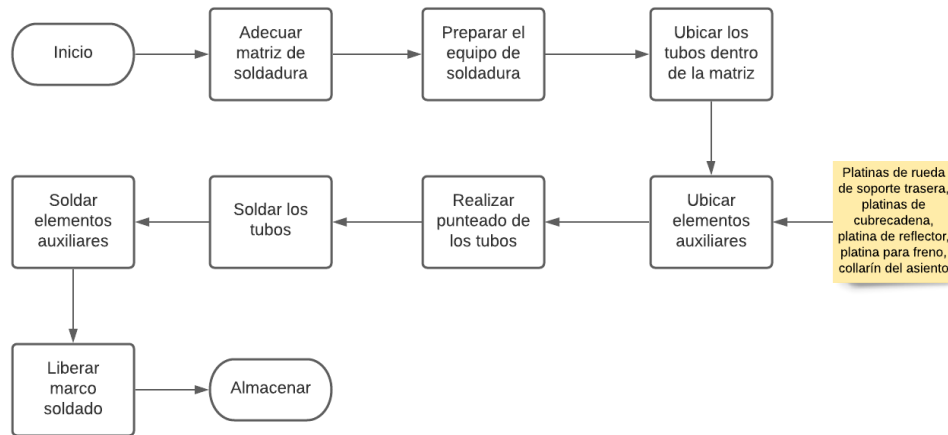


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de soldadura.

#### Definición de operaciones (Operario vs Robot)

Tabla 1. Asignación de tareas del proceso

Operaciones	
Robot	5, 6, 7
Operario	1, 2, 3, 4, 8, 9

La tabla contempla los pasos que serían realizados después de la automatización, ya sea para el robot o por el operario. La tabla esta identificada con los pasos enunciados en la **Identificación de orden de operaciones realizadas actualmente\***.

#### Identificación de las herramientas necesarias para el funcionamiento de la celda.

- Matriz de soldadura.
- Fuente de material (tubos y elementos auxiliares) fuente de donde se va a recoger el material.
- Posicionador de piezas.
- Controlador del robot.
- Estación MIG completa:
  - Antorcha de soldadura.
  - Hilo de soldadura.
  - Generador MIG con arrastre de cuatro rodillos.
  - Gas Ar-CO2.
- Robot específico para soldadura.
- Almacenaje del marco soldado.

#### **Posibles sensores**

- Medidor de presión para determinar el nivel de gas en los tanques de Argón.
- Sensor de presencia para determinar el cambio de los rollos de hilo de aporte del material de soldadura.
- Elementos de seguridad.
- Elementos de visualización del estado del proceso.

#### **4. Espacio Requerido.**

##### **Identificar espacio requerido para cada tarea.**

- Se necesita un espacio de 2.4 m x 1.2 m para la matriz de soldadura.
- Se necesita un espacio de 2.5 m x 2 m para el robot y el equipo de soldadura.
- Se necesita un espacio de 0.6 m x 0.4 m para el controlador del robot.

##### **Identificar la restricción del espacio que se tiene para la celda.**

- Se necesita de un espacio de al menos de 5 m x 4 m para la celda robotizada, en su interior se debe realizar el proceso de montaje de piezas y soldado de las mismas.

##### **Identificar el espacio diestro que requiere el robot.**

- Se requiere un robot con un alcance máximo al menos 1.85 m, además el robot debe contar con una articulación axial en el último eslabón(muñeca), y un Posicionador de piezas de 2 grados de libertad para sostener la matriz de soldadura.

#### **5. Distribución de alternativas:**

##### **Proponer alternativas de robots que cumplan los requerimientos solicitados.**

Alternativas de robots:

- **IRB 2600:** Capacidad de carga 12 Kg, distancia máxima 1.85 m
- **IRB 2600ID:** Capacidad de carga 8 Kg, distancia máxima 2.0 m
- **IRB 4600:** Capacidad de carga 20 Kg, distancia máxima 2.5 m

Desarrollar diferentes propuestas de distribución en la celda, basándose en tecnologías disponibles.

