



Universidad Nacional de Mar del Plata  
Facultad de Ingeniería Mecánica

---

Diseño y adaptación de una apiladora de  
paquetes manual a semiautomática low- cost  
para la industria alimenticia.

TRABAJO FINAL DE GRADO

Jefe del proyecto: Poblet Facundo

Director del proyecto: Ricardo Zucal

Enero 2022



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Universidad Nacional de Mar del Plata  
Facultad de Ingeniería Mecánica

---

Diseño y adaptación de una apiladora de  
paquetes manual a semiautomática low- cost  
para la industria alimenticia.

TRABAJO FINAL DE GRADO

Jefe del proyecto: Poblet Facundo  
Director del proyecto: Ricardo Zucal  
Enero 2022



Mar del Plata 2022

Nota de aceptación:

---

---

---

---

Firma del director:

---

Firma del jurado:

---

Firma del jurado:

---



## **Agradecimientos**

Dedico este espacio de la tesis para escribir algunas líneas sobre las personas que estuvieron conmigo durante todo este camino.

Quería agradecer a mi familia por el apoyo continuo, tanto emocional como económico. Gracias por brindarme un contexto tan favorable para poder abordar una carrera tan difícil como lo es la ingeniería de la manera más amena posible.

En particular, quería agradecer a mi padre por motivarme a seguir esta carrera, por enseñarme a afrontar problemas en la vida cotidiana y no darme por vencido hasta encontrar una solución.

Quería agradecer también a mi novia por estar siempre y apoyarme en los momentos más difíciles de la carrera.

Agradecer a aquellos profesores como Aníbal Márquez, Daniel Sosa, Ricardo Zucal, Alejandra Uribarri, por ser personas que tomé como ejemplo de sabiduría y predisposición a la hora de transmitir conocimiento.

## ÍNDICE

1.1. Planteo del problema	4
1.2. Objetivos del proyecto	5
1.2.1. Objetivo general	5
1.2.2. Objetivos específicos	6
1.3. Detalle del equipo a diseñar	8
1.3.1. Ubicación del equipo	8
1.3.2. Funcionamiento general del equipo	8
1.3.3. Especificaciones básicas y consideraciones para la adaptación y diseño	9
1.3.4. Equipo actual. Medidas generales.	10
1.4. Análisis ergonómico	10
1.4.1. Aplicación Método OCRA Check-List (ICKL) / movimientos del operario sin mejoras en el equipo, productividad normal (50 BPM)	12
1.4.2. Aplicación método OCRA Check-List (ICKL) / movimientos del operario con mejoras en el equipo, productividad alta (80 BPM)	18
2. Desarrollo	22
2.1. Primer parte. Plataforma con movimiento de vaivén.	22
2.1.2. Selección del mecanismo	23
2.1.2. Modelo computacional	24
2.1.3. Secuencia de operaciones para la fabricación del mecanismo.	25
2.1.4. Transmisión de potencia, motorreductor - manivela	30
2.1.5. Plataforma fija y estructura de soporte de las plataformas:	34
2.1.6. Análisis cinemático. Determinación de la velocidad de giro del eje transmisor.	38
2.1.7. Verificación de la potencia del motorreductor	41
2.1.8. Frecuencia de trabajo aproximada. Variador de frecuencia.	42
2.1.9. Verificación del torque para las RPM calculadas	44
2.2. Segunda parte. Derivador de paquetes y cinta modificada.	44
Facundo Poblet – Trabajo Final – FI - UNMdP	1

2.2.1. Modelo computacional	46
2.2.2. Selección del mecanismo	46
2.2.3. Secuencias de operaciones para la fabricación del mecanismo	50
2.2.4. Verificación del actuador	55
2.2.5. Sistema neumático para el accionamiento.	56
2.2.5. Modificación de la dimensión de la cinta y su soporte.	58
2.2.6. Ubicación del sensor de barrera	60
3. Análisis de esfuerzos	61
3.1. Caso 1. Análisis para situación hipotética.	61
3.2. Caso 2. Análisis para el impacto de paquetes.	63
3.2.1 Coeficiente multiplicador “Kdinámico”:	64
3.2.2 Punto crítico a analizar	66
4. Lógica del PLC. Acciones del equipo	68
4.1. Conceptos básicos	68
4.2. Acciones a realizar. Entradas y salidas del sistema	73
4.3. Selección del controlador	74
4.4. Programación de la lógica	76
4.4.1. Parte 1. Funcionamiento apiladora:	77
4.4.2. Parte 2: Generación de la marca 1 (M1). Falla en los variadores:	79
4.4.3. Parte 3: Accionamiento de la clapeta y generación de la marca 3 (M3). Falla en la electroválvula:	80
4.4.5. Parte 5: Muestra visual de las fallas y estado de habilitación de la máquina. Retroiluminación y “message text” por falla.	87
5. Costo estimado de la adaptación	89
5.1. Repuestos	89
5.2. Materiales piezas y estructura	90
5.3. Mecanizado de piezas	90
5.4. Costo de plegado, solado y corte	92
Facundo Poblet – Trabajo Final – FI - UNMdP	2

6. Conclusión	94
7. Trabajos futuros	95
8. Bibliografía	96
9. Anexos	98

# 1. Introducción

## 1.1. Planteo del problema

Actualmente, en las industrias, existe una tendencia continua a evolucionar de manera tal de alcanzar producciones cada vez más altas a costos relativamente más bajos. Esto se logra optimizando los procesos y la utilización de los recursos disponibles. El gran avance de la tecnología y su correcta implementación hace esto posible, y acota la necesidad de asignar personas físicas para realizar tareas repetitivas que estos equipos logran, evitando de esta manera, a largo plazo, problemas en la salud de los trabajadores.

Existen distintos tipos de máquinas que componen una línea productiva, las mismas pueden ser manuales o autónomas (con personal capacitado para controlar la operación), y pueden encontrarse, tanto en el sector de proceso, como en el sector de empaque de una industria productora de alimentos. Sin embargo, el gran problema de la adquisición de equipos autónomos es el elevado costo que poseen.

La mayoría son de compleja ingeniería y de origen internacional, lo que involucra plazos de entrega mayores, así como también gastos de aduana, transporte, montaje y capacitaciones para su uso. Además, están constituidos por piezas que pueden sufrir desgaste o rotura (siendo este último acontecimiento, un gran problema a la hora de planificar recambios, debido al evento imprevisto y a los lead-time altos que estos repuestos poseen al no conseguir una alternativa de manera local).

En el presente, la planta donde se desea hacer una mejora, ubicada en Mar de Plata, cuenta, en una de las líneas productivas, con máquinas que realizan la acción de armar cajas y colocar paquetes en su interior de manera totalmente autónoma (Imagen 1). Las mismas tienen un costo estimado de 190.000 U\$, lo que resulta una inversión difícil de afrontar a la hora de extrapolar esta maquinaria a las otras líneas productivas.



Imagen 1. Máquinas armadoras de cajas y colocadoras de paquetes completamente autónomas.

En las líneas donde no se presentan este tipo de máquinas autónomas los operarios deben realizar los movimientos de manera manual.

Este accionar manual tiene como desventaja el constante trabajo repetitivo, que con el paso del tiempo, puede derivar en problemas físicos irreversibles, así como también desmotivación en los trabajadores.

Por otro lado, el accionar manual tiene como desventaja el impedimento de aprovechar la capacidad máxima de la máquina previa, la envasadora automática mostrada en la en la sección 1.2.1 (Imagen 2).

De las desventajas mencionadas anteriormente surge la necesidad de encontrar una solución a este problema, motivo por el cual se afrontó el presente proyecto.

## 1.2. Objetivos del proyecto

### 1.2.1. Objetivo general

El objetivo de este trabajo es obtener un diseño de una máquina semi-automática que pueda dar una solución a las desventajas mencionadas en la sección 1.1.

Esta máquina no resulta de un diseño completamente nuevo sino que surge a partir de la cinta transportadora ya instalada en planta (Imagen 4).

La apiladora semiautomática debe ser ergonómica, segura para su uso y contener materiales que no se corroan con el paso del tiempo. Debe cumplir con las dimensiones correctas según el espacio físico en la planta y adaptarse a la salida de una máquina posterior a la envasadora cuyas dimensiones son conocidas.

### 1.2.2. Objetivos específicos

Se resumen en los siguientes puntos:

- Diseñar una máquina semiautomática simple, segura, robusta y de bajo costo para apilar paquetes de producto terminado dentro de cajas, tomando como modelo base la máquina ya instalada. Los métodos de fabricación de las piezas se limitan únicamente a los agregados que se le realicen a la máquina existente (mecanismo de la plataforma y mecanismo derivador), por lo que para las partes no modificadas no se detalla cómo son los métodos de fabricación.
- Dentro del diseño se debe considerar el diseño de una plataforma móvil donde van montadas las cajas para recibir los paquetes luego de la cinta transportadora. En este diseño, se incluye el mecanismo para la movilidad de la plataforma teniendo en cuenta la velocidad lineal de los paquetes en la cinta. A su vez, se debe diseñar el mecanismo derivador de paquetes. Además, dimensionalmente, debe adaptarse a un Seal Checker que se encuentra ubicado luego de la envasadora y antes de la apiladora a diseñar (Imagen 2), cuya función, como su nombre lo indica, es verificar el correcto sellado de los paquetes mediante un mecanismo servo accionado el cual no se va a entrar en detalles en el presente proyecto.
- Detallar los movimientos que el operario realizaba antes de la mejora y luego de la misma con el fin de mostrar, desde el punto de vista ergonómico, que el operario tiene una menor exigencia física para una mayor productividad.

- Selección y verificación del motoreductor correspondiente. Selección de variadores de frecuencia, rodamientos, actuadores neumáticos y mando de control (PLC), de acuerdo con los requerimientos y condiciones de servicio de la máquina.
- Realizar una verificación mecánica de el/los componentes más críticos de la máquina, considerando situaciones particulares / eventuales que pueden llevar a ocasionar diversos esfuerzos en algún componente.
- Identificar las acciones que la máquina debe realizar, teniendo en cuenta los mecanismos asociados. Considerar las entradas y salidas del sistema para programar la lógica que comanda la máquina mediante el software LOGO Comfort de Siemens. El cableado y el diagrama eléctrico no se detalla.
- Finalmente obtener los planos correspondientes del equipo en SolidWorks. Los mismos contienen información tal como: explotado, piezas asociadas con la numeración correspondiente, cantidad, tolerancias de fabricación general, indicación de soldaduras y materiales cada pieza.

### 1.3. Detalle del equipo a diseñar

#### 1.3.1. Ubicación del equipo

Como se mencionó en la introducción, el equipo se encontrará en el sector de empaque, en la última etapa del proceso productivo. Físicamente estará ubicada en el punto “3” de la Imagen 2, luego del seal checker y de la envasadora.

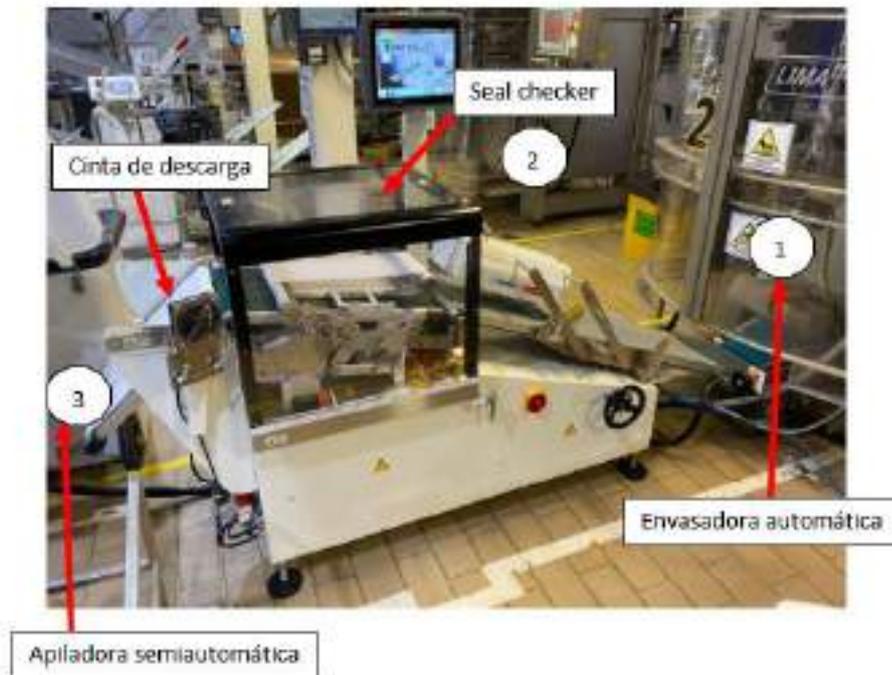


Imagen 2. Distribución de equipos.

#### 1.3.2. Funcionamiento general del equipo

Luego del equipo (2), se va encontrar la máquina a diseñar. La misma recibe los paquetes que son impulsados por la cinta de descarga del seal checker mostrado en la Imagen 2.

Estos paquetes van a recorrer la cinta del equipo (3) (misma cinta mostrada en la Imagen 4) hasta llegar a su extremo. En este mismo momento los paquetes no tienen más cinta que recorrer y serán despedidos por la misma.

Es en este punto en donde se agrega algún mecanismo que dirija los paquetes, (cuestión que se va a detallar en los capítulos siguientes).

Estos paquetes caerán dentro de dos (2) cajas que estarán posicionadas para recibir los paquetes. Las cajas (armadas manualmente) estarán ubicadas sobre una plataforma transversal a la cinta con movimiento de vaivén con el fin de lograr que los paquetes no caigan todos en un mismo lugar sino que se distribuyan dentro de las cajas de una manera más uniforme y no uno

encima del otro. El tipo de mecanismo que mueve la plataforma también se va a detallar en los capítulos siguientes.

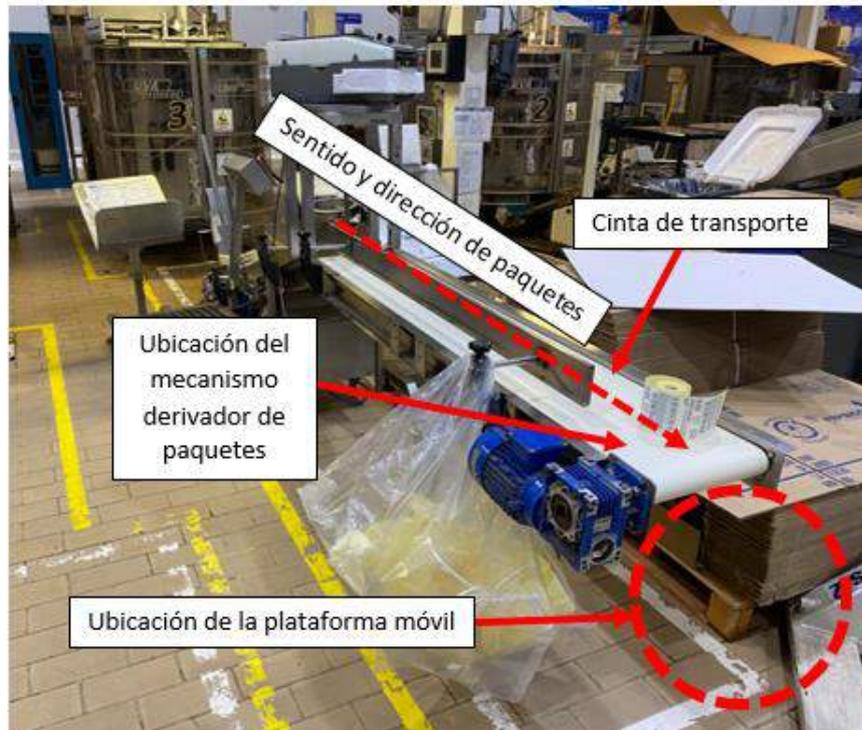


Imagen 3. Esquema de funcionamiento equipo.

### 1.3.3. Especificaciones básicas y consideraciones para la adaptación y diseño

- ❖ Debido al espacio físico, el largo de la cinta más el del seal checker no puede superar los 5300 mm, que es el espacio máximo permitido para que no haya problemas en la circulación del personal.
- ❖ La altura de la entrada de la apiladora debe coincidir con la altura de la salida del seal checker para que no haya problemas en la transferencia del producto. Esta altura debe ser de 930 mm  $\pm$ 30 mm (esta dimensión es fundamental ya que limita la altura de entrada del equipo a diseñar).
- ❖ La presión de la línea de aire comprimido con la que trabaja la planta es de 6 bar.
- ❖ Tensión eléctrica 220 V, 50Hz.
- ❖ Ausencia de puntos de atrapamiento.

- ❖ La plataforma oscilante debe tener el largo equivalente para que entren dos cajas. El alto de la misma debe tal que el operario pueda sujetar la caja estando parado con los brazos a 90°, este alto es  $750 \pm 20$  mm.

#### 1.3.4. Equipo actual. Medidas generales.

A continuación se muestra una imagen con las medidas del equipo actual del cual se parte, al cual se le realizarán las modificaciones pertinentes.

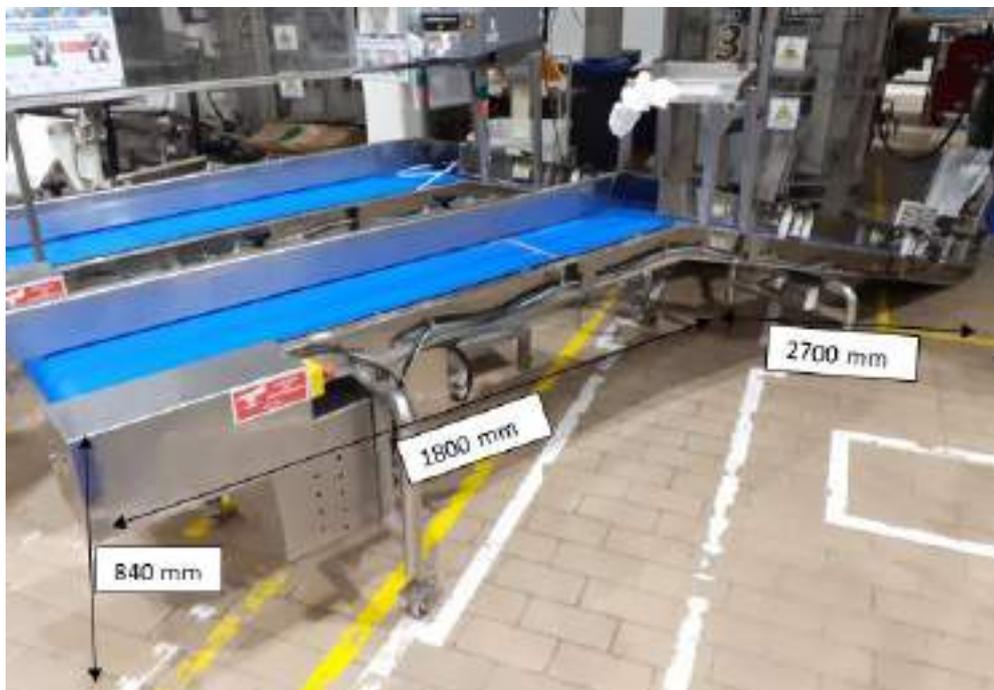


Imagen 4. Máquina apiladora actual, sin modificaciones, medidas básicas.

#### 1.4. Análisis ergonómico

En este apartado de la introducción, se abordarán los temas relacionados con el puesto de trabajo en cuestión.

La idea principal es explicar las acciones que el operario realiza actualmente en el puesto de trabajo y luego de la mejora. Se hará un análisis ergonómico basado en el método OCRA Check-List, método más aplicado y difundido en puestos laborales donde ocurren tareas repetitivas.

Se aplicará el método OCRA para las condiciones actuales (envasadora trabajando a bajas BPM, sin mejora).

En base a estos resultados, se explicará brevemente para el caso hipotético de: ¿qué pasaría si se aplica el método para una productividad igual a la alcanzada luego de la mejora pero para la misma secuencia de movimientos de la situación actual? (envasadora trabajando a altas BPM, sin mejora). Luego, se volverá a aplicar el análisis ergonómico después de la mejora, explicando la secuencia de movimientos nueva, con el fin de demostrar que las condiciones laborales mejoraron para una mayor productividad.

Método OCRA Check-List:

Check List OCRA permite valorar el riesgo asociado al trabajo repetitivo. El método mide el nivel de riesgo en función de la probabilidad de aparición de trastornos músculo-esqueléticos en un determinado tiempo, centrándose en la valoración del riesgo en los miembros superiores del cuerpo.

Muchos tipos de tareas, por ejemplo, las realizadas en cadena, obligan a los trabajadores a realizar movimientos repetitivos que, en ocasiones, pueden derivar en problemas para la salud. El exceso por intensidad, duración o frecuencia de movimientos repetitivos produce efectos perjudiciales sobre la salud, que se ven agravados por el mantenimiento de posturas forzadas, la fuerza ejercida o la inexistencia de pausas que permitan la recuperación muscular.

La mayor parte de los trastornos músculo-esqueléticos debidos a movimientos repetitivos (como las tendinitis o el síndrome del túnel carpiano) aparecen gradualmente, tras largos periodos de exposición a unas condiciones de trabajo demasiado exigentes.

El Check List OCRA realiza un detallado análisis de muchos de los factores de riesgo existentes en las tareas realizadas en el puesto de trabajo. Para obtener el nivel de riesgo se analizan los diferentes factores de forma independiente, ponderando su valoración por el tiempo durante el cual cada uno está presente dentro del tiempo total de la tarea. De esta forma se puntúan los factores de riesgo empleando escalas que pueden ser distintas para cada uno. Las más frecuentes oscilan entre 1 y 10, pero otras pueden alcanzar valores superiores. A partir de los valores de las puntuaciones de cada factor se obtiene el Índice Check List OCRA (ICKL), valor numérico que permite clasificar el riesgo como Óptimo, Aceptable, Muy Ligero o Incierto, Inaceptable Leve, Inaceptable Medio o Inaceptable Alto.

A partir de esta clasificación del riesgo, se sugieren acciones correctivas como llevar a cabo mejoras del puesto (objeto del presente proyecto), la necesidad de supervisión médica o el entrenamiento específico de los trabajadores para ocupar el puesto.

Información relevada:

Visitando la línea productiva, se relevaron todos los movimientos involucrados y tiempos correspondientes a la jornada laboral de un operario en el puesto de trabajo en las condiciones actuales (50 BPM), con el fin de poder hacer los cálculos posteriores para el análisis del puesto.

Algunos datos relevados importantes a tener cuenta son:

- Duración de la jornada laboral: 8 horas.
- Tiempo de almuerzo, desayuno y necesidades (baño) : 1 hora
- Descansos de 10 minutos cada 1 hora de trabajo

1.4.1. Aplicación Método OCRA Check-List (ICKL) / movimientos del operario sin mejoras en el equipo, productividad normal (50 BPM)

De acuerdo a lo mostrado en la Tabla 1 se realizan los cálculos correspondientes.

Tabla 1.

*Secuencia de movimientos 50 BPM.*

<b>Imagen</b>	<b>Descripción /observaciones</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Tiempo porcentual respecto al total (%)</b>
	Armado de caja.	9 segundos	11,4%

	Colocación de paquetes en las cajas. Acción repetitiva de alta duración. 12 movimientos de rotación x ciclo. Peso levantado: 0,75 kg.  <b><u>(ICKL 1).</u></b>	52 segundos	65,82%
-	Tiempo muerto durante la colocación de paquetes	10 segundos	12,65%
	Cierre de caja. Acción repetitiva de poca duración y baja exigencia	3 segundos	3,8 %
	Traslado de caja + elevación de la misma sobre pallet. Acción repetitiva de corta duración pero exigencia media Peso levantado: 9,3 kg aproximadamente.  <b><u>(ICKL 2).</u></b>	5 segundos	6,33%
<b>Tiempo total del ciclo de llenado de caja</b>		<b>79 segundos</b>	

Aplicación del método:

Se calculó cada factor para las dos tareas consideradas relevantes para el estudio, ICKL1 e ICKL2, mediante la expresión.

$$ICKL = (FR + FF + FFz + FP + FC) MD \quad (1)$$

Siendo:

FR Factor de recuperación; FF Factor de frecuencia; FFz Factor de fuerza; FP Factor de posturas y movimientos; FC Factor de riesgos adicionales; MD Multiplicador de duración.