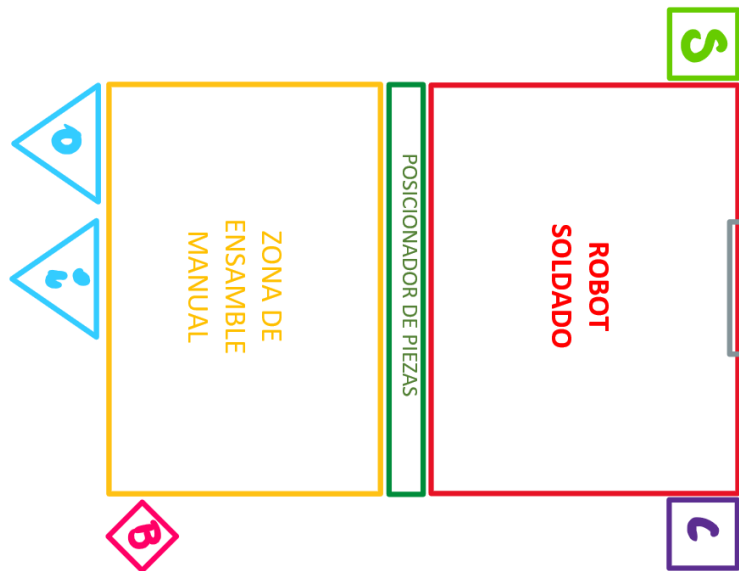


Figura 2. Layout Opción 1.

### Opción 1:

Esta alternativa presenta una distribución estándar, es decir, el robot de soldadura debe estar alejado de la zona de ensamble de tal modo que le permita al operario ensamblar los tubos y elementos auxiliares en la matriz de soldadura y a la vez permitirle al robot soldar un marco de bicicleta. Esta separación se realiza gracias al Posicionador de piezas.

De igual manera este Layout presenta la estación MIG, representado en color verde claro letra “S”, por fuera de la zona del robot al igual que su controlador representado con la letra “C”.

Tenemos también en esta alternativa la entrada y salida de material representados respectivamente por la letra “I” y “O”, por el costado izquierdo, fuera de la celda, y los botones de operación al costado inferior que esta representados por la letra “B”.

Adicionalmente esta opción de distribución cuenta con una puerta representada en un rectángulo de color gris, en el costado derecho de la celda, que facilita el acceso al robot para realizar cualquier tipo de mantenimiento.

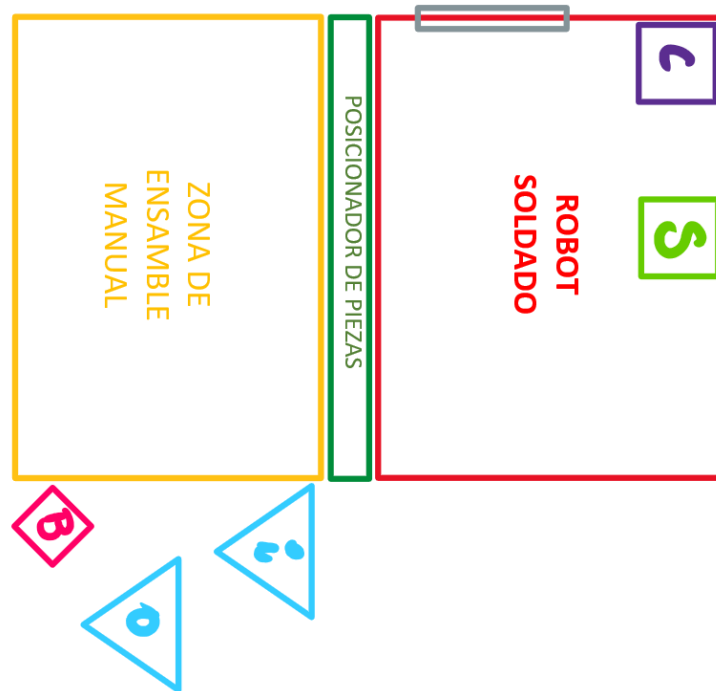


Figura 3. Layout Opción 2.

### Opción 2:

Esta alternativa presenta una distribución para dos robots, un robot soldador representado en color rojo y un robot representado en color amarillo para realizar el ensamble de los tubos y elementos auxiliares con la matriz de soldadura.

De igual manera este Layout presenta la estación MIG, representado en color verde claro letra "S", por fuera de la zona del robot al igual que su controlador representado con la letra "C".

Tenemos también en esta alternativa la entrada y salida de material representados respectivamente por la letra "I" y "O", por el costado inferior, fuera de la celda, y los botones de operación al costado inferior que esta representados por la letra "B".

Adicionalmente esta opción de distribución cuenta con una puerta representada en un rectángulo de color gris, en el costado superior de la celda, que facilita el acceso al robot para realizar cualquier tipo de mantenimiento.

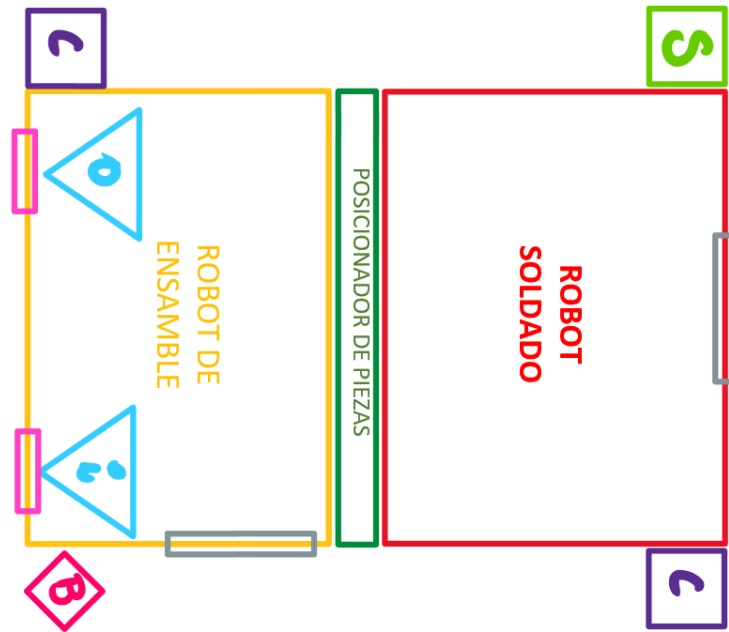


Figura 4. Layout Opción 3.

### Opción 3:

Esta alternativa se presenta con dos robots, uno para el proceso de soldadura, y otro para el proceso de ensamble de los tubos y piezas auxiliares a la matriz de soldadura.

De igual manera este Layout presenta la estación MIG, representado en color verde claro letra "S", por fuera de la zona del robot al igual que su controlador representado con la letra "C".

Tenemos también en esta alternativa la entrada y salida de material representados respectivamente por la letra "I" y "O", al interior de la celda robotizada, de forma tal que el robot ensamblador pueda tomar fácilmente las piezas a soldar, y ubique en un conveyor o estiba el marco ya soldado.

Adicionalmente esta opción de distribución cuenta con dos puertas representadas en un rectángulo de color gris, en el costado derecho de la celda y en el costado inferior, que facilita el acceso al robot soldador y al robot de ensamble respectivamente, de forma que se pueda realizar cualquier tipo de mantenimiento.

**Evaluar individualmente cada alternativa.**

### Opción 1:

- **Ventajas:**
  - Permite el desarrollo de las actividades de la máquina y el hombre de manera simultánea.
  - Fácil acceso del materia.
  - Permite un fácil acceso para mantenimiento.
  - Fácil acceso al controlador y a la estación MIG.
  - Cercanía de los botones de control de proceso al operario.

- **Desventajas:**
  - Utiliza mayor cantidad de cableado.
  - El operario debe salir de la celda para ingresar los materiales a procesar.
  - El operario debe salir de la celda para que el posicionador de piezas pueda ser accionado.

#### **Opción 2:**

- **Ventajas:**
  - Permite el desarrollo de las actividades de la máquina y el hombre de manera simultánea.
  - Fácil acceso del materia.
  - Permite un fácil acceso para mantenimiento.
  - Utiliza menos cantidad de cableado.
  - Cercanía de los botones de control de proceso al operario.
- **Desventajas:**
  - El operario debe salir de la celda para ingresar los materiales a procesar.
  - El operario debe salir de la celda para que el posicionador de piezas pueda ser accionado.
  - No permite el fácil acceso al controlador y a la estación MIG.