1. Cálculo del Tiempo Neto de Trabajo Repetitivo y Tiempo Neto de Ciclo (TNTR)

$$TNTR = DT - [TNR + P + A] \quad (2)$$

Siendo:

TNTR: tiempo neto de trabajo repetitivo

DT: El tiempo que el trabajador ocupa el puesto en la jornada (en minutos)

TNR: es el tiempo de trabajo no repetitivo en minutos, tareas no repetitivas como limpiar, reponer, etc.

P: es la duración en minutos de las pausas que realiza el trabajador mientras ocupa el puesto

A: es la duración del descanso para el almuerzo en minutos.

Para el caso en estudio se tiene:

DT=8hs = 480 minutos

TNR=70 minutos

P= 70 minutos (10 minutos por cada hora de trabajo)

A= 60 minutos

$TNTR1 = 480 - [70 + 70 + 60] = 280 * 0,6582$  (% de la tarea repetitiva)=184,3

$TNTR2 = 480 - [70 + 70 + 60] = 280 * 0,063$  (% de la tarea repetitiva)=17,64

2. Cálculo del Factor de Recuperación (FR)

Se corresponde al siguiente caso:

Existe una interrupción de al menos 8 minutos cada hora de trabajo (considerando el descanso del almuerzo).

Por lo tanto la puntuación es “0”, es decir,  $FR1=FR2=0$

### 3. Cálculo del Factor de Frecuencia (FF)

$$FF = \text{Max} ( ATD ; ATE ) \quad (3)$$

Es necesario identificar el tipo de las acciones técnicas realizadas en el puesto. Las acciones técnicas dinámicas se caracterizan por ser breves y repetidas (sucesión periódica de tensiones y relajamientos de los músculos actuantes de corta duración). Las acciones técnicas estáticas se caracterizan por tener una mayor duración (contracción de los músculos continua y mantenida 5 segundos o más

Para ATD, el caso es el siguiente: Los movimientos del brazo son lentos (20 acciones/minuto). Se permiten pequeñas pausas frecuentes. Con lo cual  $ATD_1=0$ ;  $ATD_2=0$

Para ATE, el caso es el siguiente: Se sostiene un objeto durante al menos 5 segundos consecutivos realizándose una o más acciones estáticas durante  $2/3$  del tiempo de ciclo (o de observación). Con lo cual  $ATE_1=ATE_2=2,5$ .

$$\text{Luego } FF_1=FF_2 = \text{Max} ( ATD; ATE ) = 2,5$$

### 4. Cálculo del Factor de Fuerza (FFz)

Check List OCRA considera significativo este factor únicamente si se ejerce fuerza con los brazos y/o manos al menos una vez cada pocos ciclos.

Para el caso de los paquetes  $FFz_1=0$

Levantar una caja de 9,3 kg involucra una fuerza moderada  $FFz=3$

### 5. Cálculo del Factor de Posturas y Movimientos (FP)

Check List OCRA considera, como factor que incrementa el riesgo, el mantenimiento de posturas forzadas y la realización de movimientos forzados en las extremidades superiores. En el análisis se incluyen el hombro, el codo, la muñeca y la mano. Además se considera la existencia de movimientos que se repiten de forma idéntica dentro del ciclo de trabajo (movimientos estereotipados). El valor está dado por la expresión (4)

$$FP = \text{Max} ( PHo ; PCo ; PMu ; PMa ) + PEs \quad (4)$$

PHo1=1 El brazo/s no posee apoyo y permanece ligeramente elevado algo más de la mitad el tiempo

$$PHo2=0$$

$$PCo1=0$$

$$PCo2=0$$

$$PMu1=0$$

$$PMu2=0$$

PMa1 (agarre palmar): dura 2 segundos el agarre, 12 veces, 24 seg alrededor de 1/3 del tiempo. Puntuación =2

$$PMa2=0$$

PEs1= Existe repetición de movimientos idénticos del hombro, codo, muñeca, o dedos, al menos 2/3 del tiempo. Puntuación= 1,5

$$PEs2=0$$

$$FP1=2+1,5 = 3,5$$

$$FP2=0$$

#### 6. Cálculo del Factor de Riesgos Adicionales (FC)

Además de los factores de riesgo considerados hasta el momento, Check List OCRA considera otros posibles factores complementarios que pueden afectar al riesgo global dependiendo de su duración o frecuencia. Factores de riesgo de este tipo pueden ser el uso de dispositivos de protección individual como el empleo de guantes, el uso de herramientas que provocan vibraciones o contracciones en la piel, el tipo de ritmo de trabajo (impuesto por la máquina), etc.

Se utiliza la expresión (5)

$$FC = Ffm + Fso \quad (5)$$

Siendo:

Fso = El ritmo de trabajo está parcialmente determinado por la máquina, con pequeños lapsos de tiempo en los que el ritmo de trabajo puede disminuirse o acelerarse. En ocasiones el operario baja el ritmo y los paquetes no sujetos van al cajón de descarte (que luego se colocarán en cajas). Puntuación = 1

Ffm = No existen factores físicos-mecánicos que afecten la salud del trabajador. El operador trabaja en condiciones climáticas agradables y EPP adecuados para el puesto, Ffm = 0.

FC1 = 1

FC2 = 1

#### 7. Cálculo del Multiplicador de Duración (MD)

MD depende del valor del Tiempo Neto de Trabajo Repetitivo (TNTR) calculado anteriormente. Como el TNTR1 calculado fue 184 y el TNTR2 fue 17,64, entonces MD1 = 0,75; MD2 = 0,35

Finalmente:

$$ICKL1 = (FR + FF + FFz + FP + FC) \cdot MD = (0 + 2,5 + 0 + 3,5 + 1) \cdot 0,75 = 5,25$$

$$ICKL2 = (FR + FF + FFz + FP + FC) \cdot MD = (0 + 2,5 + 3 + 0 + 1) \cdot 0,35 = 2,25$$

Por lo tanto el ICKL para un mismo puesto será igual a la suma de ambos resultados:

$$ICKL \text{ Total} = 7,52$$

Del valor obtenido, ingresando a la

Tabla 2, resulta que el puesto de trabajo presenta un riesgo “incierto”, rozando el límite con lo aceptable.

Tabla 2

Nivel de riesgo según Índice calculado

Índice Check List OCRA	Nivel de Riesgo	Acción recomendada	Índice OCRA equivalente
≤ 5	Óptimo	No se requiere	≥ 15
5.1 - 7.5	Aceptable	No se requiere	1.8 - 2.2
7.6 - 11	Inferior	Se recomienda un nuevo análisis o mejora del puesto	2.3 - 3.5
11.1 - 14	Inaceptable Leve	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento	3.6 - 4.5
14.1 - 22.5	Inaceptable Medio	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento	4.6 - 5
> 22.5	Inaceptable Alta	Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento	> 5

Por lo tanto, si bien el método no es perfecto, tiene sus limitaciones y los números obtenidos no son 100% objetivos, el resultado basta para proponer una mejora en el puesto laboral. La mejora radica en modificar el ICKL1, cuya tarea se repite en mayor medida durante el ciclo de trabajo y el valor obtenido es mayor.

Respondiendo a la pregunta hipotética planteada al inicio de este capítulo: “¿qué pasaría si se aplica el método para una productividad igual a la alcanzada luego de la mejora pero para la misma secuencia de movimientos de la situación actual?”. Claro está, que si se desea aumentar la productividad sin realizar ninguna modificación en el equipo, la frecuencia de tareas repetitivas aumentaría considerablemente y por lo tanto ICKL también lo haría.

Por este motivo, se evita el cálculo del método OCRA Check-List para la misma secuencia de movimientos sin mejora alguna en el equipo y una mayor productividad, ya que, indiscutiblemente se estaría en una condición de trabajo “*Inacceptable leve*” o, quizás, peor aún.

#### 1.4.2. Aplicación método OCRA Check-List (ICKL) / movimientos del operario con mejoras en el equipo, productividad alta (80 BPM)

Teniendo en cuenta la mejora, se analizan los movimientos hipotéticos que él mismo realizará, considerando que la producción es aún mayor y que no existe el movimiento del operario en colocar paquetes en las cajas (acción evitada en dónde radica la mejora). El movimiento de

elevación de la caja llena luego de que la misma se complete seguirá estando, se aplicará el método ICKL.

Acciones del operario luego de la mejora:

Brevemente se explica cómo es la secuencia de acciones y movimientos involucrados. Antes de encender el equipo habrá 2 cajas listas colocadas sobre la plataforma que recibe los paquetes luego de la cinta y una caja lista a un costado del equipo como se observa en la Imagen 9 de la sección 2.1.8.

Secuencia de movimientos:

- Encendido el equipo, los paquetes comenzarán a caer en una de las cajas, supongamos en la caja que está sobre la derecha (sobre la plataforma de vaivén). A 80 BPM, la caja se llenará en aproximadamente 33 segundos. Durante este tiempo, el operario lo único que debe hacer es esparcir brevemente con sus manos los paquetes que se encuentran en el interior hasta que la misma se llena.
- Cuando la caja se llena el operario la cierra (duración de la acción = 5 segundos) y coloca la caja sobre un pallet (duración de la acción = 5 segundos), en el mientras tanto los paquetes comienzan a caer sobre la otra caja (restan 23 segundos de llenado de la caja sobre la izquierda).
- Sujeción de la caja lista a un costado y colocación sobre la plataforma (duración de la acción = 6 segundos) (restan 17 segundos de llenado de la caja sobre la izquierda)
- Armado de caja para reemplazar la misma (duración de la acción = 7 segundos) (restan 10 segundos de la caja sobre la izquierda).
- Cierre de caja izquierda (duración de la acción = 5 segundos). Fin del ciclo. (Total = 66 segundos aproximadamente).
- Colocación de caja llena sobre pallet (duración de la acción = 5 segundos)

(Es importante aclarar que en caso de que el operario no alcance a retirar la caja llena y colocar una vacía la maquina se deberá detener y mostrará una falla, permitiendo al operario reiniciar el equipo. Para lograr esto, se deberá contemplar en el diseño de la lógica del equipo, cuestión que se entrará en detalle en el capítulo 4).

Para este caso el índice ICKL1 del primer caso desaparece. Por lo que el ICKL1=0.

En resumen: el operario lo que hace es 2 cierres de caja cada 70 segundos. 1 armado de caja cada 70 segundos y 1 levantamiento de la caja llena y colocación del pallet cada 33 segundos.

El ICKL2 (referido a la tarea de levantar la caja llena no desapareció) y por lo tanto se debe calcular nuevamente para esta frecuencia de trabajo. Siendo esta una actividad que se repite cada 33 segundos, la misma representa un 15% del tiempo del total del ciclo.

Como la productividad hipotética aumenta casi al doble en prácticamente 10 segundos menos, al operario se le asignan, no 10 minutos de descanso por cada hora trabajada, sino que serán descansos de 20 minutos.

Por lo tanto para el siguiente caso se tiene:

$$DT=8\text{hs} = 480 \text{ minutos}$$

$$TNR=70 \text{ minutos}$$

$$P= 140 \text{ minutos (20 minutos por cada hora de trabajo)}$$

$$A= 60 \text{ minutos}$$

$$TNTR = 480 - [70 + 140 + 60] = 280 * 0,15 \text{ (\% de la tarea repetitiva relevante)} = 31,5$$

FR=0. Existe una interrupción de al menos 8 minutos cada hora de trabajo (contando el descanso del almuerzo).

FF=2,5. Se sostiene un objeto durante al menos 5 segundos consecutivos realizándose una o más acciones estáticas durante  $\frac{2}{3}$  del tiempo de ciclo (o de observación).

FFz= 3. Fuerza moderada para levantar la caja y colocarla sobre el pallet.

$$FP=0$$

FC=2 (El ritmo de trabajo está totalmente determinado por la máquina)

$$MD=0,5$$

$$ICKL = (FR + FF + FFz + FP + FC) \cdot MD = (0+2,5+3+0+2) 0,5=3,75$$

Por lo tanto se estaría en una condición óptima para una productividad más alta según indica la

*Tabla 2.*

Queda verificado que, para la secuencia de movimientos y mejora, el operario trabajará en condiciones laborales adecuadas para una mayor productividad.

## 2. Desarrollo

En este capítulo se abordarán todos los temas relacionados con todo aquello que explique cómo se llegó al modelo final de la máquina. Se desarrollarán aquellas cuestiones que respondan a los objetivos específicos planteados al comienzo.

Se dividirá en dos partes. La primera parte relacionada con la plataforma de vaivén, y la segunda parte relacionada con el mecanismo derivador de paquetes, junto con todas las cuestiones que este mecanismo involucra.

A continuación se muestra en la Imagen 5 el croquis final del modelo, referenciando la plataforma de vaivén (primer parte del desarrollo) y el conjunto completo cinta – mecanismo derivador (segunda parte del desarrollo).

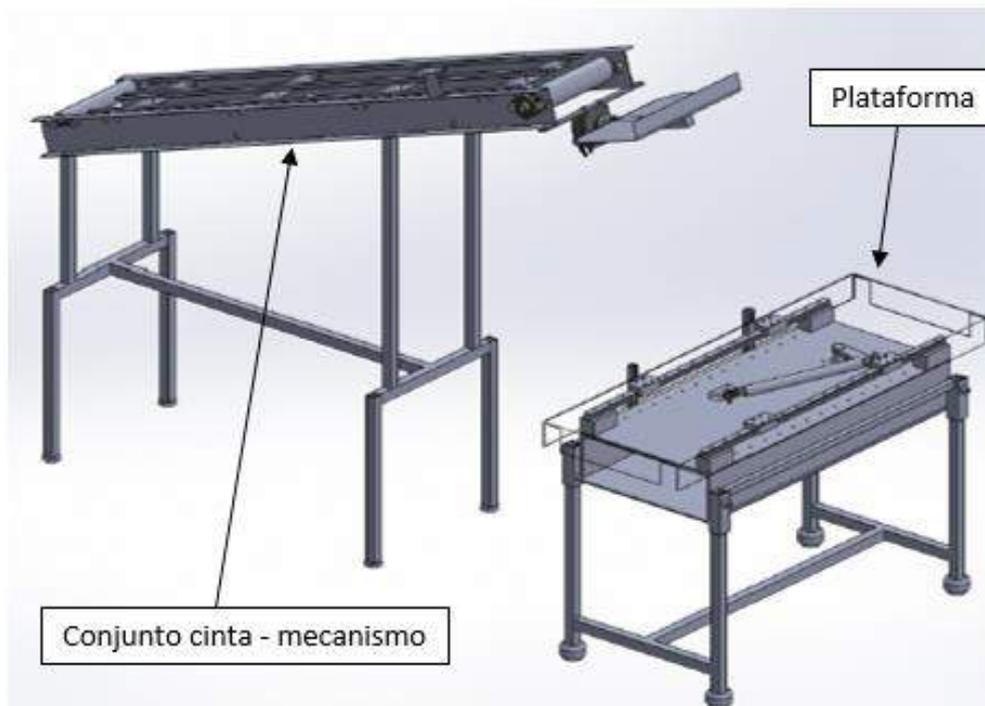


Imagen 5. Croquis final.

### 2.1. Primer parte. Plataforma con movimiento de vaivén.

La plataforma consiste en una estructura con movimiento de vaivén. La misma tendrá una altura acorde para que un operario con una altura promedio pueda trabajar de manera confortable.

La plataforma estará constituida por tres partes:

Parte 1: Plataforma móvil

- Mesa superior donde irán apoyadas las cajas
- Rodamientos lineales para permitir el deslizamiento
- Vínculo entre mesa superior y mecanismo

Parte 2: Mecanismo

Parte 3: Plataforma fija

- Mesa inferior con la transmisión de potencia correspondiente
- Rieles para el deslizamiento de los rodamientos lineales

Se parte de las siguientes premisas:

- Altura de la mesa aproximada  $750 \pm 20$  mm.
- Amplitud del movimiento de vaivén = **300mm** (mitad del ancho de una caja).
- Ancho de la plataforma el equivalente a 2 cajas + separación de 100 mm entre ellas.
- Profundidad mayor o igual a la profundidad de la caja (400 mm).

### 2.1.2. Selección del mecanismo

A partir de las premisas se prosigue por seleccionar el mecanismo que hará que la plataforma tenga un movimiento lineal de vaivén.

Existen diversas maneras de obtener un movimiento lineal alternativo a partir de un movimiento rotativo. Algunas de ellas son:

- ❖ Biela manivela
- ❖ Leva y excéntrica
- ❖ Piñón y cremallera

Comparación entre posibles mecanismos:

Tabla 3

*Comparación entre mecanismos.*

<b>Mecanismo</b>	<b>Leva y excéntrica</b>	<b>Biela manivela</b>	<b>Piñon y cremallera</b>
Piezas móviles (desgaste)	X	●	X
Facilidad de diseño	X	●	●
Exactitud en el movimiento	●	X	X
Robustez	●	●	●
Costo de fabricación	X	●	●

De la tabla anterior se desprende optar por el mecanismo biela - manivela. El mismo es un sistema simple y robusto, cuyas ecuaciones que dominan el movimiento son ampliamente conocidas en el mundo ingenieril.

El sistema biela-manivela está constituido por un elemento giratorio denominado manivela, conectado a una barra rígida llamada biela, de modo que cuando gira la manivela, la biela está forzada a avanzar y retroceder sucesivamente.

En el presente caso, como la amplitud de movimiento establecida fue de 300 mm aproximadamente, queda definido, entonces, el largo de la manivela (la mitad de la amplitud del movimiento). Luego, un motor solidario a la manivela la hará girar.

La plataforma estará constituida por dos partes, una parte móvil que está vinculada al extremo de la manivela y una parte fija donde irá sujetado el motor eléctrico.

Para determinar el largo de la biela se utiliza el factor “ $\lambda$ ”, el cual relaciona el largo entre la biela y la manivela. Valores tomados en la práctica muestran que el largo de la biela es aproximadamente cuatro veces el de la manivela. Para el trabajo se consideró un factor  $\lambda = 0,31$ . Quedando, entonces, definido, el largo de la biela en 470 mm (medida tomada desde los centros de las uniones).

### 2.1.2. Modelo computacional

A través de SolidWorks se diseñó y modeló la plataforma de vaivén (*Imagen 6 e Imagen 7*). Con el prototipo virtual generado, se corroboraron (previo a detallar la secuencia para la fabricación de cada componente) las medidas y se verificó que no haya inconsistencias en las dimensiones. Además, se establecieron todas las relaciones de posición entre las distintas partes del ensamble teniendo en cuenta todos los vínculos.

Durante el ensamblaje de las piezas en el modelo computacional se corroboró que:

- ❖ Al moverse la plataforma móvil no existe espacio libre entre la parte móvil y fija (sobre la superficie en donde el operario interviene), con el fin de evitar un punto de atrapamiento desde el punto de vista de la seguridad.
- ❖ Para la posición a 90° de la manivela no existe interferencia entre la misma y las guías lineales ni ningún otro componente del ensamble.
- ❖ Los agujeros para que las fijaciones entre los rodamientos lineales y la plataforma móvil sean coincidentes. La altura de los suplementos (pieza 2) sea la correcta para evitar interferencias entre el mecanismo y cualquier otra parte del ensamble, etc.

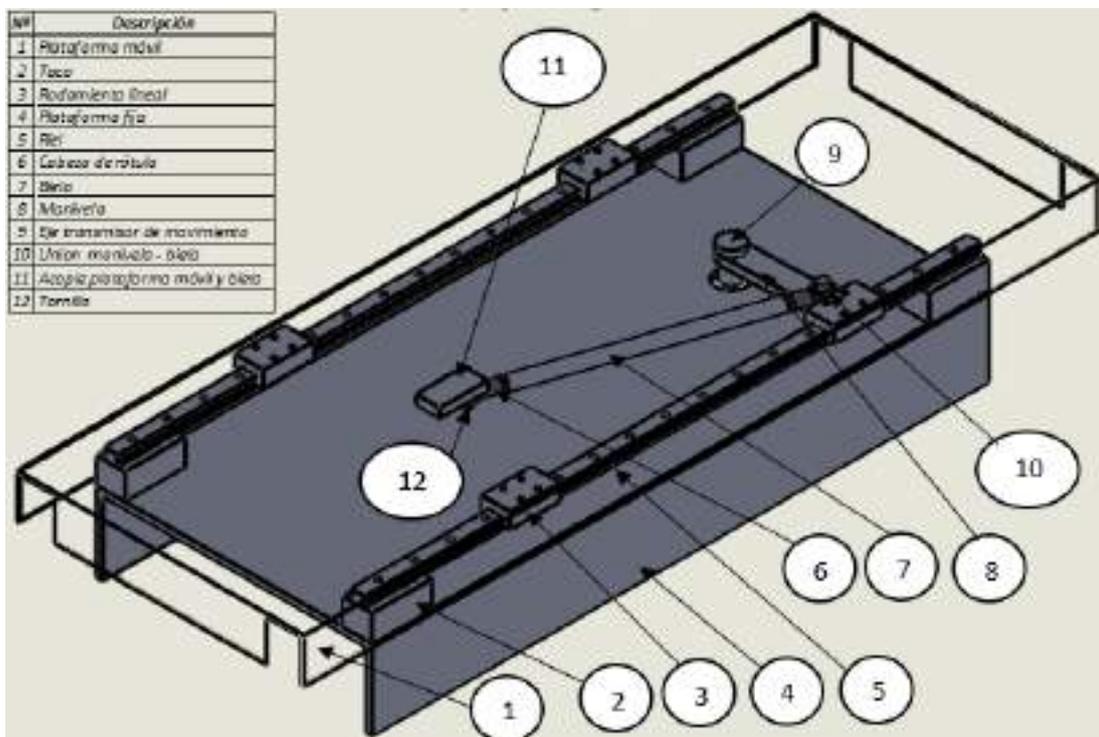


Imagen 6. Vista isométrica del mecanismo de movimiento. Listado de partes.

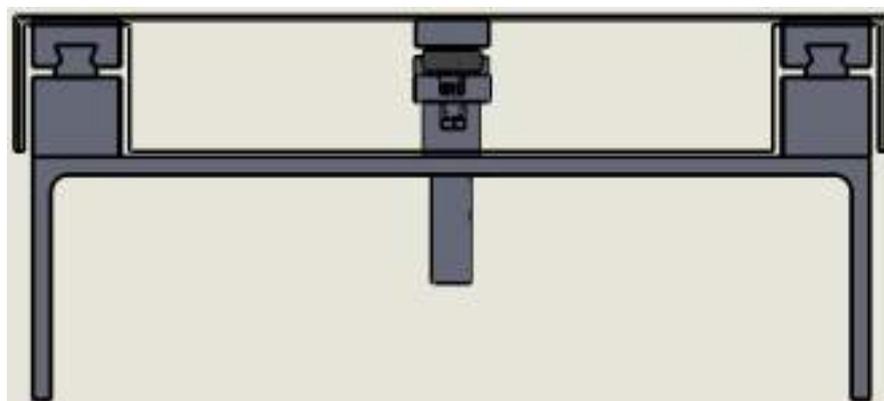


Imagen 7. Vista lateral del conjunto.

### 2.1.3. Secuencia de operaciones para la fabricación del mecanismo.

Se explicará cómo se obtiene cada pieza con las secuencias de operaciones correspondientes. Para cada pieza se muestra un croquis en isometría simplificado con las medidas más preponderantes. Se estableció una tolerancia general de fabricación de  $\pm 0,1$  mm. Para aquellas piezas que contengan agujeros y ejes, se aclaró el ajuste elegido correspondiente.

Además, se parte de la base que existe disponibilidad de todas las herramientas de corte utilizadas para cada proceso de fabricación detallado a continuación.