#### **Opción 3:**

- **Ventajas:**
  - Permite un fácil acceso para mantenimiento.
  - Fácil acceso al controlador y a la estación MIG.
  - Cercanía de los botones de control de proceso al operario.
  - No requiere un operario para el ensamble de los tubos y los elementos auxiliares.
  - No requiere un operario cargando material.
  - Menos tiempo de ciclo, es decir, mayor rapidez en el proceso.
  - Mayor seguridad.
  - Mayor control del proceso.
- **Desventajas:**
  - Costo de inversión alto.
  - Más equipos para utilizar.
  - Más complejo de sincronizar el proceso.
  - Mayor cableado eléctrico.



## 6. Solución Óptima:

**Seleccionar la mejor alternativa teniendo en cuenta costos, medidas de desempeño y requerimientos de cliente.**

*Tabla 2. Matriz de decisión de opciones.*

ITEM	CRITERIO	PONDERACIÓN	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
1	La celda debe producir más de 81 marcos por turno	21	1	1	1
2	La celda debe adecuarse a un espacio de 5 m x 4 m y condiciones ambientales	16	1	1	0
3	El costo de la celda debe estar dentro del presupuesto del cliente	19	1	1	0
4	La celda debe ser segura para los operarios de la fábrica	19	1	1	1
5	La celda debe permitir un monitoreo visual seguro de la operación realizada	12	1	1	1
6	La celda debe permitir un fácil acceso para su mantenimiento	14	1	0	1
<b>TOTALES</b>		100	100	86	65

**Optimizar la distribución (Layout) de los elementos utilizados.**

Pendiente a una siguiente iteración.

**Seleccionar y documentar los elementos necesarios (Hardware y Software) para la implementación de esta solución.**

Para esta solución se selecciona el siguiente robot:

- **IRB 2600ID:** Capacidad de carga 8 Kg, distancia máxima 2.0 m.

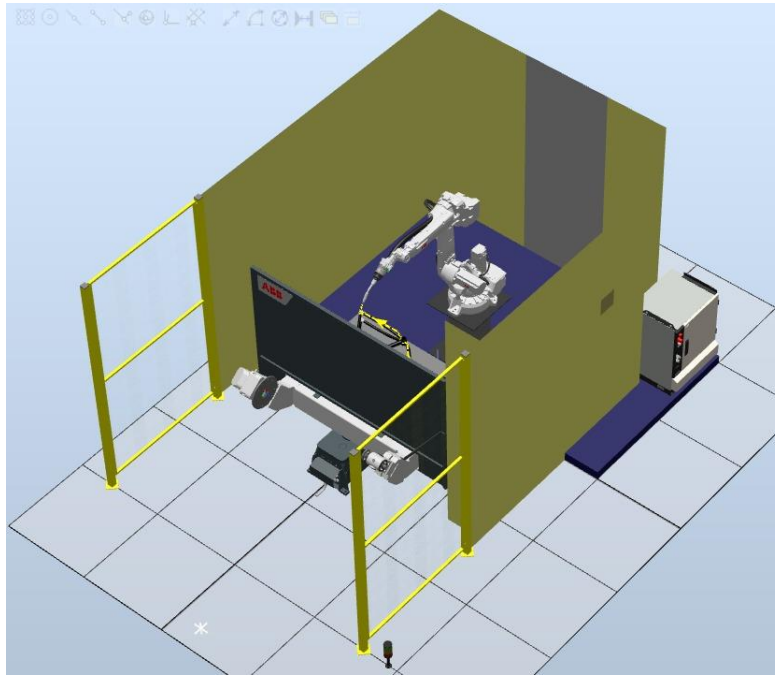
Cuyas características se anexan a este documento.

Los demás elementos de hardware se enlistan a continuación:

- Posicionador de piezas: IRBP R.
- Controlador IRC5 de gabinete simple.
- Estación completa de soldadura MIG Fronius TPS 4000.
- Tool de soldadura.
- Sensores.
- Almacén de material de entrada: contenedor de material.
- Almacén de marcos de salida: contenedor de material.

Para la implementación virtual de esta solución se empleará el Software RobotStudio.