#### Biela:

Esta pieza cumple la función de transmitir el movimiento proveniente de la manivela para luego transmitir el movimiento a la plataforma superior. En sus extremos consta de dos uniones rotuladas para establecer el vínculo con las demás partes. La forma de unión entre las rótulas a la biela fue mediante soldadura por arco eléctrico (TIG).

Las rótulas se seleccionaron en base a las disponibilidades en el sector de repuestos de la planta. Las mismas son rótulas SIKB 12 F de la marca SKF con rosca hembra, cuyas dimensiones principales y capacidades de carga son las siguientes:

Designation	Dimensiones principales						Ángulo de inclinación	Capacidad de carga básica	
	$d$ [mm]	$d_2$ max. [mm]	B [mm]	G 6H	$C_1$ max. [mm]	$h_1$ [mm]		dynamic	static
SIKB 12 F	12	33	16	M 12	12.5	50	13	13.2	17

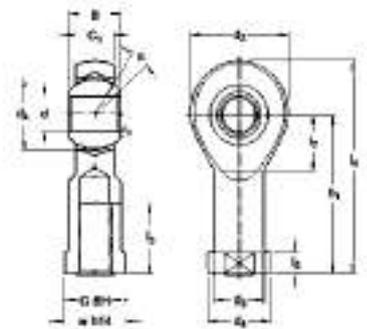
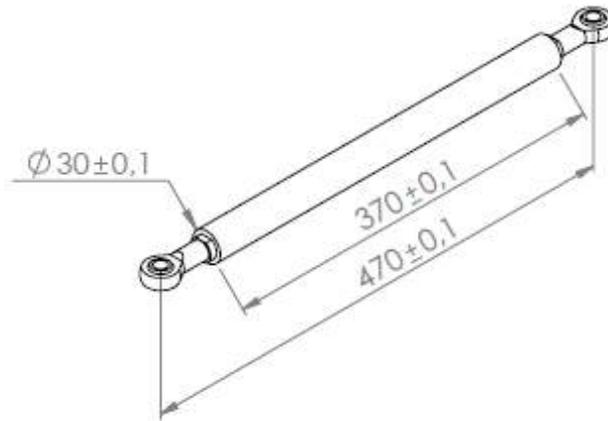


Imagen 8. Dimensiones rotulas seleccionadas.

Para la biela se seleccionó una barra de acero macizo de acero inoxidable AISI 304 de 30 mm de diámetro.

Pieza a obtener:



### Secuencia de operaciones:

1. Corte con sierra de cinta de la barra para obtener un largo de 470 mm. Se dejan 100 mm para próximas operaciones.

(Debido al pobre acabado de la pieza conseguida comercialmente se realiza un mecanizado superficial exterior en toda la longitud mediante el torno.

Al ser una operación que se realiza sobre una pieza larga, se requiere de un contrapunto como apoyo para evitar desperfectos durante la operación).

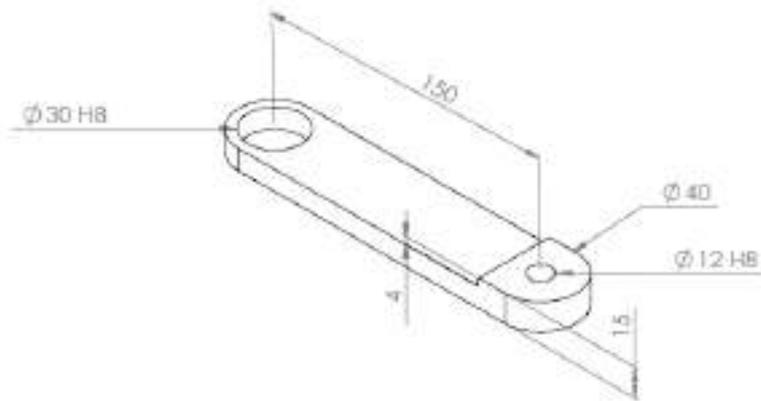
2. Sujeción con plato de 3 mordazas. Voladizo 20 mm.
3. Agujereado de centro para el apoyo del contrapunto
4. Sujeción y contrapunto. Operación de mecanizado exterior del cilindro.
5. Corte con sierra para obtener el largo final.

### Manivela:

Esta pieza es la encargada de transmitir la potencia entregada por el motorreductor al resto del conjunto. Consta de dos agujeros, uno para el eje que acopla a la salida del reductor y otro para vincularse con la biela mediante una pieza intermedia que se mostrará más adelante.

Para la manivela se seleccionó una barra de sección rectangular de dimensiones estándar. Material: acero inoxidable AISI 304. Siendo  $e=15$  mm,  $A= 40$ mm y largo 1 metro

Pieza a obtener:



### Secuencia de operaciones:

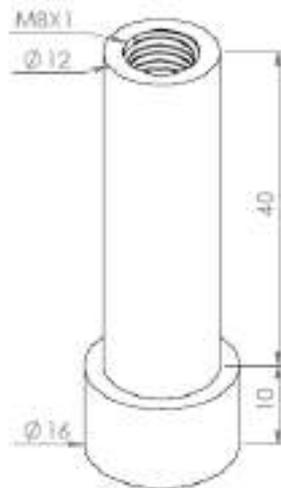
1. Corte con sierra de cinta para obtener un largo total de 170 mm.
2. Eliminación de bordes y forma final. Mediante oxicorte se lleva a la forma final. Este resulta un método más económico con respecto a laser o chorro de agua y permite cortar el espesor (15 mm) sin dificultad alguna.
3. Sujeción en fresadora vertical. Mecanizado cara superior (Limpieza superficial 0,5 mm). Herramienta: CoroMill 300 R300-20T10-10L.
4. Giro de la pieza. Sujeción. Mecanizado cara inferior (Limpieza superficial 0,5 mm).
5. Rebaje 3 mm de profundidad. Desplazamiento del carro longitudinal = 145 mm.
6. Agujero con fresadora. Cambio de herramienta: broca de plaquita intercambiable (drill shank with flange) se realiza el agujero (30 mm) para el eje del motor. Ajuste H8.
7. Agujero con fresadora. Cambio de herramienta: 880-D1200L20-02 broca de plaquita intercambiable (drill shank with flange) se realiza el agujero (12 mm) para el eje del motor. Ajuste H8.

### Unión entre manivela y cabeza de rótula de la biela:

Para vincular ambas partes se utilizó una pieza de por medio. Un eje soldado a la manivela. El eje tiene en un extremo una cabeza circular (soldado a la manivela) y en el otro un agujero roscado para pasar un tornillo y que la rótula haga tope.

Se parte de una barra de acero inoxidable AISI 304 de 16 mm.

Pieza a obtener:



#### Secuencia de operaciones:

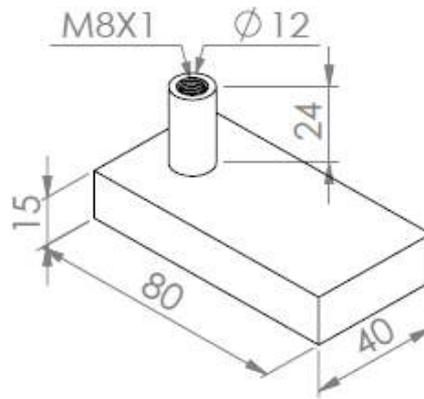
1. Corte con sierra de cinta para obtener un largo total de 100 mm. (se dejan 50 mm para poder sujetar en las siguientes operaciones).
2. En el torno paralelo sujetando la pieza con el plato de garras se realiza mecanizado exterior superficial para lograr un mejor acabado.
3. Cilindrado para llevar a 12 mm el diámetro de la reducción. Largo del cilindro 40 mm. Herramienta con mango CP-25BR-2020-11.
4. Sobre la misma posición con mecha de 8 mm de HSS se realiza el agujero). Profundidad 30 mm.
5. Sobre la misma posición con mecha macho 8mm x 1 se realiza la rosca interna. (Herramienta CoroTap 400 E302M8).
6. Corte con sierra de cinta para obtener el largo final, 60 mm.

#### Unión entre la cabeza de rótula de la biela y la parte superior de la plataforma (parte móvil)

Para vincular la cabeza de rótula de la biela con la parte superior de la plataforma a la cual se le va a transmitir movimiento se diseñó una pieza solidaria a dicha parte. Básicamente una barra de sección rectangular con un eje sobresaliente con un agujero roscado.

Se utilizó una barra de sección rectangular de acero inoxidable AISI 304 de dimensiones estándar igual que la manivela ( $e=15$  mm,  $A=40$ mm). Se utilizó una barra de acero de 12 mm de diámetro.

Pieza a obtener:



#### Secuencia de operaciones:

1. Corte con sierra de cinta de la sección rectangular para obtener un largo total de 80 mm.
2. Eje sobresaliente:
  - a. Corte con sierra de cinta de la sección circular. Se cortó un largo de 60 mm para poder sujetar en la siguiente operación.
  - b. Torno paralelo. Sujeción. Agujereado con mecha de 8 mm de HSS se realiza el agujero. Profundidad 30 mm.
  - c. Sobre la misma posición con mecha macho 8mm x 1 se realiza la rosca interna.
  - d. Corte con sierra de cinta para lograr medida final. Largo final 34 mm.
3. Unión de ambas partes mediante soldadura MIG/MAG.

#### Guías y rodamientos:

Para permitir el movimiento entre los componentes se utilizaron guías lineales, junto con los rodamientos lineales correspondientes.

Se utilizaron rodamientos marca THK SSR25, tipo acero inoxidable, junto con su guía. Las medidas se muestran a continuación y fueron extraídas del catálogo THK

No se realizó ningún tipo de verificación ya que considero que las aceleraciones resultantes del análisis cinemático (efectuado en capítulos siguientes) y las masas involucradas no generan fuerzas lo suficientemente grandes como para vencer la resistencia mecánica de los rodamientos. Las características mecánicas del rodamiento seleccionado son las siguientes:

Unidad: kN·m

Ditracción Nº de modelo	M <sub>1</sub>		M <sub>2</sub>		M <sub>c</sub>
	Bloque único	Bloque doble	Bloque único	Bloque doble	Bloque único
SSR15XV	0.0303	0.192	0.0189	0.122	0.0562
SSR15XWXTB	0.0792	0.44	0.0486	0.274	0.0962
SSR20XV	0.0523	0.336	0.0326	0.213	0.111
SSR20XWXTB	0.138	0.723	0.0847	0.448	0.18
SSR25XV	0.104	0.661	0.0652	0.419	0.204
SSR25XWXTB	0.258	1.42	0.158	0.884	0.33
SSR30XW	0.446	2.4	0.274	1.49	0.571
SSR35XW	0.711	3.72	0.437	2.31	0.936

Engrasador	Dimensiones del riel de movimiento lineal					Valor de carga básica		Masa	
	Ancho W <sub>1</sub> ±0.05	W <sub>2</sub>	Altura M.	Paso F	d <sub>1</sub> · d <sub>2</sub> · h	C kN	C <sub>0</sub> kN	Bloque de movimiento lineal kg	Riel de movimiento lineal kg/m
B-M&F	23	12.5	18	60	7 · 11 · 9	21.7	22.5	0.23	2.7

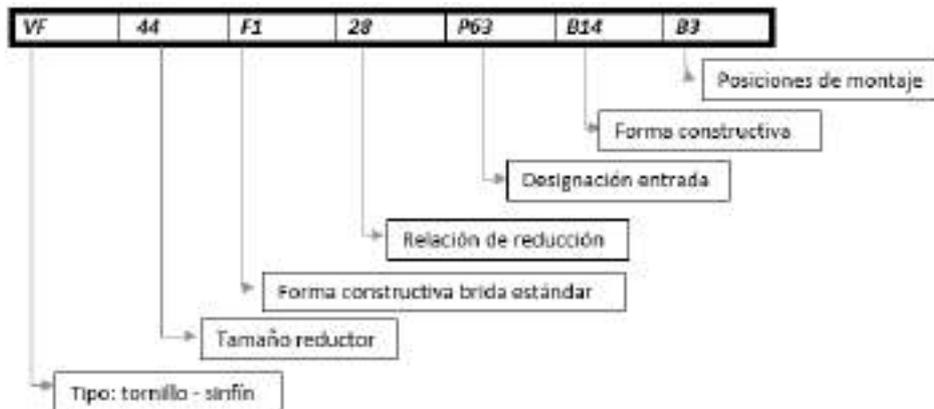
#### 2.1.4. Transmisión de potencia, motorreductor - manivela

Por experiencia, se suelen utilizar motorreductores de baja potencia para realizar este tipo de transmisiones (bajas aceleraciones y masas pequeñas).

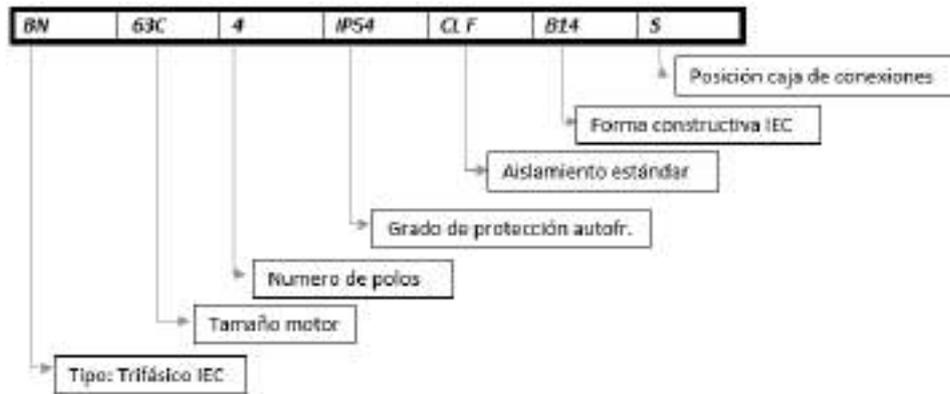
Por una cuestión de ordenamiento de la información, el análisis cinemático se presenta más adelante en el trabajo. Allí, en base a las masas y aceleraciones se verifica que con la potencia del motor elegido se cumple con los requerimientos para mover el conjunto.

Por catálogo de Bonfiglioli y en base a las disponibilidades del sector de repuestos de la planta, se seleccionó un motorreductor con las siguientes características:

- Reductor: VF 44F128 - P63B14B3. Diámetro de salida estándar 20 mm.



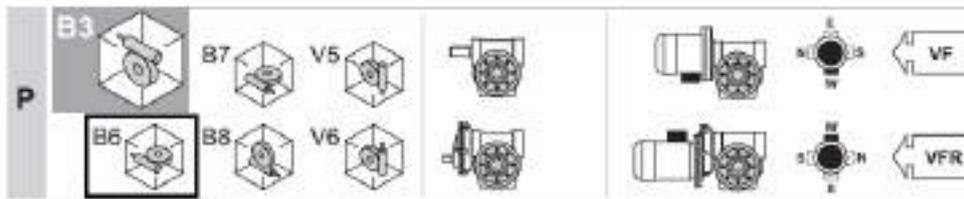
- Motor: BN 63C 4 IP54 CL F B14 S. (Pot 0,25 kW)



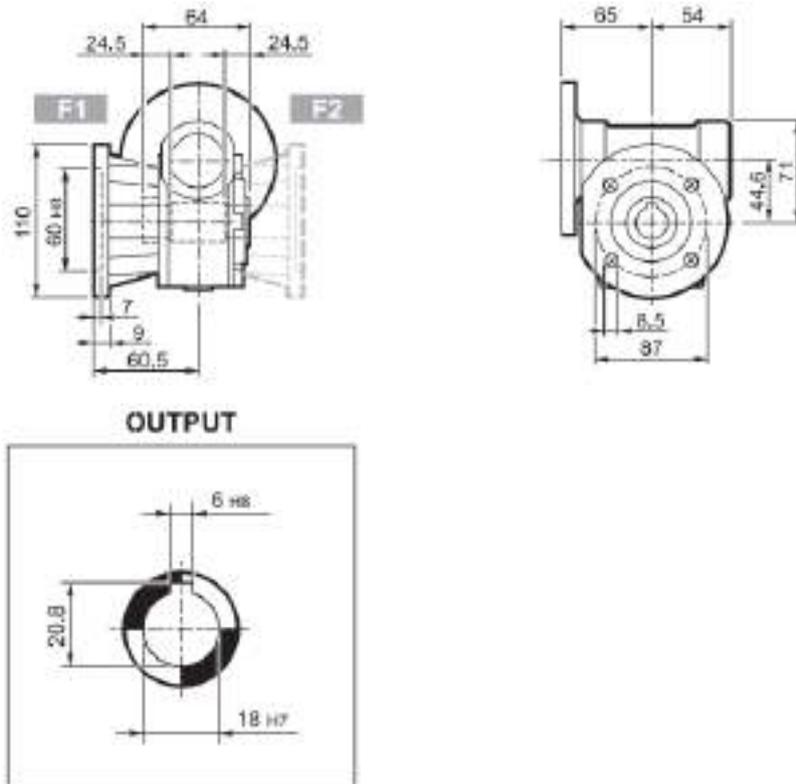
3~ Mot BN 63C 4		No.00000000000000000000		CE	
Cod 6D11020003		IM B14		IP 55	
V Δ/Y	I CL F	S 1			cod. P
Hz	kW	A Δ/Y	min-1		
230/400	50	1.39-0.80	1340		
460	60	0.83	1630	0.69	
220/240	VΔ	1.39-1.44 A			
380/415	VY	0.80-0.83 A	50Hz		
440/480	VY	0.86-0.82 A	60Hz		

Posiciones de montaje admitidas. Posición seleccionada:

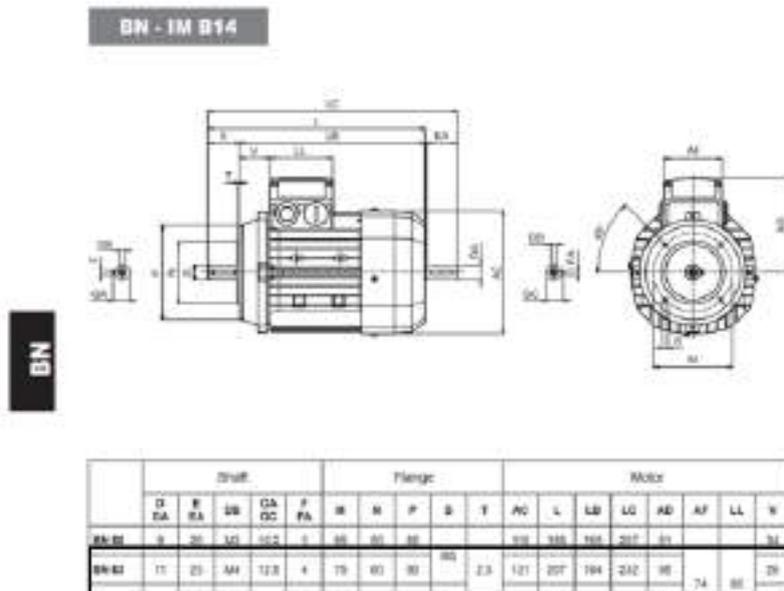
La brida del reductor irá abulonada a la parte fija de la plataforma, por lo que la posición del motorreductor deberá ser tal que el eje de la corona se encuentre en posición vertical. Según el manual del proveedor, para dicho motor, la posición nombrada es admitida y es la indicada a continuación (B6):



Dimensiones del reductor a considerar:



Dimensiones del motor:



Pieza intermedia para la transmisión.

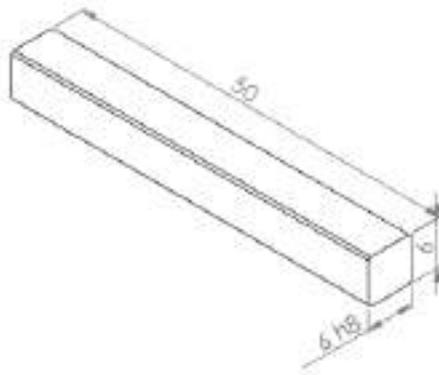
Para lograr la transmisión entre la salida del reductor y la manivela se utiliza un eje a medida con chaveta. El eje solidario a la manivela contiene la ranura para la chaveta al igual que la salida del reductor.

### Chaveta:

Según la norma DIN 6886 para ejes entre 16 y 22 mm de diámetro se utilizan chavetas con dimensiones 6 x 6 mm (coincidente con lo mostrado en la figura de Output), con ajuste “Normal”.

Por norma, el largo de la chaveta debe ser como mínimo 1,5 veces el diámetro del eje (45mm), para este caso se seleccionó una chaveta prismática de 50 mm de largo. Se tomó como radio de chaflán 0,32 mm (un promedio entre el máximo y mínimo permitido para esta medida según DIN 6886).

La chaveta se consigue comercialmente por lo que se omite la secuencia de operaciones.



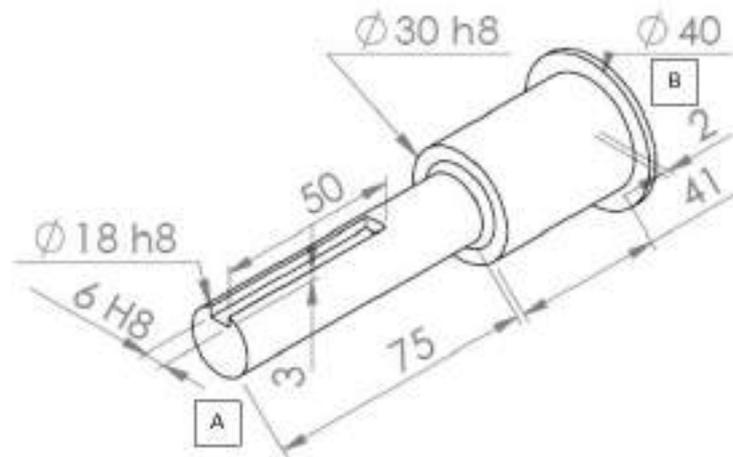
### Eje:

El eje es la pieza fundamental para lograr la correcta transmisión entre la salida del reductor y el resto del conjunto.

En este caso, está formado por tres secciones. Una sección de 40 mm de diámetro para hacer tope con la manivela (en la parte superior), la sección de 30 mm de diámetro (alojamiento de la manivela) y el eje de 18 mm de diámetro que contiene el chavetero y se vincula con el alojamiento de la salida del reductor.

Se parte de una barra comercial de 40 mm de diámetro de acero inoxidable AISI 304.

Pieza a obtener:



### Secuencia de operaciones:

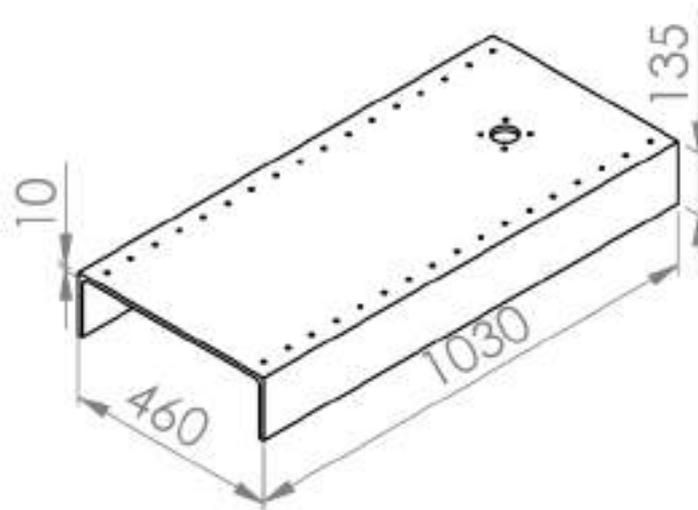
1. Corte con sierra de cinta de la barra para obtener un largo total de 168 mm. Se dejan 50 mm de más para la sujeción en las siguientes operaciones.
2. Sujeción en torno paralelo desde la cara "B".
3. Refrentado del eje (cara "A"). 1,5 mm. Herramienta: PRDCN 2525M 12 - herramienta con mango para torneado.
4. Operación de torneado. Torneado del eje a 30 mm de diámetro, desplazamiento del carro 116 mm. Herramienta con mango para torneado SCLCR 2020K 12.
5. Operación de torneado. Torneado del eje a 18 mm de diámetro, desplazamiento del carro 75 mm. Herramienta con mango para torneado SCLCR 2020K 12.
6. Corte con sierra de cinta para llevar el eje a 118 mm (medida final).
7. Sujeción desde el lado "A".
8. Refrentado del eje (cara "B"). 1,5 mm.
9. Sujeción en fresadora vertical mediante mordazas.
10. Con fresa de dos cortes se realiza el chavetero. Accionamiento manual del volante. Desplazamiento 50 mm del carro longitudinal. Herramienta: Fresa de ranurar de metal duro.

### 2.1.5 Plataforma fija y estructura de soporte de las plataformas:

A continuación se explica brevemente cómo estarán formadas las plataformas y la estructura que las soporta. No se detalla la fabricación. Las medidas finales se muestran en los planos al final del presente proyecto.

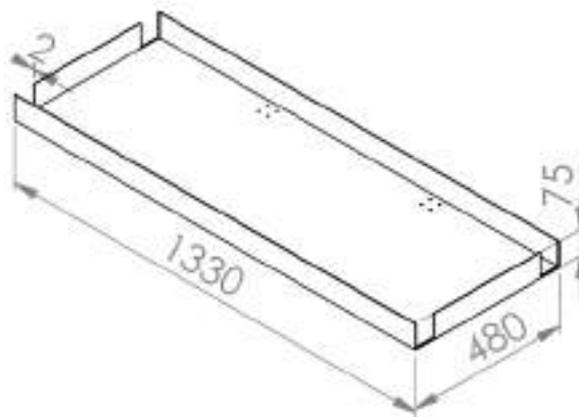
Plataforma fija:

En esta parte del conjunto va montado el motor y las guías lineales. La plataforma consiste en una chapa de aleación de aluminio 6061 de 10 mm de espesor plegado cuyas medidas iniciales son 1070 x 2000 mm.



#### Plataforma móvil:

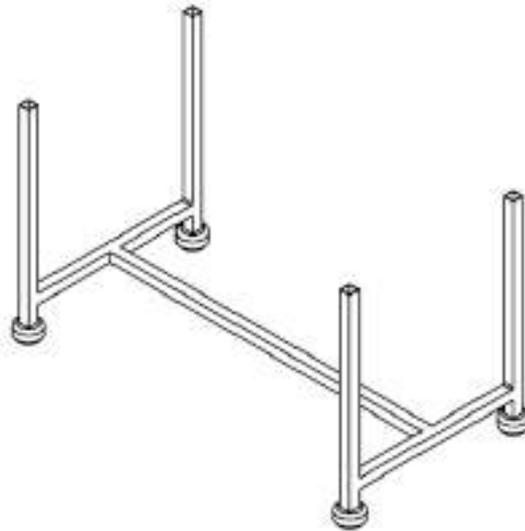
Esta parte va solidaria a las guías lineales a través de los rodamientos. Aquí va soldada la parte que se vincula con el mecanismo biela manivela. Consiste en una chapa de aleación de aluminio 6061 (al igual que la parte fija) de 2 mm de espesor. Las medidas se muestran a continuación y contempla el ancho de 2 cajas (1200 mm) más un espacio de 130 mm entre ellas. Además, tiene ranuras en los laterales para permitir que las guías líneas se deslicen sin impactar contra la plataforma propiamente dicha. La vista mostrada está orientada a la parte inferior.



#### Estructura base:

Se utilizó caño estructural hueco de 30 x 30 (espesor 1,6 mm) para los apoyos de la estructura. Para darle mayor rigidez al conjunto, se utilizó un caño de idénticas dimensiones que atraviesa de extremo a extremo, soldado a un caño transversal a las patas.

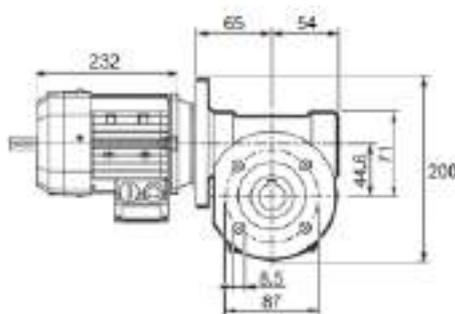
Para el contacto con el piso se utilizaron tacos de acero soldados al perfil cuadrado con goma en su lado inferior, los cuales se consiguen comercialmente.



Apoyo plataforma fija:

Para el soporte tanto de la parte fija como móvil se utilizó una chapa de 5mm de espesor de aleación de aluminio 6061 en cuyos vértices se soldaron alojamientos rectangulares para las patas con posibilidad de regulación de la altura mediante tornillo de sujeción.

Se tuvieron en cuenta las medidas del motorreductor para que al montarlo no exista interferencia entre la plataforma de apoyo y la plataforma fija donde se lo sujeta. Para esto se realizó un corte en la chapa.



Las medidas consideradas según los planos del reductor y motor son:

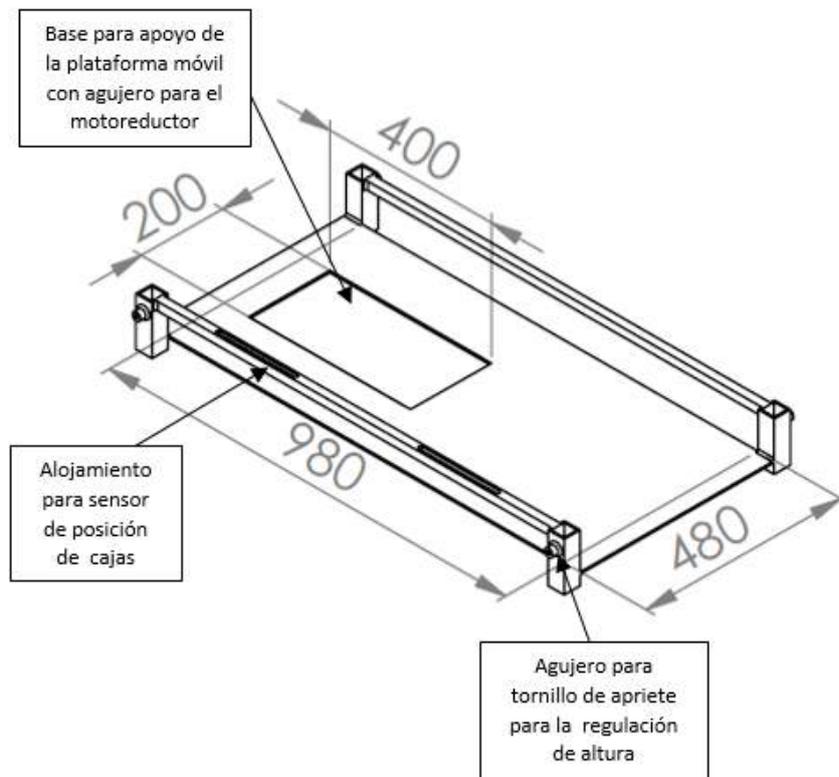
Alto motor AC = 121 mm; Alto reductor aproximado 120 mm.

Largo motor LC = 232 mm (largo motor); largo reductor = 65+54 mm = 119 mm. Total 351 mm.

Corte de 400 mm

Ancho total aproximado = 200 mm

Agujero: 200 x 400 mm



Sensor para la detección de presencia de caja:

Para la selección del sensor que determina la presencia o no de la caja donde caerán los paquetes, se deben tener en cuenta diferentes factores. Para este caso, los factores más importantes son: tipo de material a detectar (metálico o no metálico), distancia del sensor al objeto y velocidad de respuesta deseada.

Se eligió un sensor del tipo fotoeléctrico difuso, es decir, un sensor fotoeléctrico reflectante, que contiene un transmisor y un receptor en una sola carcasa.

Este tipo de sensor permite la detección de objetos no metálicos, con un índice de respuesta rápido y admite la distancia entre sensor/objeto del presente caso. Dicha distancia ronda entre los 100 y 200 mm.

Del catálogo Festo y por disponibilidad en el almacén de repuestos se seleccionaron sensores difusos SME-10M-DS-24V-E-2,5-L-OE cuyas medidas son 16x16x30mm.



Los sensores (1 x caja a detectar) irán montados sobre un soporte insertado en la ranura del apoyo de la plataforma fija. Las medidas, posición y unión se encuentran en los planos.



#### 2.1.6. Análisis cinemático. Determinación de la velocidad de giro del eje transmisor.

Luego del ensamblaje, se simuló el movimiento de vaivén a través del SolidWorks. Las ecuaciones que dominan el movimiento de la plataforma móvil son conocidas y son las siguientes (posición, velocidad y aceleración respectivamente):

$$z = r \cos(wt) + l \sqrt{\left(1 - \left[\frac{r}{l} \sin wt\right]^2\right)} \quad (6)$$

$$v_z = \frac{dz}{dt} = -rw \left[ (wt) + \frac{r \sin(2wt)}{2l \sqrt{\left(1 - \left[\frac{r}{l} \sin wt\right]^2\right)}} \right] \quad (7)$$

$$a_z = \frac{d^2z}{dt^2} = -rw^2 \left\{ \cos wt - \frac{r[l^2(1 - 2\cos^2(wt)) - r^2 \sin^4(wt)]}{[l^2 - r(\sin wt)^2]^{\frac{3}{2}}} \right\} \quad (8)$$

Siendo:

r: Largo de la biela (m) = 0,15m

l: Largo de la manivela (m) = 0,47m

w: velocidad angular (rad/s)

Claro está que la velocidad de la plataforma móvil no es constante durante el giro de la manivela, sino que es una función que depende de la posición angular en la que la misma se encuentra en cada instante de tiempo como se observa en la ecuación (7).

Para establecer una velocidad de giro del motor razonable se propuso lo siguiente:

La distancia (en tiempo) entre 2 paquetes sucesivos en la cinta transportadora debe ser aproximadamente igual a tiempo en el que la plataforma móvil recorre 1 ancho de paquete (90 mm).

La distancia entre paquetes sucesivos depende de los golpes por minuto de la envasadora que expulsa los paquetes previamente. Esta cantidad de golpes por minuto o BPM (Beats Per Minute) se estableció en 80 bpm, es decir, caerá 1 paquete cada 0,75 segundos. En 1 segundo la plataforma debe desplazarse 0,12 m aproximadamente.

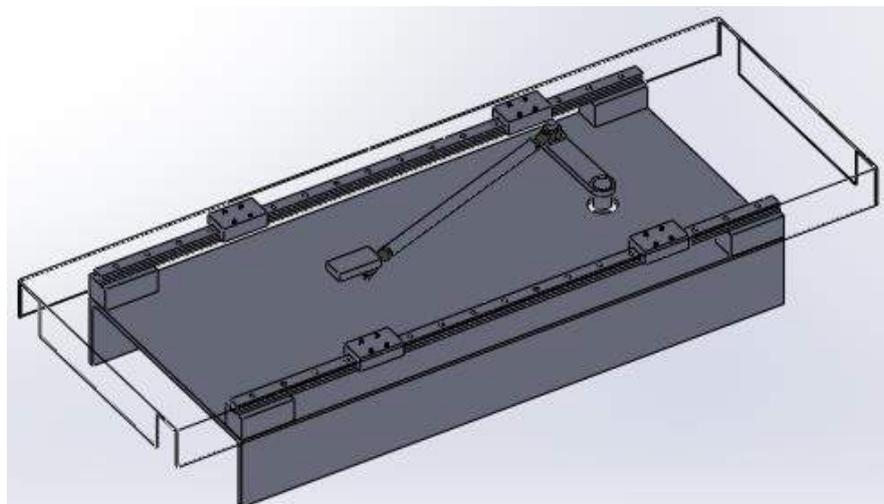
Para una velocidad de rotación " $\omega$ " de 20 rpm (2,094 rad/seg) en el *Gráfico 3* se observa que el desplazamiento fue de 0,15 m aproximadamente luego de transcurrir 1 segundo.

La velocidad promedio lineal según la función sinusoidal que describe la velocidad a cada instante está dada por:

$$vz \text{ promedio} = \int_0^{T/2} Vz dz$$

$$|vz \text{ promedio}| = 0,1 \text{ m/seg}$$

A continuación se muestra el modelo en el cual se analizó el movimiento junto con los tres gráficos cinemáticos que representan la posición, velocidad y aceleración de la plataforma móvil en la dirección de la corredera.



Az plataforma

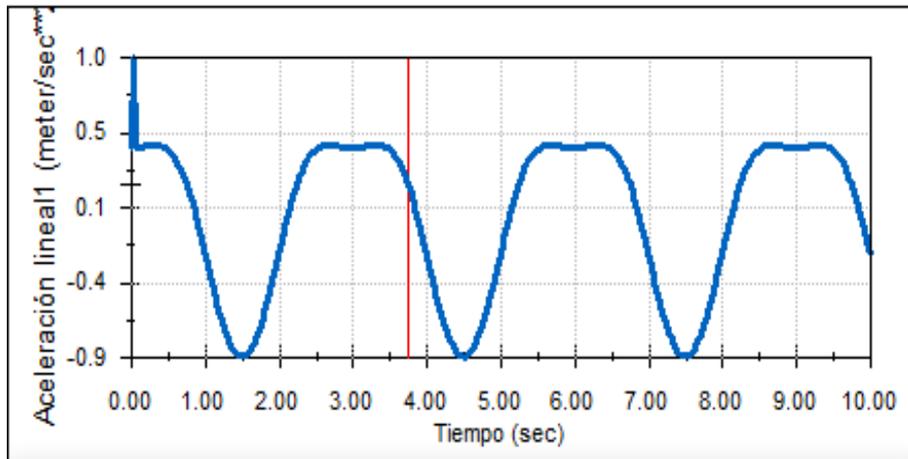


Gráfico 1. Aceleración (z) de la plataforma en función del tiempo.

Vz plataforma

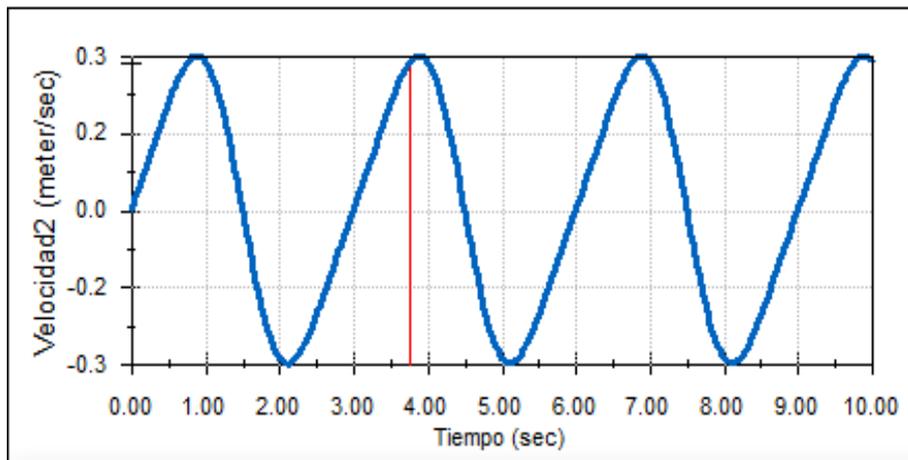


Gráfico 2. Velocidad lineal (z) de la plataforma en función del tiempo.

Despl(Z)

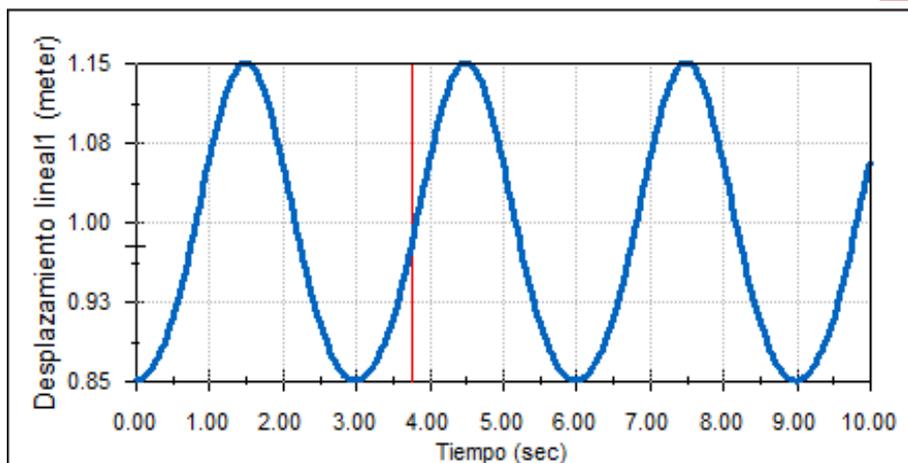


Gráfico 3. Desplazamiento lineal (z) de la plataforma en función del tiempo.

### 2.1.7. Verificación de la potencia del motorreductor

Como se mencionó en la sección 3.1.5 el motor se seleccionó en base a las disponibilidades en el sector de repuestos y suponiendo que la potencia entregada es suficiente para lograr el movimiento.

En esta sección se calcula la masa aproximada del conjunto a mover a través de la herramienta brindada por SolidWorks, para que junto con la velocidad obtenida del análisis cinemático se pueda verificar que la potencia del motorreductor elegido es suficiente para cumplir con las prestaciones esperadas.

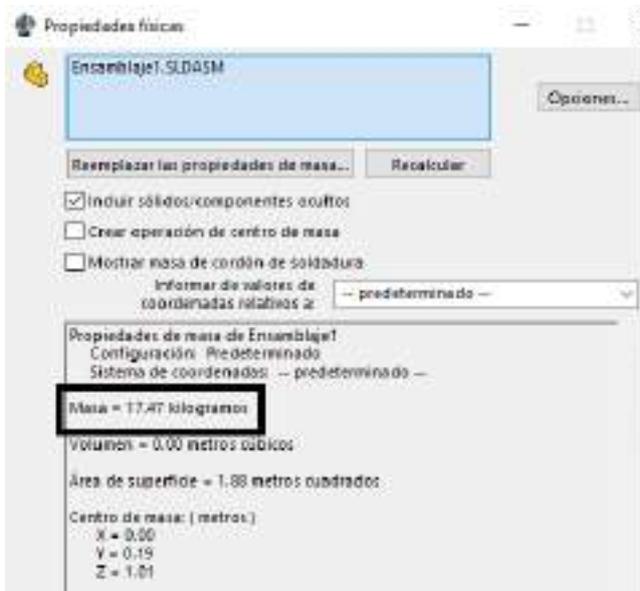
La potencia necesaria va estar dada por la ecuación (9) :

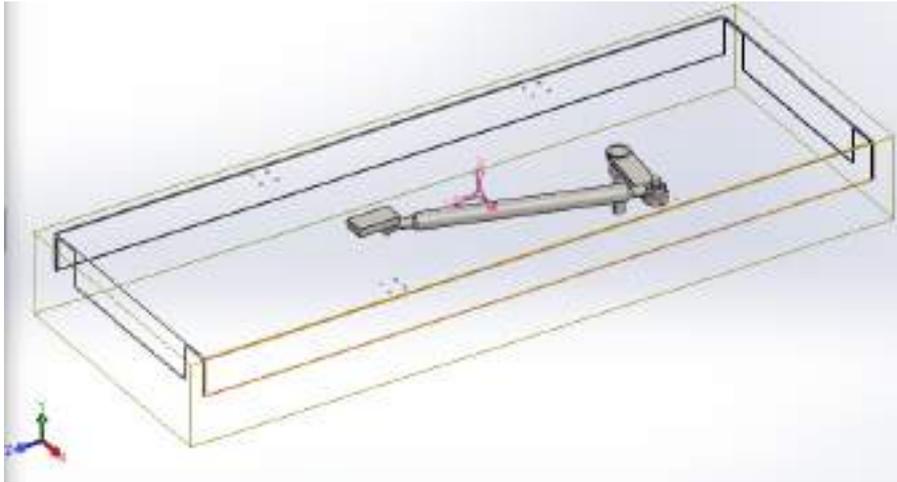
$$Pot = F v \quad (9)$$

Donde “F” se obtiene del cálculo de la masa total a mover y “v” es la velocidad máxima alcanzada por el conjunto.

Masa:

La masa del conjunto a mover se obtuvo a partir de las propiedades físicas del ensamble en movimiento. El valor obtenido considerando los materiales de cada parte fue de 17,47 kg





### Velocidad:

La velocidad máxima del análisis cinemático fue 0,3 m/s (*Gráfico 2. Velocidad lineal (z) de la plataforma en función del tiempo.*)

Por lo tanto:

$$\text{Pot necesaria} = 0,3 \times 174,7 \text{ N} = 52,41 \text{ N m/s} = 0,0524 \text{ kW.}$$

Considerando que el motorreductor tiene un rendimiento de 0,8; la potencia real que entrega el modelo seleccionado es:  $\text{Pot real} = \text{Pot de la chapa} \times \eta = 0,25 \text{ kW} \times 0,8 = 0,2 \text{ kW}$

Queda verificado que la potencia del motor alcanza para mover el conjunto

#### 2.1.8. Frecuencia de trabajo aproximada. Variador de frecuencia.

El eje transmisor debe girar a 20 rpm aproximadamente como se explicó. Se debe considerar que el motorreductor elegido posee una reducción 1:28 según sus características mencionadas.

Según los datos técnicos del motor, para una tensión de alimentación de 220V. el eje de salida del mismo gira a 1340 rpm. Considerando que la reducción es 1:28, la velocidad de giro a la salida del reductor será de 47,85 rpm.

Si bien la velocidad es reducida considerablemente, no llega a cumplir la velocidad deseada.

Para un mayor control y regulación de esta velocidad se decidió seleccionar un variador de frecuencia, permitiendo realizar variaciones en caso de resultar necesario.

Básicamente, un variador de frecuencia consiste en un dispositivo electrónico, el cual mediante un tratamiento en la tensión de alimentación puede variar la velocidad de salida del motor al cual está conectado.

Esto lo hace en 3 etapas. Transformación de CA a DC mediante diodos, suavizado de la señal continua mediante condensadores para reducir las variaciones en la señal rectificada y por último, la inversión en DC a CA. En esta última etapa, la tensión continua se transforma en una señal trifásica cuadrada gracias a un grupo de transistores IGBT. Modificando el tiempo en que estos transistores están encendidos se logra modificar la frecuencia de salida y así la velocidad del motor (a mayor tiempo encendidos más alta es la frecuencia).

El motor Bonfiglioli seleccionado admite la alimentación con variadores de frecuencia del tipo PWM (modulación por ancho de pulso), con tensión nominal de entrada del variador de hasta 500 V.

El variador seleccionado es de la marca Allen Bradley, modelo PowerFlex 525, el cual admite motores para un rango de potencia entre 0,2 a 22kW.



Para el cálculo de la frecuencia deseada se utiliza la ecuación (11):

$$RPM = (120 f)/p \quad (11)$$

Siendo:

f=frecuencia de suministro AC

p=cantidad de polos del motor

En este caso como las RPM deseadas a la salida del reductor es 20 rpm, y teniendo en cuenta la relación de reducción  $i=1:28$ , las RPM en el motor deben ser igual a 560 rpm.

Considerando que la cantidad de polos es 8 tendremos:

$$560 = \frac{120 f}{8} \rightarrow f = 37,33 \text{ [Hz]}$$

Según las especificaciones técnicas del variador seleccionado el mismo admite una frecuencia de trabajo entre 47 y 63 Hz. Por lo tanto la frecuencia de trabajo para la velocidad de la mesa va a ser la mínima admitida. Para esta frecuencia las rpm del eje de salida del reductor son 25.

Para bajas frecuencias el motor tiende a aumentar su temperatura, es por esto que se debe corroborar el estado del paletero del motor para una correcta ventilación del mismo y en caso de ser necesario adicionar algún otro tipo de ventilación.

#### 2.1.9. Verificación del torque para las RPM calculadas

Al disminuir las vueltas del motor el torque o par del mismo aumenta. Esto se puede observar en la siguiente expresión:

$$\text{Torque} = (HP \times 716) / RPM \quad (10)$$

$$\text{Torque} = (0,335 \text{ hp} \times 716) / 47,85 = 12 \text{ kg m} = 120 \text{ N m}$$

El torque máximo dado por el fabricante para este modelo de motoreductor es 150 N m, por lo que queda verificado.