## 7. Seguridad:



*Figura 5. Idea de celda robotizada propuesta. Fuente (ABB)*

### Identificación de las Fuentes de Riesgo

A partir de la propuesta de diseño se Identificaron las fuentes de riesgo de la celda cuando esta se encuentra en operación, en mantenimiento y en la salida de material de la celda. A continuación se enumeran estos riesgos.

*Funcionamiento normal de la celda (tiempos de producción):*

- **(Rg1)** Funcionamiento Anormal de la celda: Los componentes móviles no están funcionando correctamente, lo que puede generar daños físicos en la celda, como daños a los operadores que se encargan de ensamblar el marco en la matriz
- **(Rg2)** Golpe del Robot a Los operarios: Si el robot está funcionando mientras un operario está dentro de la zona de soldadura, el robot puede lastimar al operario con sus movimientos.
- **(Rg3)** Daño a la visión de los operarios de la fábrica: La luz emitida en el proceso de soldadura puede provocar daños a la salud visual del operario, en especial el que se encarga del ensamble de las bicicletas en la matriz
- **(Rg4)** Daño por quemaduras Debido a la Soldadura: El arco eléctrico generado por el proceso de soldadura genera altas temperaturas que pueden afectar al operario, especialmente el que está en la zona de ensamble, ya que está cercano a la zona donde se realiza la soldadura

- **(Rg5)** Incendio de la celda: Dado que en la celda se trabaja con componentes eléctricos y se genera un arco eléctrico es posible que por algún fallo en el proceso se genere un incendio en algún lugar de la celda.
- **(Rg6)** Ingreso de personal en la celda robótica: Cuando hay operarios dentro de la celda, el robot puede lastimarlos.
- **(Rg7)** Fugas de gases usados en los procesos de soldaduras: El proceso de soldadura MIG genera gases que son nocivos para las personas. La concentración de estos gases dentro de la celda puede traer problemas de salud a los operarios

#### *Mantenimiento de La Celda:*

- **(Rg8)** Movimientos del robot mientras se realizan operaciones de mantenimiento: Esto pone en riesgo tanto al robot como al operario, ya que el robot no tiene la capacidad de identificar que hay personal en la celda. Si el robot empieza su proceso por alguna razón puede lastimar al operario, generando lesiones en él.

#### *Entrada y Salida del material. (Zona de ensamble)*

- **(Rg9)** Mala posición del operario al cargar los perfiles, descargar el marco y ubicar los perfiles en la matriz: Ya que el operario tiene que cargar constantemente material para asegurar el flujo de material a la zona de ensamble es importante garantizar la salud física del operario para evitar lesiones o fatiga.
- **(Rg10)** Posicionador de piezas Inicia el giro cuando el operario está cerca: La matriz donde se ensambla el marco de la bicicleta esta sostenida por una mesa que gira para posicionar el marco en la zona de soldadura. El giro que genera esta mesa puede lastimar al operario si este está cerca de ella.

### **Identificación del riesgo admisible.**

Se propone que el riesgo admisible depende directamente del nivel de riesgo inicial. En la tabla de clasificación de riesgos de más adelante los riesgos se clasifican según su gravedad, probabilidad y posibilidad de evitar. Se considera que la gravedad de las lesiones en la celda robótica no se puede reducir, porque la gravedad de estos es causada por la naturaleza del proceso. Se buscará reducir las frecuencias en las que se dan los niveles de riesgos. Por último, en los elementos que requieren sensores y control se considera que el nivel de riesgo es admisible si el nivel de prestaciones (PL) de los componentes es mayor al nivel del riesgo.

### **Identificación del nivel de riesgo.**

Para cada uno de estos riesgos se estima el nivel de riesgo como se propone en la norma EN ISO 13849-1. Según la norma, el riesgo se debe clasificar según su gravedad (G), la frecuencia de exposición al riesgo (F) y la posibilidad que se tiene de evitar o limitar el daño. ABB provee una interpretación para clasificar el nivel de riesgo. Este se muestra a continuación.

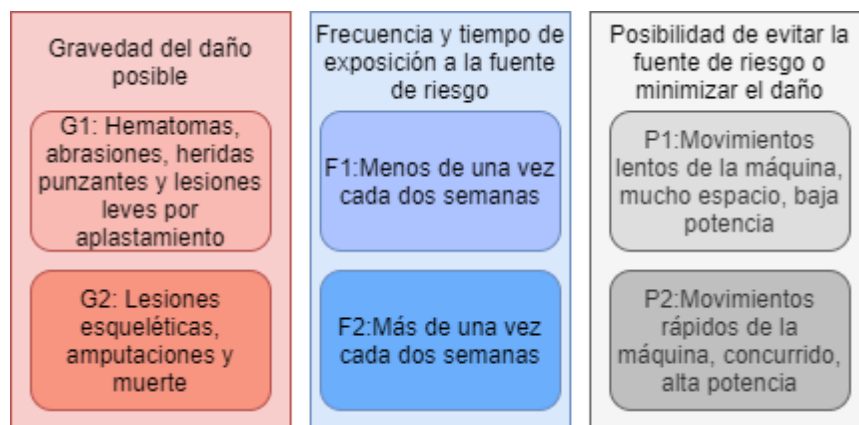


Figura 6. Clasificación utilizada para calcular el riesgo.

Una vez se clasifica cada riesgo en cada categoría, se calcula el nivel de prestaciones requerido “PLr” que es necesario para reducir la fuente de riesgo. Usando el siguiente árbol de clasificación se puede clasificar el PLr a partir de la clasificación en categorías explicada anteriormente.

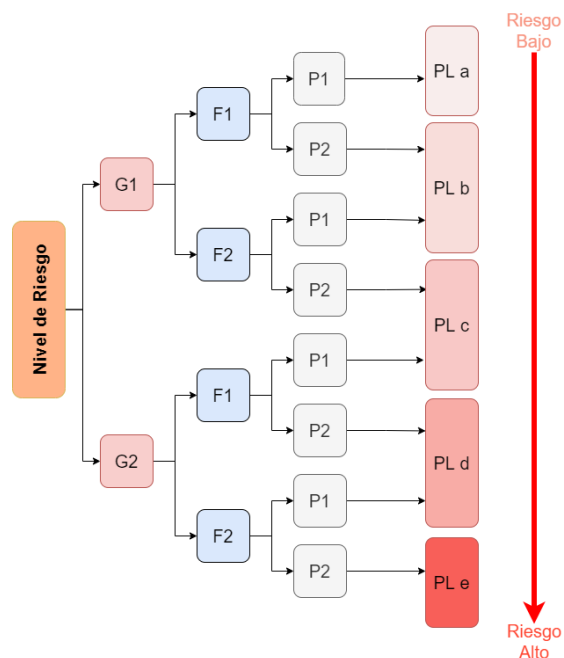


Figura 7. Árbol de clasificación del riesgo usada en el proyecto.

En la Tabla 3. Clasificación de caga riesgo. que se muestra a continuación se clasifican cada uno de los riesgos antes descritos:

Tabla 3. Clasificación de caga riesgo.

Riesgo	Gravedad	Frecuencia	Posibilidad	PLr
Rg1	G2	F1	P1	PL c
Rg2	G2	F1	P1	PL c
Rg3	G2	F2	P1	PL d
Rg4	G2	F1	P1	PL c

Rg5	G2	F1	P1	PL c
Rg6	G2	F1	P1	PL c
Rg7	G1	F1	P1	PL a
Rg8	G2	F2	P1	PL d
Rg9	G1	F2	P1	PL b
Rg10	G2	F2	P1	PL d

### **Reducción de Riesgos:**

Según la directiva de máquinas 2006/42/CE existen tres formas de reducir el riesgo. Estas son:

1. Evitar el riesgo en la etapa de diseño.
2. Uso de dispositivos de protección o seguridad.
3. Informar al usuario.

Para la lista de riesgos antes mencionada se usaron estos tres métodos. A continuación, se detallan las herramientas utilizadas para reducir los riesgos identificados.

#### ***Rg 1: Funcionamiento Anormal de la celda.***

Para reducir este riesgo se ubicará un botón de parada de emergencia en la estación de control. De hecho, este botón de paro de emergencia viene incluido en la celda provista por ABB, junto con botones de paro de emergencia en el controlador.