#### 2.2. Segunda parte. Derivador de paquetes y cinta modificada.

Como se mencionó en la sección introductoria de este trabajo, los paquetes al recorrer la cinta transportadora, cuando llegan al final de la misma, deben ser derivados a las cajas que están posicionadas en la plataforma de vaivén.

Para lograr esto se pensó en la colocación de una “barrera” al final de la cinta. Dicha barrera debe guiar los paquetes de producto terminado a las cajas.

Básicamente, el movimiento que debe realizar la clapeta consiste en un pivoteo para un lado y para el otro, es decir, es un giro acotado en dos sentidos. En la Imagen 9 se muestra un esquema de lo mencionado anteriormente al detalle.

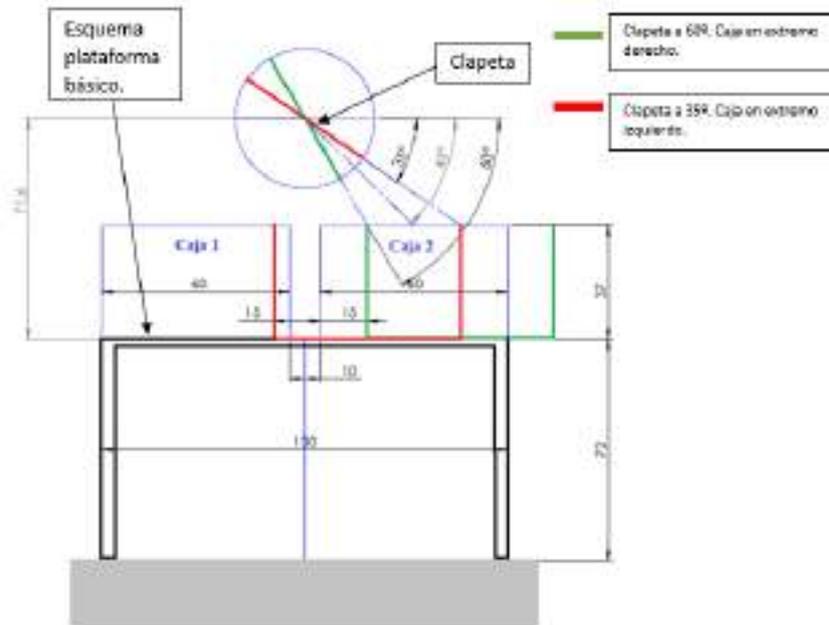


Imagen 9. Esquema de la plataforma con las cajas y posiciones extremas de las mismas.

El ángulo máximo de giro de la clapeta respecto a la horizontal estará estrechamente relacionado con la posición que ocupan las cajas en las posiciones extremas dadas por el movimiento de vaivén explicado en la sección anterior. El ángulo de giro estará comprendido entre dos ángulos límites, un ángulo máximo de  $60^\circ$  (clapeta en la posición verde) y un ángulo mínimo de  $35^\circ$  (clapeta en la posición roja).

Para hallar estos ángulos se realizó un croquis con las dimensiones conocidas y se colocó la caja N°2 150 mm hacia la derecha (línea verde) y 150 mm hacia la izquierda (línea roja). Estas posiciones corresponden a los extremos del movimiento biela - manivela de la plataforma donde las mismas apoyan. El siguiente paso fue determinar los límites. El lateral derecho de la caja roja limita un ángulo de giro ya que si el ángulo es menor (con respecto a la horizontal) es probable que los paquetes caigan fuera de la caja. El lateral izquierdo de la caja verde limita el otro ángulo de giro ya que si el ángulo es mayor los paquetes caerán fuera de la caja. Queda definido, entonces, el ángulo máximo y mínimo con el cual se determinó un ángulo medio de  $45^\circ$ . Dicho ángulo es el elegido para que, independientemente del actuador seleccionado la clapeta quede en esa posición, tanto a un lado como al otro, es decir, cuando los paquetes estén cayendo a la caja N°2 y la clapeta gire para que los paquetes caigan a la caja N°1 la misma habrá barrido un ángulo de  $90^\circ$  ( $45^\circ+45^\circ$ ).

### 2.2.1. Modelo computacional

Al igual que para la plataforma de vaivén, a través del SolidWorks se diseñó y modeló el conjunto que contiene el sistema derivador (*Imagen 10*). Con el prototipo virtual generado se logró corroborar las medidas y cualquier desvío posible, previo a detallar cómo será la fabricación de cada componente. Además, se establecieron todas las relaciones de posición entre las distintas partes del ensamble, teniendo en cuenta todos los vínculos.

Al igual que con las piezas del mecanismo de biela manivela, se estableció una tolerancia de fabricación general de  $\pm 0,1$  mm.

El sistema, entonces, debe estar constituido por:

- Una clapeta.
- Un eje solidario a la clapeta.
- El mecanismo actuador.
- Vínculo entre el eje y el actuador
- Un apoyo que soporte las partes mencionadas anteriormente.
- Tornillos para la fijación entre elementos

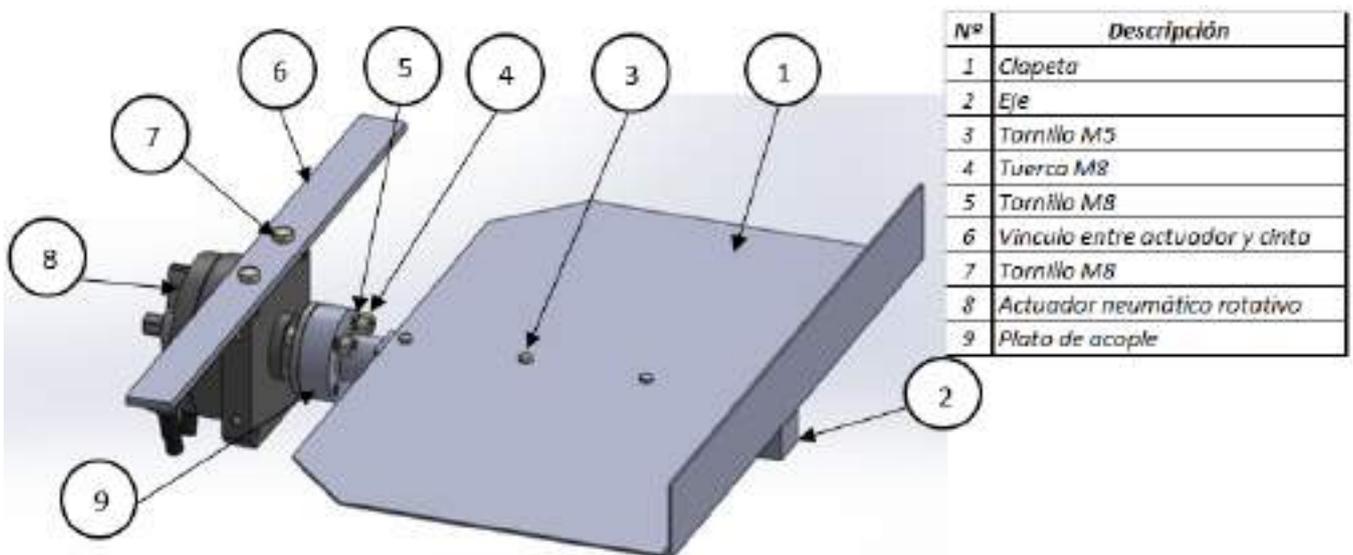


Imagen 10. Vista isométrica del mecanismo derivador. Listado de partes.

### 2.2.2. Selección del mecanismo

Conociendo el movimiento que se desea realizar y los extremos del movimiento se prosiguió con la selección de un mecanismo.

El mismo debe satisfacer las siguientes condiciones para cumplir una correcta selección:

1. Debe permitir la rotación en los dos sentidos posibles.
2. Debe hacer girar el eje a una velocidad lo suficientemente rápida tal que lo haga en un tiempo menor que el tiempo existente entre paquetes sucesivos (condición fundamental).
3. Debe hacer girar al eje un ángulo acotado para cumplir con los límites establecidos según las posiciones extremas de las cajas.
4. El sistema debe ser confiable. Debe tener la menor cantidad de piezas móviles

Existen diversas maneras de obtener una rotación en un eje de manera controlada, algunas de ellas son:

- ❖ Mediante un servo - motor (AC)
- ❖ Mediante algún actuador neumático / hidráulico

Para el presente caso se seleccionó un actuador neumático. El mismo satisface las necesidades para este tipo de prestaciones. Además, se tiene conocimientos básicos de neumática lo que facilita la selección de los elementos complementarios al actuador.

Festo trabaja con una amplia gama de actuadores neumáticos. Existen actuadores lineales (doble y simple efecto), así como también actuadores rotativos.

Precisamente, se seleccionó un actuador neumático giratorio o rotativo. La gama de actuadores rotativos ofrece un extenso abanico de posibilidades para distintos torques, con diferentes tipos de bases y adaptaciones para colocación de ejes. También permiten regular, mediante unos “topes”, el ángulo de giro deseado para el eje.

El funcionamiento es muy simple y posee una única pieza móvil solidaria al eje a colocar, brindando confiabilidad y mantenimiento nulo.

Básicamente, un actuador giratorio posee dos entradas de aire. Mediante dichas entradas el aire (previamente filtrado) empuja la pieza móvil que posee solidaria al alojamiento del eje y dependiendo por donde ingresa el aire el eje gira para un lado o para el otro hasta hacer tope. A continuación se muestra en la Imagen 11 un esquema básico de cómo está constituido un actuador neumático giratorio.

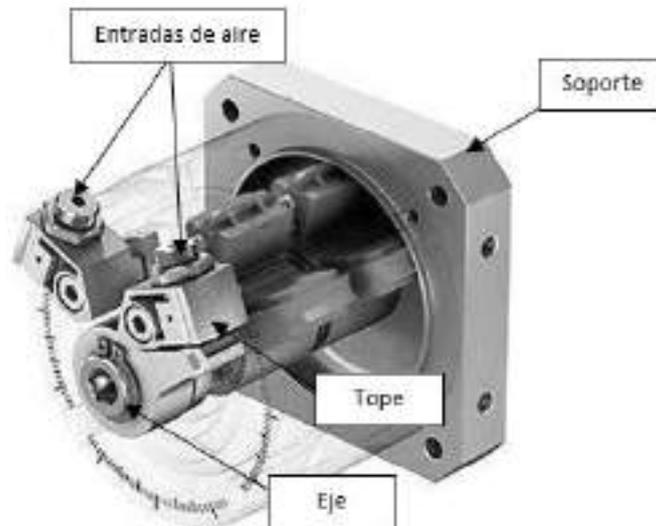
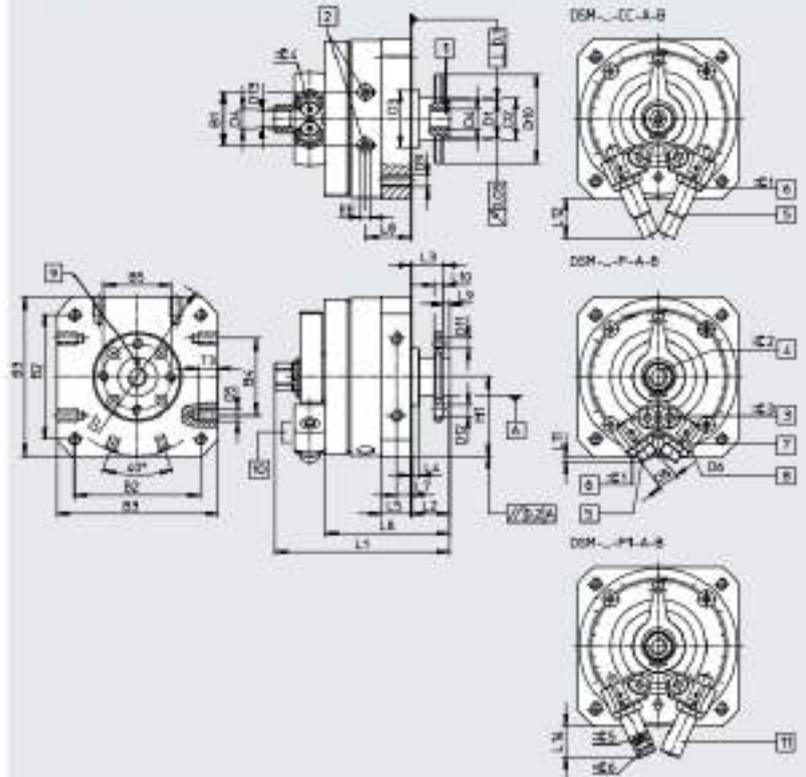


Imagen 11. Actuador giratorio neumático.

Se seleccionó un actuador Festo modelo DSM-32-270-CC-FW-A-B el cual se encuentra disponible en el almacén de repuestos de la planta. Sus características básicas según la hoja técnica son:

- Ajuste de giro de 0 a 246°.
- Admite cualquier posición de montaje.
- Presión de trabajo admisible entre 1,5 y 10 bar.
- Material: aluminio forjado.
- Fuerza axial máxima 75 N
- Fuerza radial máxima 200 N
- Momento de giro teórico con 6 bar 10 Nm
- Momento de inercia admisible de la masa 0.05 kgm<sup>2</sup>

Las dimensiones del actuador son las siguientes:



Dimetro	H	H1	H3	H4	H5	D1	D2	D3	D4	H6
H1	39,8	48(±)	58(±)	68(±)	78	16	23(±)	33	41	50
H2	11,1	12(±)	15(±)	18(±)	20	15	18(±)	18	20	20
H3	18	21(±)	24(±)	28(±)	30	20	20(±)	18	20	20
H4	15,1	17(±)	19(±)	22(±)	25	22	27(±)	17	20	20
H5	41,8	50(±)	60(±)	70(±)	80	36	44(±)	52	60	70
H6	30,1	37(±)	45(±)	53(±)	60	30	36(±)	42	48	55

Dimetro	H6	H7	H8	H9	H10	D11	D12	D13	H14	H15
H6	30	36(±)	42(±)	48	54	30	36	42	48	54
H7	30	36(±)	42(±)	48	54	30	36	42	48	54
H8	30	36(±)	42(±)	48	54	30	36	42	48	54
H9	30	36(±)	42(±)	48	54	30	36	42	48	54
H10	30	36(±)	42(±)	48	54	30	36	42	48	54
H11	30	36(±)	42(±)	48	54	30	36	42	48	54
H12	30	36(±)	42(±)	48	54	30	36	42	48	54
H13	30	36(±)	42(±)	48	54	30	36	42	48	54
H14	30	36(±)	42(±)	48	54	30	36	42	48	54
H15	30	36(±)	42(±)	48	54	30	36	42	48	54

Dimetro	H	L1	L2	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
H1	47,3(±0,05)	11	13	1	10,3(±0,05)	46	5(±)	36,3	1	1(±)
H2	79(±0,05)	11	13	2(±)	13(±0,05)	56,1	4,5(±)	35,7	1	1(±)
H3	90(±0,05)	11(±)	13(±)	1	15,3(±0,05)	66	7,5(±)	23,3	1	1,5(±)
H4	113,8(±0,05)	11	13	1	18,3(±0,05)	80	6,5(±)	36,7	1	1(±)
H5	145,8(±0,1)	11	13	1	25,3(±0,05)	100	11(±)	16	1	7,5(±)
H6	177,4(±0,05)	11(±)	13(±)	1(±)	30,3(±0,05)	121,5	14(±)	15	1	8(±)

Dimetro	H11	H12	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20
H11	1	12,7	12,7	1	18	1	1,5	1,5	1,5
H12	1,2	16,1	17	1	18	1	1	1	1
H13	1,3	19,7	17	1	18	1	1	1	1
H14	1,4	23,1	17	1	18	1	1	1	1
H15	1,5	26,5	17	1	18	1	1	1	1
H16	1,6	30,1	17	1	18	1	1	1	1
H17	1,7	33,7	17	1	18	1	1	1	1
H18	1,8	37,1	17	1	18	1	1	1	1
H19	1,9	40,7	17	1	18	1	1	1	1
H20	2,0	44,1	17	1	18	1	1	1	1

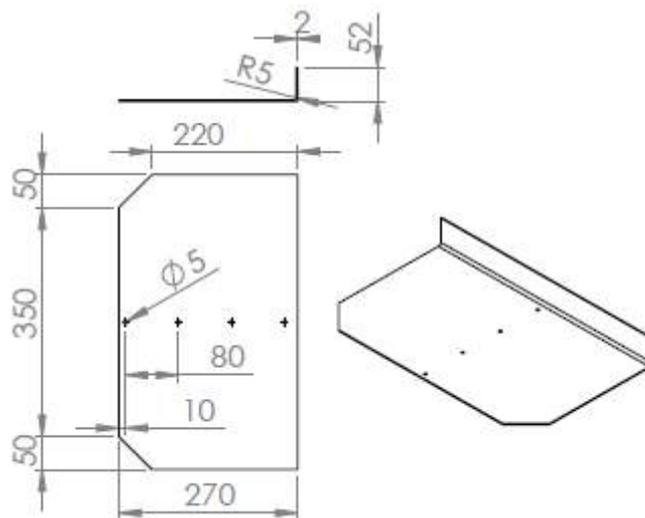
Posteriormente, luego de modelar el conjunto completo, con las dimensiones finales y pesos de cada pieza se verificará en la sección 2.2.4 que el actuador sea el adecuado.

### 2.2.3. Secuencias de operaciones para la fabricación del mecanismo

#### Clapeta

Se tuvo en cuenta el tamaño de los paquetes a la hora de dimensionar la chapa. Los mismos deben caber para que no existan inconvenientes al derivarlos a las cajas. Se optó por elegir una chapa de 2mm de espesor de aleación de aluminio 6061. La clapeta tendrá 4 agujeros para vincularse mediante tornillos allen al eje y un plegado en el extremo para evitar que los paquetes continúen de largo.

#### Pieza a obtener



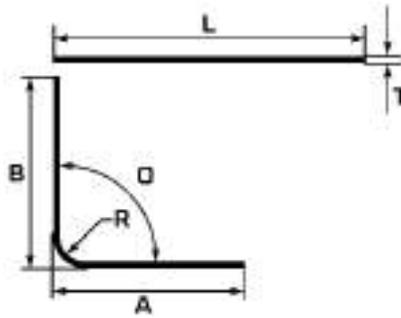
#### Secuencia de operaciones

##### 1. Corte con láser

Corte a medida mediante corte láser CO2 (el más empleado para aceros al C y austeníticos, aluminio, etc), con el fin de obtener una buena calidad de corte.

##### 2. Plegado de la chapa. Plegado de fondo o plegado en V

Con ángulo  $\theta = 90^\circ$ ,  $R \neq 0$ ,  $R=5\text{mm}$ ;  $A= 260 \text{ mm}$  y  $B=50\text{mm}$ .



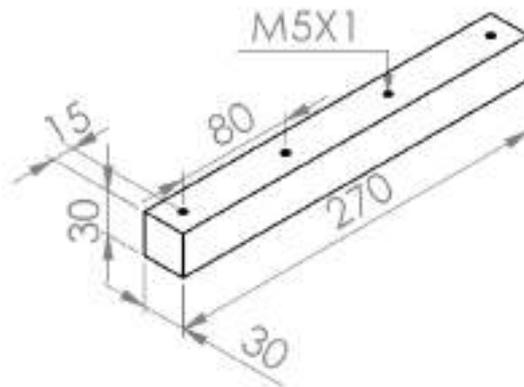
Considerando un factor de plegado  $K=0,3$ , utilizando el calculador de desarrollo inicial “L” de la chapa brindada por la empresa de plegado y corte “Gasparini”, se obtiene un largo inicial a cortar de chapa de 304,8 mm. Con respecto al ancho de la chapa se tomó 450mm como medida definida.

3. Taladrado. Con mecha de 5 mm se realizaron cuatro agujeros espaciados 80 mm entre sí

Eje:

Esta pieza es la encargada de transmitir el movimiento de rotación a la clapeta desde el acople con el actuador giratorio. Se seleccionó para el eje un macizo de acero inoxidable AISI 304 de sección rectangular de 30 mm de lado.

Pieza a obtener:



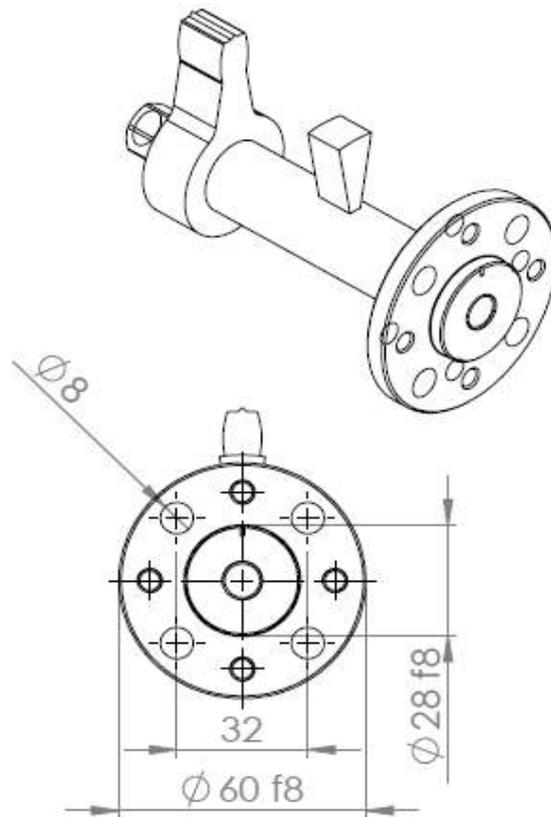
Secuencia de operaciones:

1. Corte con sierra de cinta para llegar a la medida 270 mm.
2. Sujeción con mordaza. Operación de taladrado en taladro vertical. Con mecha de 5 mm se realizaron los cuatro agujeros.
3. Sobre la misma posición con mecha macho 5x1 se realizaron las cuatro roscas

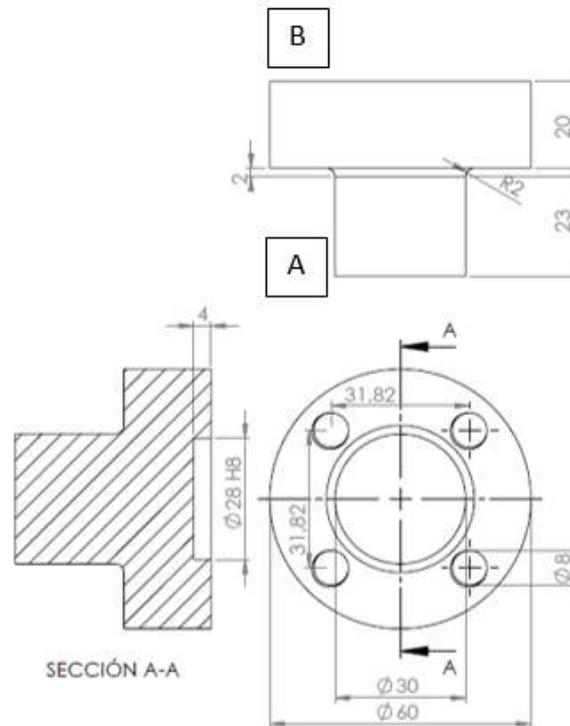
Vínculo con el actuador neumático, plato de acople tipo “brida”:

Teniendo en cuenta que el actuador neumático seleccionado dispone de una forma de vinculación tipo brida, se prosiguió con hacer la contraparte bridada que irá solidaria al eje y va a permitir la transmisión del movimiento.

Según los planos descargados de Festo, la pieza móvil interna del actuador tiene las siguientes medidas y calidades:



Pieza a obtener



Se parte de un macizo de aleación de aluminio de 60 mm de diámetro x 1m (medida comercial)

Secuencia de operaciones:

1. Sujeción. Corte con sierra de cinta. Largo obtenido = 100 mm. Se dejan 55 mm para la sujeción en próximas operaciones.
2. Sujeción desde el lado "A" en el torno paralelo (se usan 30 mm para sujetar)
3. Mecanizado exterior del cilindro. Limpieza superficial.
4. Torneado interior. Profundidad = 20 mm. Mandrinado interior. Diámetro 28mm. Calidad H8. Herramienta broca de plaquita intercambiable 880-D2800L32-02.
5. Giro de la pieza. Sujeción desde el lado "B".
6. Corte de los 45 mm del lado "A"
7. Torneado. Desplazamiento 25 mm. Se lleva el diámetro a 34 mm. Herramienta con mango para torneado.
8. Torneado. Desplazamiento 23 mm. Se lleva el diámetro a 30 mm. Herramienta con mango para torneado.
9. Con herramienta de corte con radio 2 mm se genera el radio de acuerdo.
10. Refrentado cara "A" para lograr un buen acabado

11. Fijación en taladro de banco. Con mecha de 8 mm se realizan los cuatro agujeros pasantes (Separación angular 90°)
12. Roscado. Desde la misma posición se realiza el roscado, con mecha macho de 8 x 1,25mm.

Vínculo entre actuador y cinta.

Se debe vincular el conjunto actuador, eje y clapeta a la cinta transportadora. El actuador presenta, de fábrica, agujeros M4 en su parte superior, diseñado para establecer la sujeción en el lugar donde se va a colocar.

Para este caso se pensó una chapa rectangular de acero soldada al chasis de la cinta transportadora, con agujeros para poder sujetar el actuador y el conjunto en su totalidad (Imagen 12).

Se parte de una chapa de 6 mm de espesor de medidas comerciales de acero inoxidable AISI 304.

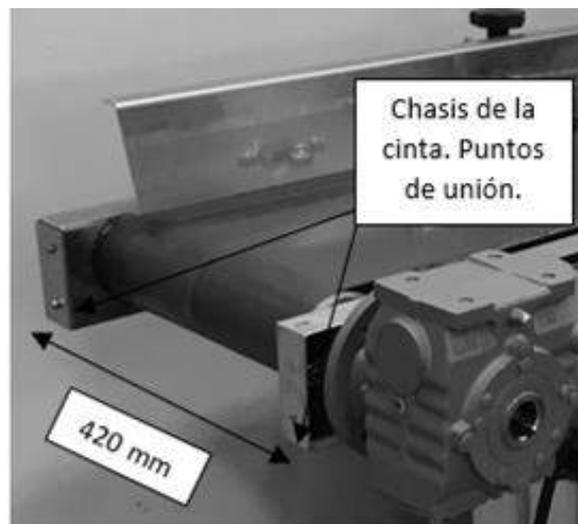
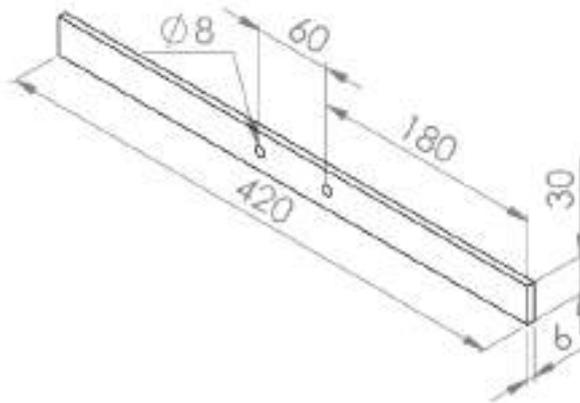


Imagen 12. Foto real cinta transportadora.

Pieza a obtener



Secuencia de operaciones:

1. Corte con láser de la chapa. Se obtienen las medidas 30 x 420mm
2. Taladrado. Con mecha de 4 mm se realizan los agujeros en el taladro de banco.

#### 2.2.4. Verificación del actuador

Debido a que la presión de funcionamiento es la correcta, el ángulo de giro contemplado en el movimiento es admitido, se calcula la inercia rotacional del conjunto para obtener el tiempo de accionamiento según este modelo seleccionado en particular y conocer si se está dentro de lo permitido

- Inercia rotacional: Se calcula la inercia rotacional del conjunto, es decir, la resistencia que ofrece el conjunto a ser girado.

*Inercia rotacional conjunto*

$$= \frac{1}{12} \text{ masa clapeta } (\text{espesor}^2 + \text{largo}^2) + \frac{1}{12} \text{ masa eje } (\text{lado } a^2 + \text{lado } b^2)$$

*Inercia rotacional conjunto*

$$= \frac{1}{12} 2,16 \text{ kg } [(0,002\text{m})^2 + (0,3\text{m})^2] + \frac{1}{12} 2,16 \text{ kg } [(0,03\text{m})^2 + (0,03\text{m})^2]$$

$$J = 0,016 \text{ kg m}^2$$

Ingresando al gráfico brindado por Festo (Imagen 13), se observa que para tiempo de giros (accionamiento) mayores o iguales a 1 segundo (tiempo entre paquetes sucesivos), la máxima inercia rotacional que puede vencer es de 0,05 kg m<sup>2</sup>, es decir, que para inercias rotacionales mayores no existe un tiempo en el cual se pueda vencer la inercia del conjunto a mover. Si se desea que accione en 0,3 segundos por ejemplo, la inercia que va a poder vencer será de 0,02 kg m<sup>2</sup>, en otras palabras, queda verificado el accionamiento en menos de 1 segundo para la inercia rotacional calculada.

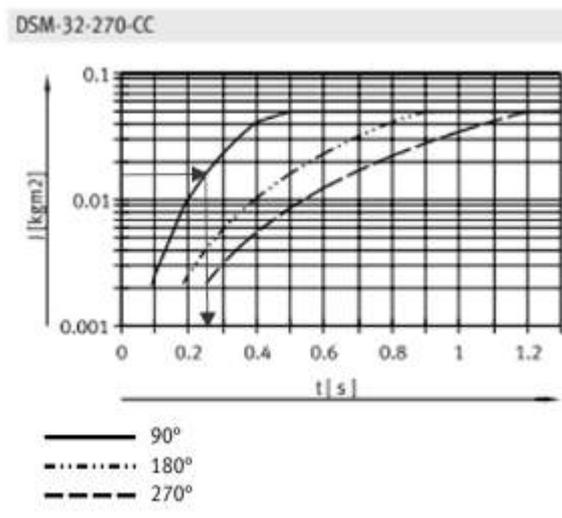
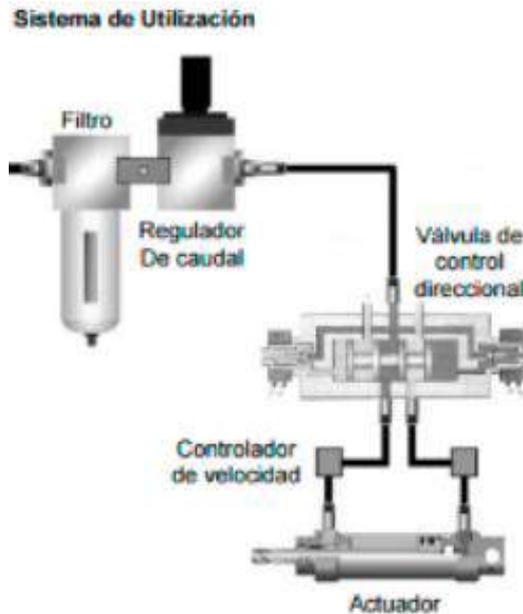


Imagen 13. Curvas de accionamiento inercia rotacional vs tiempo para ángulos de giro 90, 180 y 270°.

#### 2.2.5. Sistema neumático para el accionamiento.

Como se mencionó anteriormente, la clapeta será accionada con un actuador neumático. El sistema neumático está integrado por una serie de componentes que hacen posible el correcto funcionamiento. La mayoría están formados por una unidad compresora, un filtro de aire, regulador, lubricante, una válvula de control direccional y el actuador propiamente dicho (en este caso el actuador rotativo).



En el presente caso el aire proveniente de la línea se encuentra a 6 bar y se supone previamente filtrado.

La válvula direccional (electroválvula) trabajará en conjunto con la señal eléctrica enviada por el PLC. La señal eléctrica comandada por el PLC genera una fuerza magnética que atrae el carrete interno de la válvula permitiendo el flujo de aire en una dirección. Cuando la señal eléctrica cae el carrete regresa a la posición opuesta permitiendo el flujo de aire en la otra dirección.

Se seleccionó una válvula 5/2, es decir, cinco vías y dos posiciones, con mecanismo de retorno por resorte. Las posibles posiciones se explican en la *Tabla 4* a continuación:

Tabla 4

*Posiciones de los conductos internos de la válvula según la señal eléctrica*

<p>Señal eléctrica ON. La vía 1 de entrada se conecta con la vía 4 de salida. La vía 2 se conecta con la vía 3 de escape. El actuador actúa en un sentido.</p>	<p>Señal eléctrica OFF. El resorte 12 se retrae y la vía 1 de entrada se conecta con la vía 2 de salida. La vía 4 se conecta con la vía 5 de escape. El actuador actúa en el otro sentido.</p>

El modelo de válvula seleccionada a partir del catálogo de Festo es el MH2 como se muestra a continuación:



### 2.2.5. Modificación de la dimensión de la cinta y su soporte.

Como se mostró al inicio del proyecto, la cinta original junto con su estructura tenía un largo total de 4500 mm y el chasis estaba formado por soportes de caño de sección circular con determinadas medidas

La nueva estructura pasa a medir 1900 mm para que junto con el largo del seal checker no se superen los 4500 mm originales.

Las modificaciones de la cinta mostrada en la Imagen 14 fueron las siguientes:

- ❖ Corte de la estructura (zona 1)
- ❖ Modificación de los soportes del chasis (zona 2). Se cambiaron los caños circulares por caño de sección rectangular modificando las dimensiones para lograr la inclinación deseada.
- ❖ Se quitó la chapa lateral (zona 3)

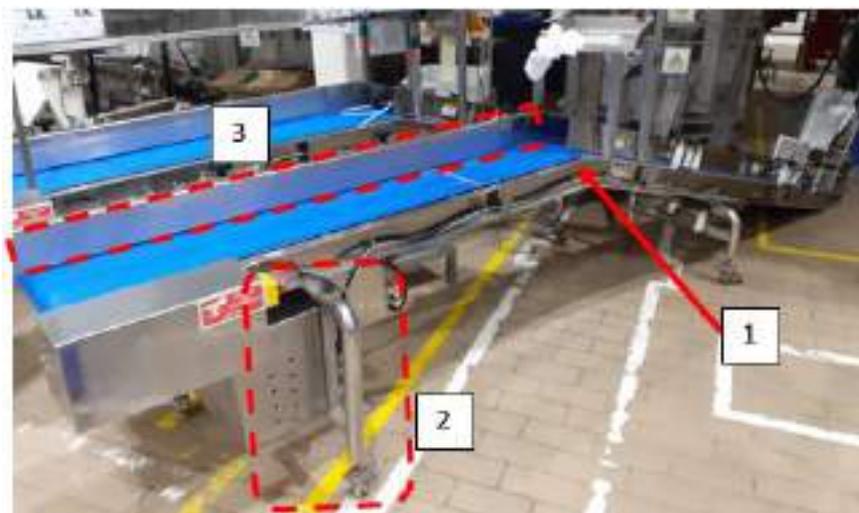
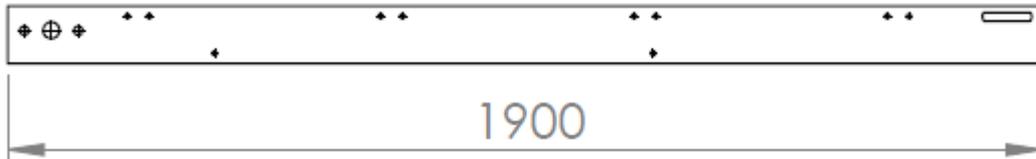


Imagen 14. Puntos modificados de la cinta original.

Dimensiones de la estructura de soporte:

La estructura “zona 1” quedó modificada en su longitud mediante un corte, la dimensión final se muestra a continuación (no se entra en detalle cómo se realiza este corte):



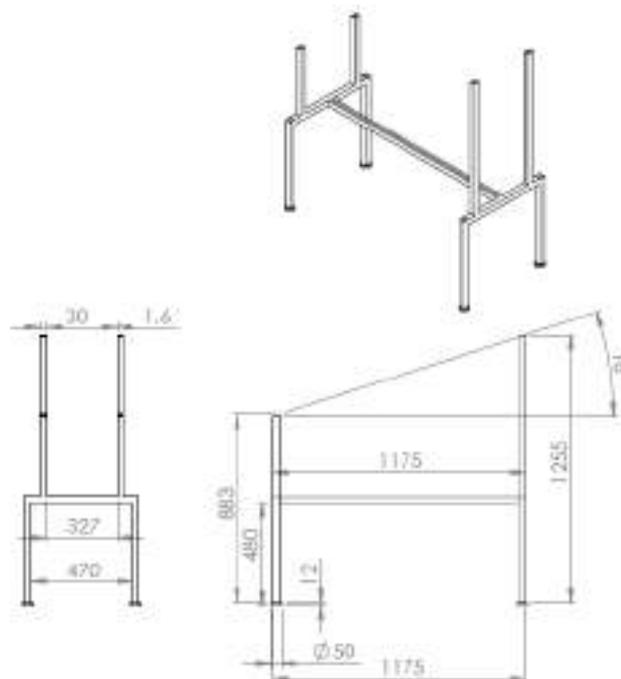
Para la “zona 2” se seleccionó una inclinación tal que los paquetes no deslicen y que la altura de despegue de la cinta sea razonable con respecto a la plataforma y las cajas ubicadas sobre la misma.

El ángulo de inclinación se fijó en  $18^\circ$ . El coeficiente de roce  $\mu$  entre paquete y banda de transporte engomada según el fabricante de bandas “Habasit” es de 0,35. Por lo que el ángulo máximo permitido para que el paquete no deslice (según ecuaciones de equilibrio) es:

$$a = \arctg(\mu) = 19,3^\circ$$

El caño utilizado para la estructura fue el mismo utilizado para la estructura de la plataforma de vaivén.

Las dimensiones del soporte se detallan a continuación:



Ambas partes se unieron mediante soldadura (el detalle se muestra en los planos al final del trabajo).



#### 2.2.6. Ubicación del sensor de barrera

Para poder realizar el conteo de paquetes se colocó un sensor de barrera previo a la clapeta giratoria. El sensor seleccionado posee en el mismo cuerpo tanto al emisor como al reflector y un espejo enfrentado, el mismo es del tipo reflex.

Cuando un objeto aparece, la luz reflejada por el mismo difiere con respecto a la luz reflejada por el espejo que se encuentra del otro lado. Esta diferencia de luz es detectada y arroja un valor lógico.

Específicamente se seleccionó un sensor de barrera (Reflex) 10m PNP de la marca Sick, el cual cumple con los requerimientos.

El sensor, estará ubicado en el lateral de la cinta a 40 cm del extremo donde irá la clapeta, y, de igual manera, pero en el lateral opuesto irá ubicado el espejo encargado de reflejar la luz cuando el objeto aun no atravesó.

### 3. Análisis de esfuerzos

En este apartado se van a analizar dos casos. Por un lado se va a realizar una simulación a través del SolidWorks de una situación hipotética que puede ocurrir durante el funcionamiento del equipo, y por otro lado, un análisis por impacto de los paquetes al golpear contra la clapeta (analizando de acuerdo a los resultados si se justifica un análisis de fatiga). En base a los resultados obtenidos se accionará sobre el material elegido, el diseño o simplemente no habrá que realizar cambio alguno.

#### 3.1. Caso 1. Análisis para situación hipotética.

La clapeta se encuentra en voladizo, por lo que cualquier esfuerzo externo posible debe ser analizado. Se supone la situación en que un operario se apoya sobre la clapeta durante algún descanso o parada del equipo.

Este caso se va a simular sobre el ensamble simplificado del conjunto de la clapeta a través de elementos finitos con SolidWorks. Para esto, primeramente se le asignó el material correspondiente a cada pieza, luego se especificaron las sujeciones (restricciones), las fuerzas externas correspondientes y por último, las especificaciones del mallado.

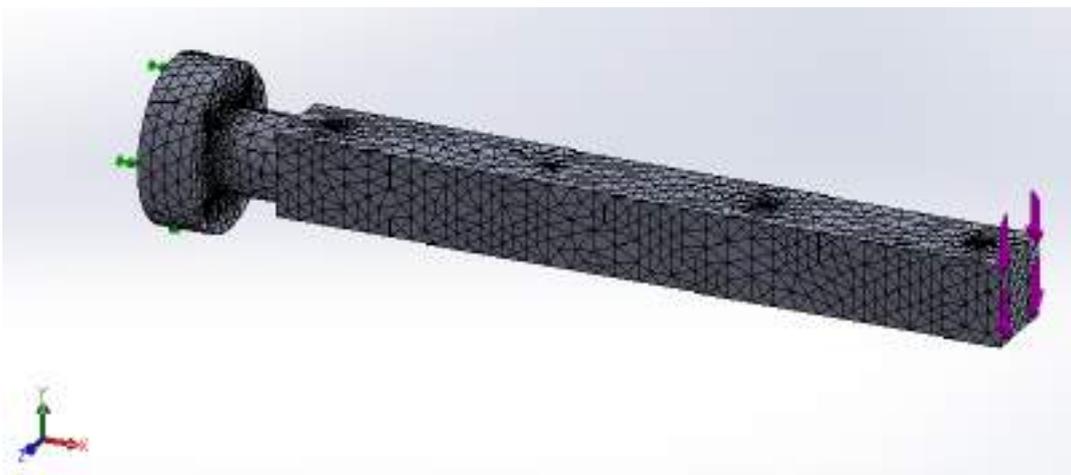
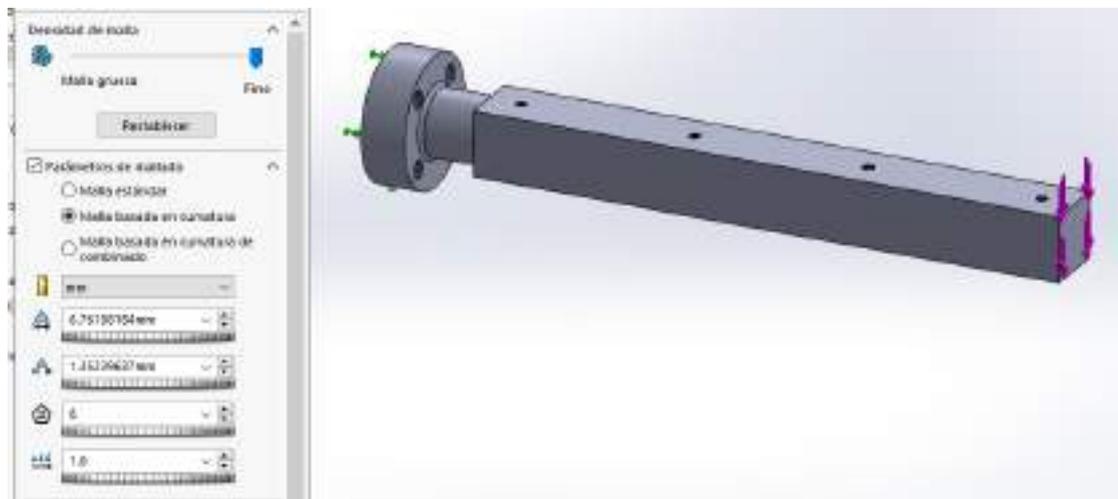
Condiciones para la simulación:

- Se simplificó el ensamble completo a únicamente el eje y el acople con el actuador.
- El eje está empotrado y en voladizo.
- El material de la clapeta es acero AISI 304.
- El material del eje rectangular es acero AISI 304.
- Se considera una fuerza puntual de 200 N en la dirección (-y), equivalente a la fuerza de una persona adulta apoyada, en el extremo del eje. Y condiciones de contorno como las mostradas a continuación (fijo en un extremo y libre en el otro):



Simulación 1. Eje en voladizo. Fuerza puntual en el extremo.

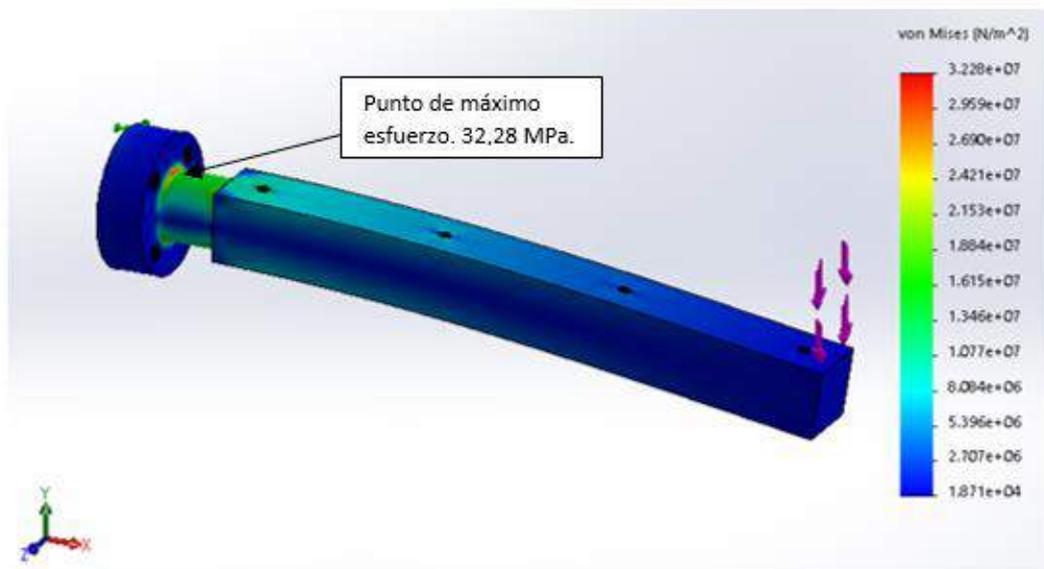
- Se utilizó un mallado fino del tipo “malla basado en curvatura”. Resultando en el siguiente mallado:



Simulación 2. Mallado utilizado. Tipo de mallado: fino.

Resultados de la simulación:

Como bien se muestra a continuación, la aplicación del esfuerzo sobre el eje en voladizo genera una tensión equivalente de Von Mises la cual resulta máxima en la zona marcada en rojo, con un valor de 32,28 MPa.



Simulación 3. Resultado de la simulación. Tensión de Von Mises punto a punto.

Se compara la tensión equivalente de Von Mises con la tensión de fluencia del soporte según el material correspondiente.

Para el acero seleccionado el límite de fluencia  $\sigma_f$  aproximado es 205 MPa, resultando que la máxima tensión de Von Mises está por debajo del límite de fluencia. Con un factor de seguridad “s” aproximado de 6,4 (205MPa / 32MPa).

### 3.2. Caso 2. Análisis para el impacto de paquetes.

Si bien el análisis del presente proyecto se realizó para un tamaño específico de paquetes y peso determinado, la máquina podría utilizarse para paquetes de mayor peso y tamaño. Paquetes a granel de ciertos productos pueden pesar hasta 1,5 kg, que, lanzados desde una cierta altura puede resultar en una fuerza ampliamente superior al propio peso del paquete, lo que sumado a una periodicidad de impacto puede causar daños sobre el eje en voladizo.

Consideraciones para el análisis:

- La fuerza de impacto se supone en el punto más alejado.
- El acople y el eje se consideran una misma parte con una igual sección para simplificar el problema.
- De acuerdo a la magnitud del primer resultado, se analizará considerar o no factores de concentración de esfuerzo.
- No se considera el propio peso del conjunto.
- El eje absorbe energía en régimen elástico.
- Se simplifica el modelo real a un eje al igual que en el caso anterior.

Datos:

- Material AISI 304.
- E (módulo de elasticidad) = 200 GPa
- Radio de entalla = 2mm
- Tensión de fluencia = 205 MPa
- Módulo de rigidez G = 10,7 GPa
- Masa de los paquetes = 0,5 kg
- Altura de caída aproximado “h”= 0,15 m
- Eje de sección rectangular de lado = 0,03m
- Largo del eje + acople = 0,3m

### 3.2.1 Coeficiente multiplicador “Kdinámico”:

Se debe conocer en cuánto se multiplican las tensiones debido al impacto del paquete. Conociendo este factor de multiplicidad,  $\varphi$  (coeficiente de impacto), se calculan entonces las tensiones dinámicas que experimenta el eje.