#### ***Rg2: Golpe del Robot a los operarios.***

Para advertir al personal de la planta la delimitación de la zona donde está el robot, se decidió utilizar una cinta de peligro alrededor de la celda. Otras medidas se llevaron a cabo, las cuales se documentan en la reducción del riesgo Rg8

#### ***Rg3: Daño a la visión de los operarios de la fábrica.***

La celda robotizada viene con cercamientos tipo lámina alrededor de la zona de soldadura. Adicionalmente hay una lámina en la mesa de posicionamiento que impide que el operario que ensambla la matriz sea afectado por el arco

#### ***Rg4: Daño por quemaduras debido a la soldadura.***

La lámina que separa la zona de ensamble de la de soldadura también cumple la función de aislar al operario que ensambla la bicicleta en la matriz del calor, humos y salpicaduras generadas en la soldadura.

#### ***Rg5: Incendio de la celda***

Para evitar la entrada de materiales inflamables a la celda se ubicará a la entrada de la celda una señal de prohibido el ingreso de material inflamable. También se colocará un extintor a la entrada de la celda para el caso de una emergencia

**Rg6: Ingreso de personal en la celda robótica**

Para disminuir este riesgo se llevarán a cabo varias acciones: Los cercamientos de lámina restringen el acceso a la celda, de tal modo que solo exista un punto de acceso. Adicionalmente ubicando un sensor de guardas conectadas a la tarjeta X11CAT3 asegurará que el robot se frene y permanezca cerrado mientras la puerta se encuentre abierta. Se ubicarán señalizaciones restringiendo el paso de la puerta de entrada de la zona de soldadura. Por último se ubicará un testigo LED y una alarma industrial que indica cuando se frena el robot.

**Rg7: Fuga de gases usados en el proceso de Soldadura**

Se usará una campana extractora y un sensor de gases industrial para asegurar que no se concentren humos nocivos dentro de la celda.

**Rg8: El robot se mueve en la celda cuando se realizan operaciones de mantenimiento**

Se usará una cerradura con bloqueo de cierre por candado para evitar que se cierre la puerta mientras un operario está realizando el mantenimiento de la celda. Esta cerradura tendrá una palanca interna que se puede abrir sin restricciones, en el caso que un operador se quede encerrado dentro de la celda y el robot empiece a funcionar. Por último se dispondrá un interruptor principal de energía que se puede bloquear en posición de apagado.

**Rg9: Mala posición ergonómica del operario de la zona de ensamble**

Se diseñará un carro que facilitará el transporte del material que tenga que llevar el operador. Este carro permitirá que el operador pueda realizar el transporte de material en posiciones cómodas y ergonómicas.

**Rg10: El posicionador de piezas Inicia el giro con el operario cerca**

Con sensores de presencia ausencia se garantizará que el posicionador no gire cuando el operario esté dentro de la zona de ensamble. Ubicando el control de procesos fuera de la celda se obligará al operario a salir de ella para dar la orden a la mesa de girar

**Evaluación de Riesgos Finales**

A partir de la evaluación de riesgo se considera que los dispositivos de control proveen la seguridad suficiente al ser controlado con un controlador ABB(incluido en la solución final), el cual tiene un nivel de prestaciones PL e. Con las medidas adoptadas se redujo la frecuencia en las que se dan los riesgos. Con esto se considera que el riesgo se redujo a un nivel aceptable.

**Iterar hasta obtener niveles de riesgo admisible.**

Dada la determinación del riesgo admisible de esta solución, no se fue requerido iterar sobre el proceso de reducción del riesgo.

## **8. Documentación y pruebas:**

### **Simulación de la solución en un entorno virtual.**

La simulación de la solución en un entorno virtual se encuentra en una etapa de desarrollo, por el momento ya se cuenta con el Robot IRB 2600ID y el Posicionador de piezas IRBP R dentro del software RobotStudio como se muestra en la Figura 5.

### **Evaluar la funcionalidad y la seguridad en el entorno virtual .**

La solución se encuentra pendiente de su evaluación.

### **Documentar la solución final.**

La solución se encuentra pendiente de su documentación final tales como manuales e informes técnicos, la documentación en línea se encuentra en desarrollo en el siguiente [link](#).