Para abordar este problema se parte de la teoría de carga equivalente, en donde se iguala el trabajo ejercido por la fuerza dinámica y el trabajo ejercido por una carga estática equivalente

Para el eje de 30mm de sección rectangular, los momentos de inercia son:

$$I_z = \frac{1}{12} a * b^3 = \frac{1}{12} 0,03m * (0,03m)^3$$

$$I_z = 6,75 \text{ exp} - 8$$

$$I_p = \frac{1}{6} a * b^3 = \frac{1}{6} 0,03m * (0,03m)^3$$

$$I_p = 1,35 \text{ exp} - 7 \text{ m}^4$$

Como consecuencia del impacto el trabajo desarrollado por la carga Q será:

$$W \text{ flector } 1 = Q (h + \delta_{\text{dinamico}}) \quad (12)$$

Si se considera una carga equivalente P que origina la misma deformación  $\delta$ :

$$W \text{ flector } 2 = (P \delta_{\text{dinamico}})/2 \quad (13)$$

Igualando (11) y (12)

$$W \text{ flector } 1 = W \text{ flector } 2:$$

$$Q (h + \delta_{\text{dinamico}}) = (P \delta_{\text{dinamico}})/2$$

$$Q (h + \delta_{\text{dinamico}}) = \frac{3 \delta_{\text{dinamico}}^2 E I_z}{2L^3}$$

Se tiene entonces la siguiente expresión de la forma cuadrática:

$$\frac{3 E I_z \delta_{\text{dinamico}}^2}{2L^3} - Q \delta_{\text{dinamico}} - Q h = 0$$

Cuya solución es, siendo Q el peso (15N) y h = 0,3:

$$\delta_{\text{dinamico}} = \frac{Q \pm \sqrt{(-Q)^2 - 4 \left(\frac{3E I_z}{2L^3}\right) h Q}}{2 \frac{3E I_z}{2L^3}}$$

Pero si se expresa en función del  $\delta_{\text{est}}$  resulta:

$$\delta_{\text{dinamico}} = \delta_{\text{est}} [1 + \sqrt{(1 + (2h)/\delta_{\text{est}})}]^{(1/2)} \quad (14)$$

$$\text{El } \delta_{\text{est}} = \frac{F L^3}{3 E I_z} = 0,01m = 1mm$$

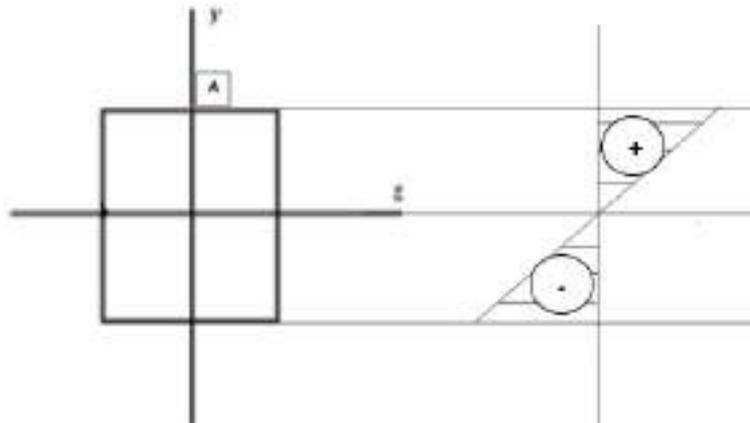
La altura de la caída es 150 veces el  $\delta_{\text{est}}$  (h = 150mm), por lo tanto, reemplazando en (13) resulta:

$$\delta_{dinamico} = \delta_{est} \left[ 1 + \left( 1 + \frac{300 \delta_{est}}{\delta_{est}} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

$\delta_{dinamico} = 18,34 \delta_{est}$  Por lo tanto  $\rightarrow \varphi = 18,34$

### 3.2.2 Punto crítico a analizar

Se analiza el punto más crítico "A" de la sección transversal en el empotramiento. La distribución de tensiones es la mostrada a continuación siendo máxima la tensión de tracción en la fibra superior.



Punto A

El esfuerzo normal a la flexión  $\sigma_x$  es máximo

Tensión  $\sigma_x$  debido al momento flector está dado por la expresión (15):

$$\sigma_x (y) = (M_{flector} * y) / I_z \quad (15)$$

Siendo "y" la distancia a la fibra neutra de la sección en la dirección "y"

$$\sigma_{x \max} (y) = \frac{(Q * x_1) * y_{\max}}{I_z}$$

Expresando Q en función del  $\delta_{dinamico}$ :

$$Q = \frac{3 \delta_{dinamico} E I_z}{L^3}$$

Resulta:

$$\sigma_{x \max}(y) = \frac{3 \delta_{dinamico} E * y_{max}}{L^2}$$

Reemplazando los valores:

$$\sigma_{x \max}(y) = 1,84 \text{ [MPa]}$$

Si bien existen factores tales como el factor geométrico  $K_t$  y la sensibilidad a la entalla  $K_f$ , que hacen que la tensión real en el punto en cuestión sea mayor, la tensión máxima resultante tiene un valor tan bajo que no se justifica la aplicación de los mismos, así como tampoco se justifica un análisis de fatiga dejando dicho análisis de lado.

## 4. Lógica del PLC. Acciones del equipo

### 4.1. Conceptos básicos

Previo a la explicación de la lógica se introducen algunos conceptos importantes que se tuvieron en cuenta. Tipos de entradas y salidas, tipos de compuertas lógicas y flip flops, junto con su simbología y diagramas temporales respectivos que explican su funcionamiento.

Tipos de entradas y salidas:

#### Entradas digitales

Los módulos de entrada digitales permiten conectar al autómatas captador de tipo todo o nada como finales de carrera pulsadores. Los módulos de entrada digitales trabajan con señales de tensión, por ejemplo, cuando por una vía llegan 24 voltios se interpreta como un "1" y cuando llegan cero voltios se interpreta como un "0"

#### Entradas analógicas

Los módulos de entrada analógica permiten que los autómatas programables trabajen con accionadores de mando analógico y lean señales de tipo analógico como pueden ser la temperatura, la presión o el caudal.

Los módulos de entradas analógicas convierten una magnitud analógica en un número que se deposita en una variable interna del autómatas. Lo que realiza es una conversión A/D, puesto que el autómatas solo trabaja con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (período muestreo). Los módulos de entrada analógica pueden leer tensión o intensidad.

#### Salidas digitales

Un módulo de salida digital permite al autómatas programable actuar sobre los preaccionadores y accionadores que admiten órdenes de tipo todo o nada.

El valor binario de las salidas digitales se convierte en la apertura o cierre de un relé interno del autómatas en el caso de módulos de salidas a relé.

En los módulos estáticos (bornero), los elementos que conmutan son los componentes electrónicos como transistores o triacs, y en los módulos electromecánicos son contactos de relés internos al módulo.

Los módulos de salidas estáticas al suministrar tensión sólo pueden actuar sobre elementos que trabajan todos a la misma tensión, en cambio los módulos de salida electromecánicos, al ser libres de tensión, pueden actuar sobre elementos que trabajan a tensiones distintas.

### Salidas analógicas

Los módulos de salida analógica permiten que el valor de una variable numérica interna del autómatas se convierta en tensión o intensidad.

Lo que realiza es una conversión D/A, puesto que el autómatas solo trabaja con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (período muestreo).

Esta tensión o intensidad puede servir de referencia de mando para actuadores que admiten mando analógico como pueden ser los variadores de velocidad, las etapas de los tiristores de los hornos, reguladores de temperatura, etc, permitiendo al autómatas realizar funciones de regulación y control de procesos continuos.

### Compuertas lógicas y flip flops

Las compuertas lógicas son circuitos electrónicos conformados internamente por transistores que se encuentran con arreglos especiales con los que otorgan señales de voltaje como resultado o una salida de forma booleana, están obtenidos por operaciones lógicas binarias (suma, multiplicación). También niegan, afirman, incluyen o excluyen según sus propiedades lógicas.

Existen diferentes tipos de compuertas, estas tienen tablas de verdad que explican los comportamientos en los resultados que otorga, dependiendo del valor booleano que tenga en cada una de sus entradas.

Trabajan en dos estados, “1” o “0”, los cuales pueden asignarse a la lógica positiva o lógica negativa. El estado 1 tiene un valor de voltaje determinado como máximo (ejemplo: 5Volts) y el estado 0 tiene un valor de 0 Volts como mínimo.

La lógica positiva es aquella que con una señal en alto se acciona, representando un 1 binario y con una señal en bajo se desactiva representado un 0 binario. La lógica negativa proporciona los resultados inversamente, una señal en alto se representa con un 0 binario y una señal en bajo se representa con un 1 binario.

Por otro lado, un flip-flop, también conocido en español como dispositivo biestable, es un circuito de tipo multivibrador y secuencial que puede adquirir dos estados de manera indefinida, a menos que se perturbe de alguna manera dicho circuito.

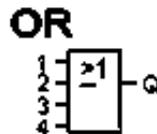
Existen flip flops asincrónicos los cuales solo tienen entradas de control y existen a su vez flip flops sincrónicos los cuales además de las entradas de control necesitan una entrada reloj o de sincronismo.

Compuertas lógicas y flip flops:

A continuación se explica el comportamiento de cada compuerta lógicas, las mismas fueron utilizadas para poder diseñar la lógica de la apiladora semiautomática

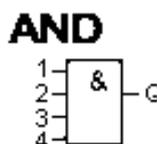
Compuerta OR:

En el álgebra de Boole esta es una suma. Esta compuerta permite que con cualquiera de sus entradas que esté en estado binario 1, su salida pasará a un estado 1 también. No es necesario que todas sus entradas estén accionadas para conseguir un estado 1 a la salida, pero tampoco causa algún inconveniente. Para lograr un estado 0 a la salida, todas sus entradas deben estar en el mismo valor de 0. Se puede interpretar como dos interruptores en paralelo, que sin importar cual se accione, será posible el paso de la corriente.



Compuerta AND:

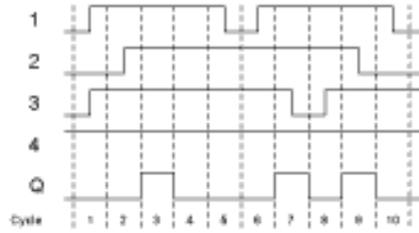
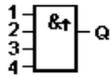
Esta compuerta es representada por una multiplicación en el álgebra de Boole. Indica que es necesario que en todas sus entradas se tenga un estado binario 1 para que la salida otorgue un 1 binario. En caso contrario de que falte alguna de sus entradas con este estado o no tenga siquiera una accionada, la salida no podrá cambiar de estado y permanecerá en 0. Esta puede ser simbolizada por dos o más interruptores en serie de los cuales todos deben estar activos para que esta permita el flujo de la corriente.



Compuerta AND con flanco activo (↑):

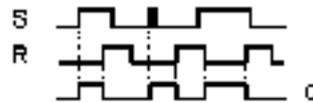
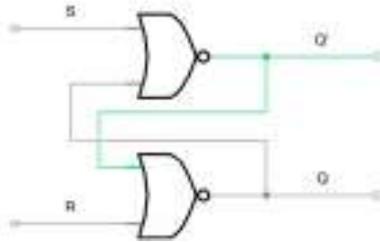
La salida de la función AND con flanco activo es únicamente 1 si todas las entradas son 1 y al menos una de ellas adquirió el valor 0 durante el último ciclo.

### AND with edge evaluation



Flip flop RS:

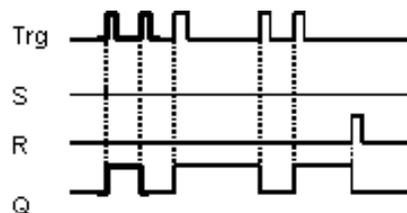
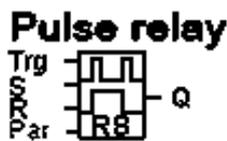
El flip flop RS tiene dos entradas, la entrada de set (S) y reset (R). El pulso en S pone la salida en 1, mientras que un pulso en R pone la salida en 0, sin importar el estado del Set. La tabla de verdad que muestra el comportamiento de este tipo de flip flop se muestra a continuación y se puede representar con dos bloques NOR.



S	R	Q	Remark
0	0	x	Status unchange
0	1	0	Reset
1	0	1	Set
1	1	0	Reset

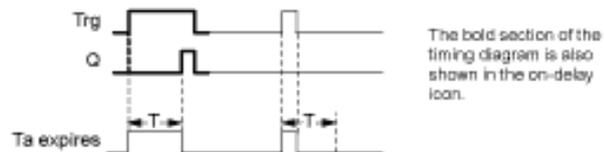
Función Pulse Relay

El estatus de la salida Q cambia por cada cambio de 0 a 1 en la entrada Trg mientras que S y R sean 0, el Reset en 1 pone a 0 la salida y el Set en 1 la salida. Dependiendo de la configuración del flip-flop tendrá prioridad el Set o Reset, RS (prioridad en el Reset) o SR (prioridad en el Set), es decir, mientras uno tenga prioridad no importa el estado del otro ya que no causará ningún efecto.



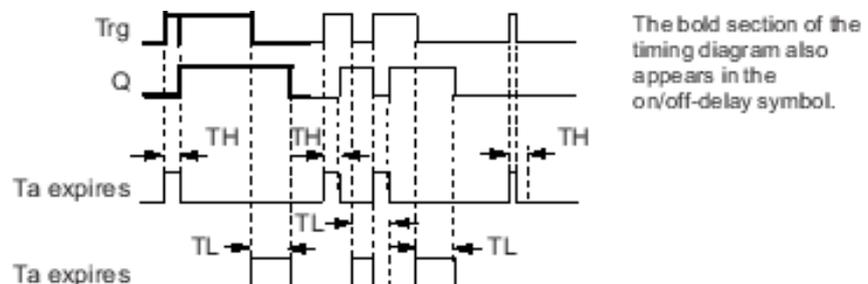
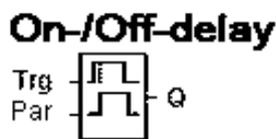
## Función On-Delay

Esta función se comporta de la siguiente manera: la transición de 0 a 1 de Trg activa el tiempo  $T_a$  (T). Si Trg permanece en 1 al menos por el tiempo T, la salida permanece en 1 cuando este tiempo T expira durante el tiempo que Trg se encuentre en 1, cuando Trg se pone en 0, la salida Q se pone en 0.



## Función On-/Off- delay:

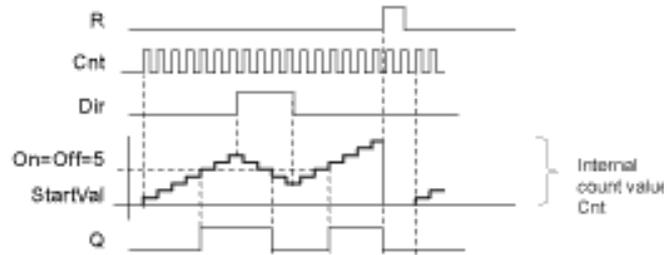
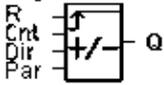
Esta función se comporta de la siguiente manera: Una transición de 0 a 1 en la entrada Trg (disparo) establece el tiempo de delay  $T_H$ , si el estado de la entrada Trg es 1 al menos por el tiempo establecido  $T_H$  se establece en 1 la salida Q. Cuando Trg se pone en 0 se dispara el tiempo  $T_L$  y la salida Q se pone a 0 cuando el tiempo  $T_L$  concluye. Este tipo de función se utiliza cuando se desea un retraso tanto al inicio como al final en el comportamiento de la salida Q.



## Contador Up/ Down counter:

Un pulso en la entrada (Cnt  $\uparrow$ ) incrementa o decrementa un valor interno, dependiendo de la dirección del conteo que puede ser cambiada mediante un pulso en la señal de entrada Dir (creciente Dir=0 o decreciente Dir=1). Alcanzado el número de conteo preseteado la salida Q toma el valor 1 hasta que se envía pulso en el reset (R). Este tipo de función se suele utilizar, por ejemplo, cuando se desea realizar el conteo de un cierto producto al atravesar un sensor de barrera.

## Up/Down counter



Diseño del control y selección del controlador

El diseño consta de 3 etapas:

1. Determinación de entradas y salidas del sistema, y tipo de señales.
2. Selección del controlador PLC de acuerdo a las entradas y salidas del sistema.
3. Programación de la lógica considerando estas entradas y salidas. La programación será en el lenguaje BDF (diagrama de bloques).

### 4.2. Acciones a realizar. Entradas y salidas del sistema

Las acciones a realizar de la máquina apiladora mediante el controlador son:

- Conteo de paquetes que son expulsados por la cinta.
- Una vez alcanzado el número de paquetes del contador, se envía una señal a la electroválvula que acciona el mecanismo para direccionar los paquetes a la caja que se encuentra vacía.
- Control de velocidad de los motores (motor cinta y motor mesa) mediante variadores de frecuencia. Control PWM (Pulse Width Modulation).
- Parada de marcha si alguna de las salidas no realiza un feedback luego de un tiempo de respuesta seteado. Esto con el fin de evitar que el equipo continúe funcionando mientras exista alguna falla.
- Verificación de la presencia de cajas sobre la mesa mediante un sensor reflex.
- Verificación de extracción de la caja llena y colocación de la caja vacía, con el fin de prevenir un posible destiempo en el operario, y que no se siga llenando la caja ya completa.

Luego de definir las acciones y tener en claro cada componente que integra el equipo, se definen las entradas y salidas del sistema. El tipo de accionamiento queda definido si las mismas son analógicas o digitales.

Tabla 5

*Entradas y salidas del sistema.*

<b>Dirección</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de entrada/salida</b>
<b>Entradas</b>		
I1	Habilitación del equipo	DI - 24V
I2	Sensor cinta /contador de paquetes	DI - 24V
I3	Variadores en marcha	DI - 24V
I4	Reset	DI - 24V
I5	Feedback EV ON	DI - 24V
I6	Feedback EV OFF	DI - 24V
I7	Sensor caja lado OFF	DI - 24V
I8	Sensor caja lado ON	DI - 24V
<b>Salidas</b>		
Q1	Marcha variadores	DO - relay
Q3	Electroválvula clapeta	DO - relay
Q4	Enclavamiento hacia envasadora	DO - relay

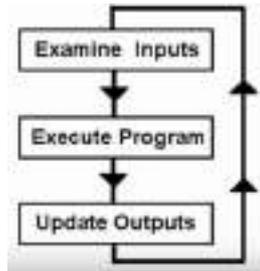
Como se muestra en la *Tabla 5*, tanto las entradas como las salidas son digitales. Para el accionar del equipo existen 8 entradas y 3 salidas.

#### 4.3. Selección del controlador

Un PLC es una unidad de control eléctrico con terminales de entrada y salida que acepta señales binarias o analógicas. Puede reemplazar un gabinete entero de relés, temporizadores, enclavamientos, memorias, en un sistema de control de proceso.

El programa de software de control PLC repite continuamente un ciclo de escaneo que consta de 3 pasos:

- Almacena en la memoria interna el estado de todos los terminales de entrada
- Ejecuta las instrucciones en el programa almacenado
- El PLC actualiza simultáneamente todas las salidas en función del estado de todas las entradas encontradas en el primer paso



La selección del controlador PLC se determina de acuerdo principalmente a la cantidad de entradas y salidas del sistema, tipo de señales (analógicas o digitales), tensión de alimentación y costo, también de acuerdo a la memoria necesaria, velocidad de procesamiento y despliegue de información.

Se deben considerar qué equipos periféricos van a conectarse (en este caso hay 2 variadores de frecuencia conectados) y si existe la posibilidad de que en futuras ampliaciones del proyecto se requiera una cantidad mayor de entradas y salidas disponibles en el PLC. Por lo tanto, hay que analizar si se requiere o no un PLC con posibilidad de adicionar módulos. Como se mencionó en la tabla, el sistema tiene 8 entradas digitales y 3 salidas a relé.

Los PLC disponibles de Siemens que presentan un visor son los siguientes:

	<p><u>Siemens LOGO! 12/24 RCE - 6ED1052-1MD08-0BA0</u>          LOGO! 12/24RCE, módulo lógico con pantalla, alimentación: 12/24V DC/Relé, 8ED (Entradas digitales) de las cuales 4 pueden funcionar como EA (Entradas analógicas), 4 SD (Salidas digitales), memoria: 400 bloques, expansión por módulos, Ethernet, servidor WEB, páginas web configurables por el usuario, registro de datos, tarjeta Micros SD estándar, programable con LOGO! Soft Comfort desde V8, ejecuta proyectos antiguos.</p> <p style="text-align: center;"><b>116 u\$d</b></p>
	<p><u>Siemens LOGO! 230 RCE - 6ED1052-1FB08-0BA0</u>          LOGO! 230RCE, módulo lógico con pantalla, alimentación: 115/230V AC/Relé, 8ED (Entradas digitales), 4SD (Salidas digitales), memoria: 400 bloques, expansión por módulos, Ethernet, servidor WEB, páginas web configurables por el usuario, registro de datos, tarjeta Micros SD estándar, programable con LOGO! SOFT COMFORT desde V8, ejecutar proyectos antiguos.</p> <p><b>116 u\$d</b></p>

	<p><u>Siemens LOGO! 24 CE - 6ED1052-1CC08-0BA0</u>          LOGO! 24CE, módulo lógico con pantalla, alimentación: 24V DC/Transistor, 8ED (Entradas digitales) de las cuales 4 pueden funcionar como EA (Entradas analógicas), 4 SD (Salidas digitales), memoria: 400 bloques, expansión por módulos, Ethernet, servidor WEB, páginas web configurables por el usuario, registro de datos, tarjeta Micros SD estándar, programable con LOGO! SOFT COMFORT desde V8, ejecuta proyectos antiguos.  <b>100 u\$d</b></p>
	<p><u>Siemens LOGO! 24 RCE - 6ED1052-1HB08-0BA0</u>          LOGO! 24RCE, módulo lógico con pantalla, alimentación: 24V AC/DC/Relé, 8ED (Entradas digitales), 4SD (Salidas digitales), memoria: 400 bloques, expansión por módulos, Ethernet, servidor WEB, páginas web configurables por el usuario, registro de datos, tarjeta Micros SD estándar, programable con LOGO! SOFT COMFORT desde V8, ejecuta proyectos antiguos  <b>116 u\$d</b></p>
	<p><u>Set de artículos LOGO! 12/24 RCE - 6ED1052-1MD08-0BA0 + LOGO! POWER 24V 2,5A - 6EP3332-6SB00-0AY0</u>          LOGO! 12/24 RCE - 6ED1052-1MD08-0BA0, Fuente de alimentación: 12/24V DC/Relé, 8ED (Entradas digitales) de las cuales 4 pueden funcionar como EA (Entradas analógicas), 4 SD (Salidas digitales), Ethernet, LOGO! POWER 24V 2,5A - 6EP3332-6SB00-0AY0, Entrada: 100...240 V AC, 1 fase, Salida: 24 V DC/2,5 A  <b>164 u\$d</b></p>
	<p><u>Set de artículos LOGO! 12/24 RCE - 6ED1052-1MD08-0BA0 + LOGO! POWER 24V 1,3A - 6EP3331-6SB00-0AY0</u>          LOGO! 12/24 RCE - 6ED1052-1MD08-0BA0, Fuente de alimentación: 12/24 V DC/Relé, 8ED (Entradas digitales) de las cuales 4 pueden funcionar como EA (Entradas analógicas), 4 SD (Salidas digitales), Ethernet, LOGO! POWER 24 V/1,3 A - 6EP3331-6SB00-0AY0, entrada: 100...240 V AC, 1 fase, Salida: 24 V DC/1,3 A  <b>152 u\$d</b></p>

Para el caso, se seleccionó el modelo Siemens LOGO! 12/24 RCE - 6ED1052-1MD08-0BA0 el cual tiene un costo de 116 dólares, tensión de alimentación 24 V DC, 8 entradas digitales disponibles y 4 salidas digitales disponibles.

#### 4.4. Programación de la lógica

Existen básicamente dos lenguajes de programación para la lógica, por un lado, se encuentra el lenguaje ladder o escalera, que es una representación eléctrica de contactos eléctricos

(contactos normalmente abiertos o normalmente cerrados) y por otro lado se encuentra el lenguaje de bloques FBD (Function Block Diagram), que es el elegido para desarrollar la lógica de programación en el presente proyecto.

Para realizar el circuito de control se utilizó el programa Logo Soft Comfort V8. El mismo es un programa desarrollado por la empresa Siemens para el control de los PLCs que la empresa provee. Este software permite ejecutar proyectos de automatización con una configuración simple e intuitiva.

Dispone de 8 funciones básicas, funciones especiales como 14 funciones de temporizador, 3 funciones de contador, 13 funciones analógicas, 8 misceláneas y 1 registro de datos.

El software dispone de una opción de retroiluminación de pantalla del PLC y aparición de mensajes en forma de texto. Esta aparición de colores y textos puede ser configurada por el usuario de acuerdo a una lógica y las variables que él mismo elija.

Con el fin de establecer un orden y que el programa sea más sencillo de visualizar se lo dividió en cinco partes.

Por un lado, se mostró la lógica de la activación de las salidas Q1 (marcha variadores) y Q4 (enclavamiento envasadora ISHIDA), esta activación depende del estado de las fallas M1 (falla variadores), M3 (falla electroválvula) y M4 (falla sensores caja). Una segunda parte en donde se muestran las condiciones para que ocurra la falla M1. Una tercera parte en donde se muestran las condiciones para que ocurra la falla M3 y cómo se energiza la clapeta. Contemplando la cuarta parte, se explica la ocurrencia de la falla M4.

Por último, se muestra qué color adopta la pantalla del PLC de acuerdo a las fallas y al estado de habilitación (I1) de la máquina, con la aparición de un comentario que describe la falla. El propósito de esto es netamente visual. De esta manera, el operario que esté controlando el proceso en ese momento, puede entender el motivo de la detención de la máquina y dar aviso al equipo de mantenimiento en caso de ser necesario.

Es importante aclarar que para la programación de la lógica se trabajó en conjunto con el ingeniero electrónico y líder de automatización de la planta alimenticia, el cual brindó una ayuda indispensable para poder determinar correctamente la lógica de funcionamiento de este equipo.

#### 4.4.1. Parte 1. Funcionamiento apiladora:

Si la máquina está habilitada (entrada I1 de habilitación) y además no se encuentran en falla los variadores (M1), la electroválvula de accionamiento (M3) y los sensores de detección de

caja (M4), entonces se energizan las bobinas que ponen en marcha los variadores (Q1) y el enclavamiento de la envasadora (Q4). Q4 es una salida a relé (contactor) normalmente abierta (NA), es decir, que cuando se actúa sobre el contacto se cierra y hay conducción de corriente, si por algún motivo, se produce alguna de las fallas mencionadas anteriormente, la envasadora deja de funcionar instantáneamente ya que se detiene el suministro eléctrico al abrirse el contacto.

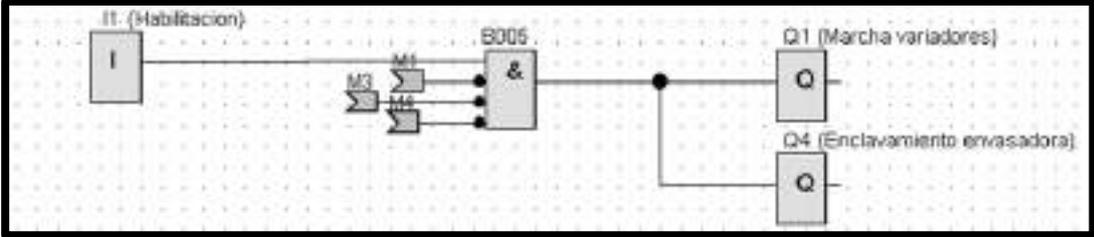


Diagrama Logo 1. Funcionamiento general.

El diagrama temporal que muestra el comportamiento de las variables involucradas y cómo se activan las salidas es muy sencillo y se muestra a continuación:

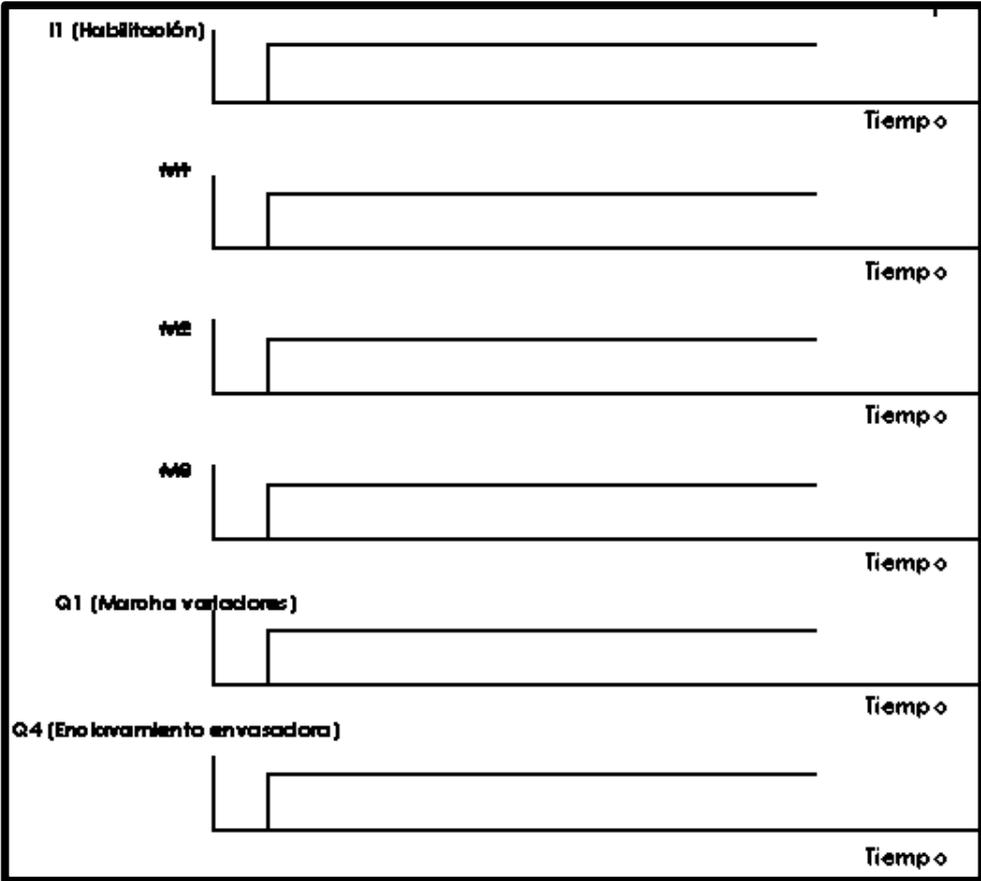


Diagrama temporal 1. Funcionamiento general.



El diagrama temporal el siguiente para que ocurra la falla es el siguiente:

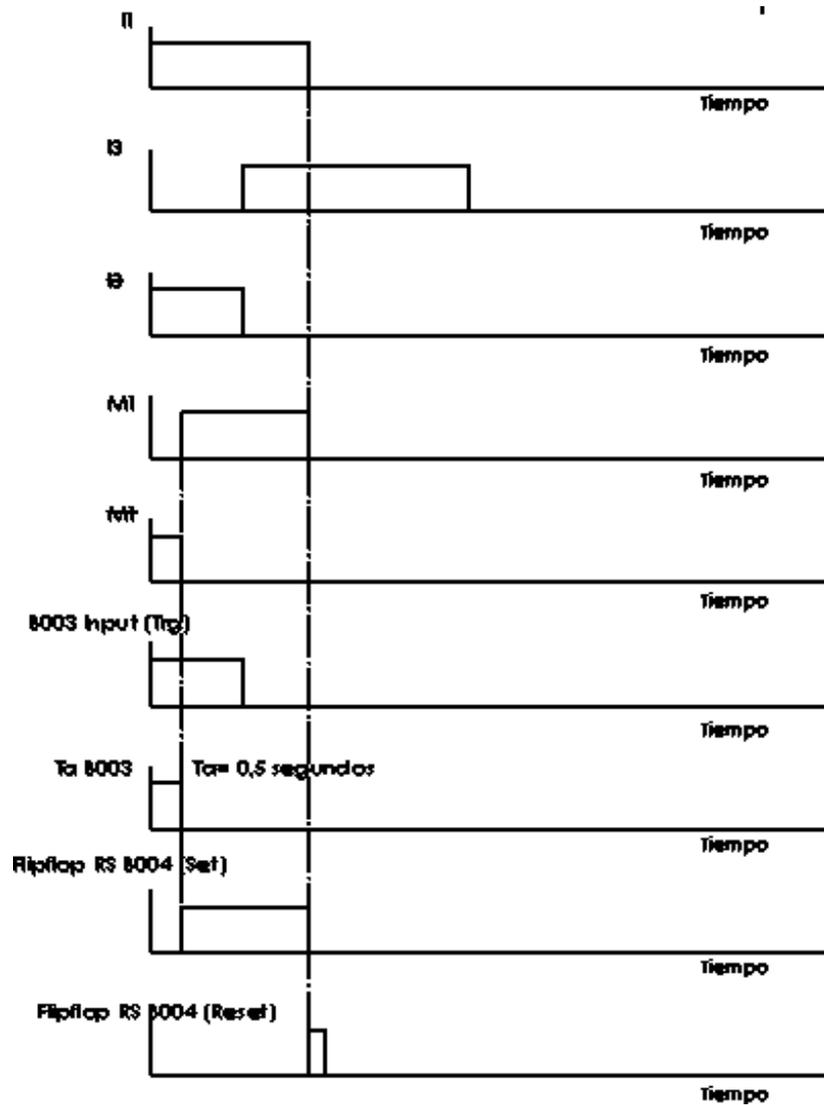


Diagrama temporal 2. Falla en variadores.

4.4.3. Parte 3: Accionamiento de la clapeta y generación de la marca 3 (M3). Falla en la electroválvula:

La lógica es la siguiente: Si la máquina está habilitada, el sensor de paquetes (I2) entregó un 0 en el ciclo anterior (es decir que no detectó paquetes en el ciclo anterior y sí en el actual, 1 lógico) y además no se encuentran en falla los variadores de frecuencia, siendo Dir=0, entonces el contador eleva su valor interno en 1 hasta llegar a la cantidad de paquetes seteada por el usuario (este valor depende de la cantidad de paquetes seteadas por el usuario desde el PLC), entregando 1 a la salida (Q) del Up-Down Counter. Como el contador está seteado con la configuración

módulo, es decir, el valor hasta el cual cuenta, cuando se alcanza este valor la salida se pone en 1 y se activa la entrada de reset [utilizando la marca M2, la cual se activa cuando el contador terminó de contar (auto reseteo)].

Una vez llegada a la cantidad de paquetes el flip flop Pulse Relay (B009) invierte la salida del contador, realizando esta acción cada vez que se llega a la cantidad máxima. Esto es así ya que para que la EV envíe aire a un conducto del actuador debe estar energizada y para enviar aire al otro conducto del actuador la válvula debe estar desenergizada. Luego de un tiempo de delay seteado (TH=0,5 segundos) en el bloque On-Off Delay (B011) se envía la señal a la bobina que energiza la EV, Q3, logrando, físicamente el giro de la misma.

Este pequeño tiempo de retraso al accionamiento permite que la clapeta no gire instantáneamente cuando se detecta el último paquete ya que al mismo le toma un cierto tiempo recorrer desde donde se encuentra el sensor de lectura hasta llegar a la clapeta, es decir, es un retraso en el accionamiento para el conteo anterior. Además, existe un tiempo configurado en el bloque B011 llamado TL de 0,5 segundos, el cual activa la clapeta 0,5 segundos más tarde con el fin de esperar al último paquete del ciclo de conteo actual.

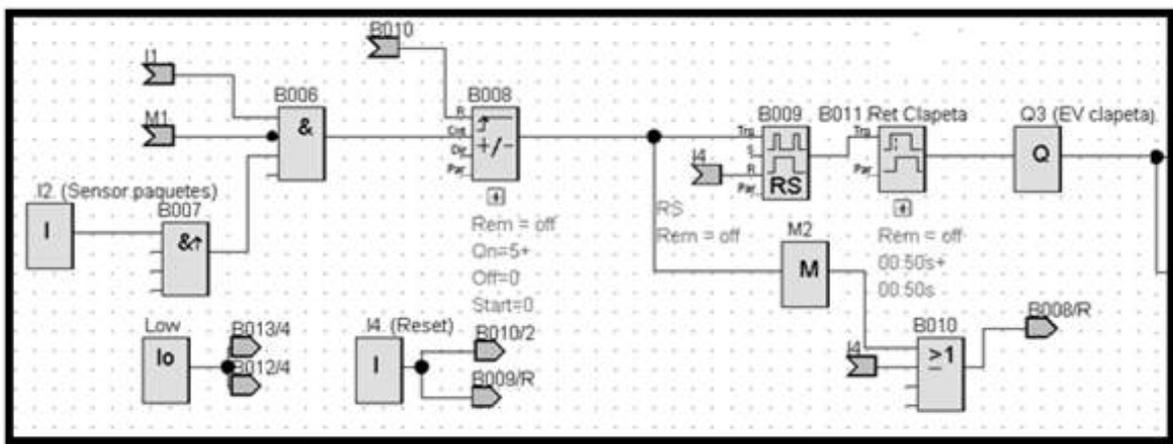


Diagrama Logo 3. Accionamiento clapeta.

El diagrama temporal que muestra el comportamiento de las variables involucradas, a partir del bloque B008 inclusive, se muestra a continuación (se realizó el análisis considerando que la cantidad de paquetes seteada por el usuario es 6, a modo de ejemplo):

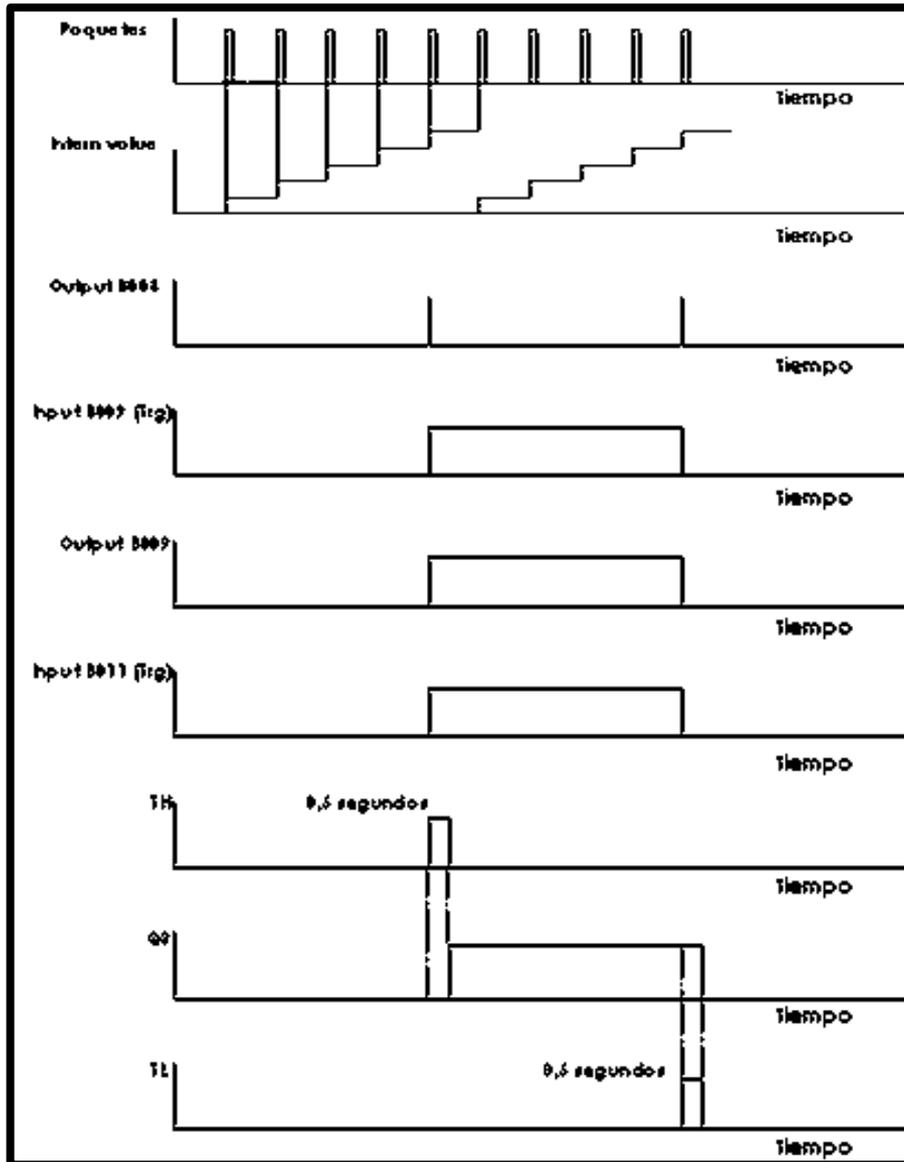


Diagrama temporal 3. Accionamiento clapeta.

A partir de la salida Q3 (EV clapeta) la falla en la EV (M3) puede ocurrir por alguno de estos dos posibles motivos:

- a) Si luego de un tiempo pre establecido de respuesta ( $t=2$  milisegundos) de la clapeta no se tiene feedback del lado ON cuando ese lado está energizado al estar habilitada la máquina I1
- b) Si luego de un tiempo pre establecido de respuesta ( $t=2$  milisegundos) de la clapeta no se tiene feedback del lado off cuando ese lado no está energizado al estar habilitada la máquina I1

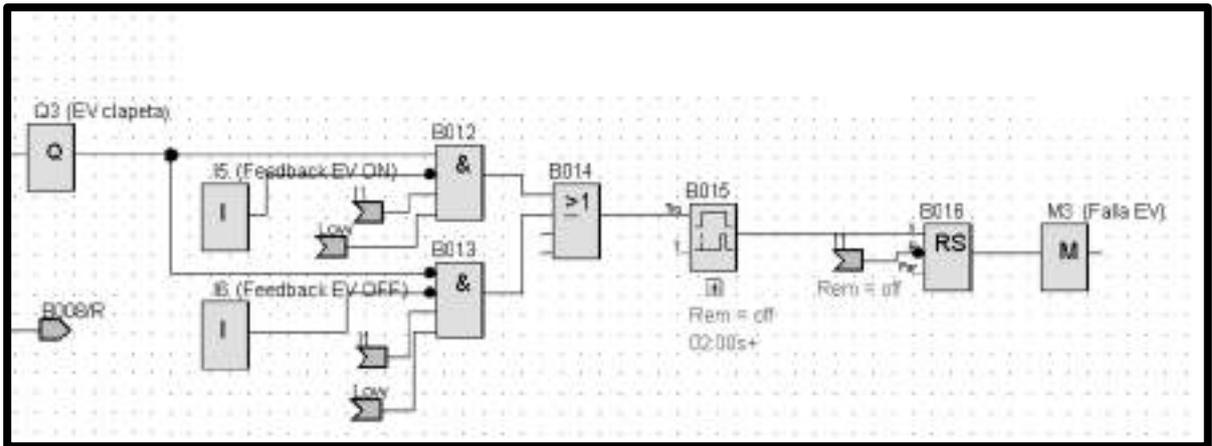


Diagrama Logo 4. Falla en la electroválvula.

El diagrama temporal tomando considerando el caso de una falla en el feedback EV lado ON sería el siguiente, se ejemplificó tomando como tiempo de feedback 5 segundos > 2 segundos:

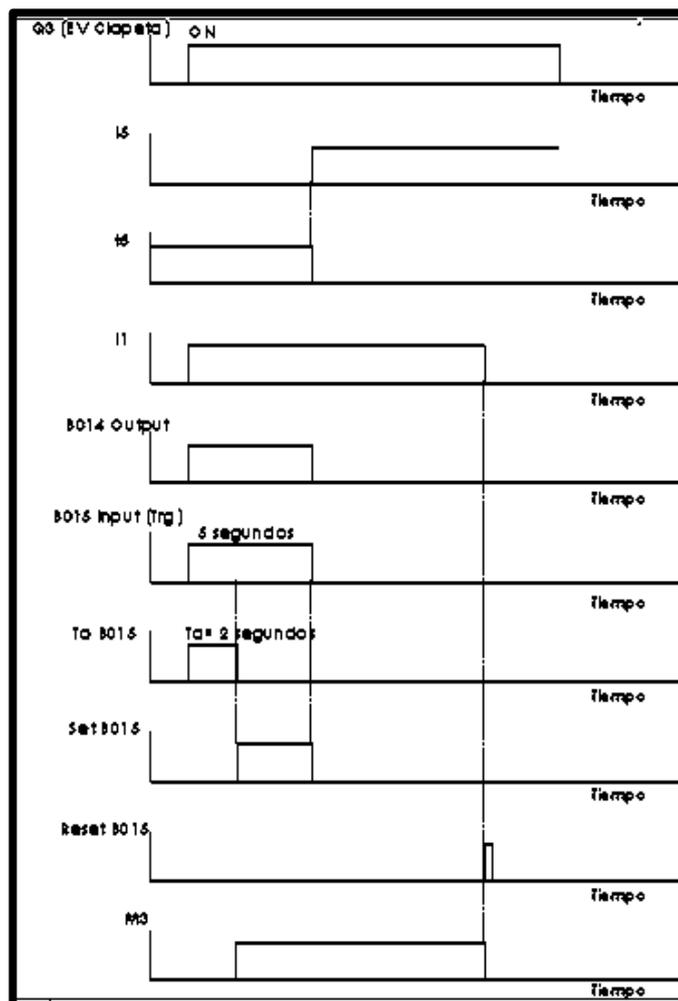


Diagrama temporal 4. Falla en la electroválvula.

4.4.4 Parte 4: Generación de la marca 4 (M4). Falla en sensores de presencia y verificación de colocación y extracción de cajas por parte del operario

- Si durante un tiempo pre establecido (3 milisegundos) o más el sensor del lado ON no entrega señal, estando energizada la EV o si el sensor lado OFF no entrega señal estando desenergizada la EV entonces se establece una condición de falla, esto significa que alguno de los dos sensores falló ya que no brindó el tiempo de respuesta esperado.

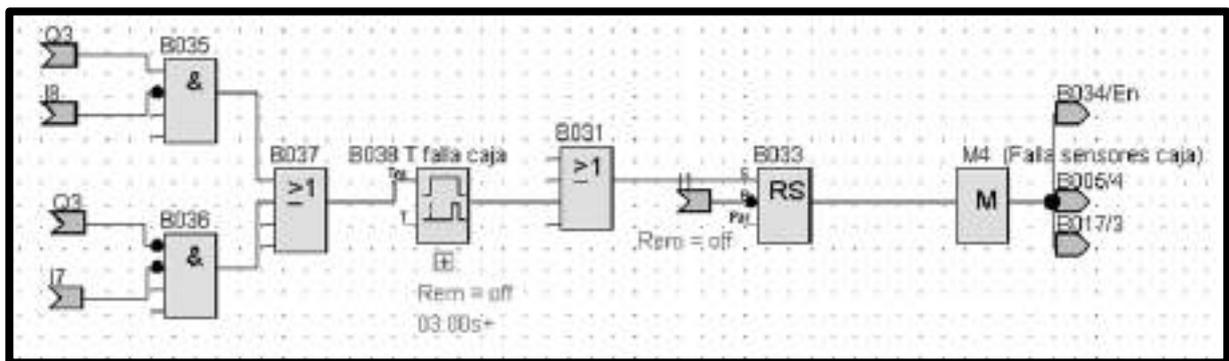


Diagrama Logo 5. Falla debido en los sensores.

El diagrama temporal para el caso del sensor que se encuentra del lado ON es el siguiente (la lógica es análoga a la del lado OFF):

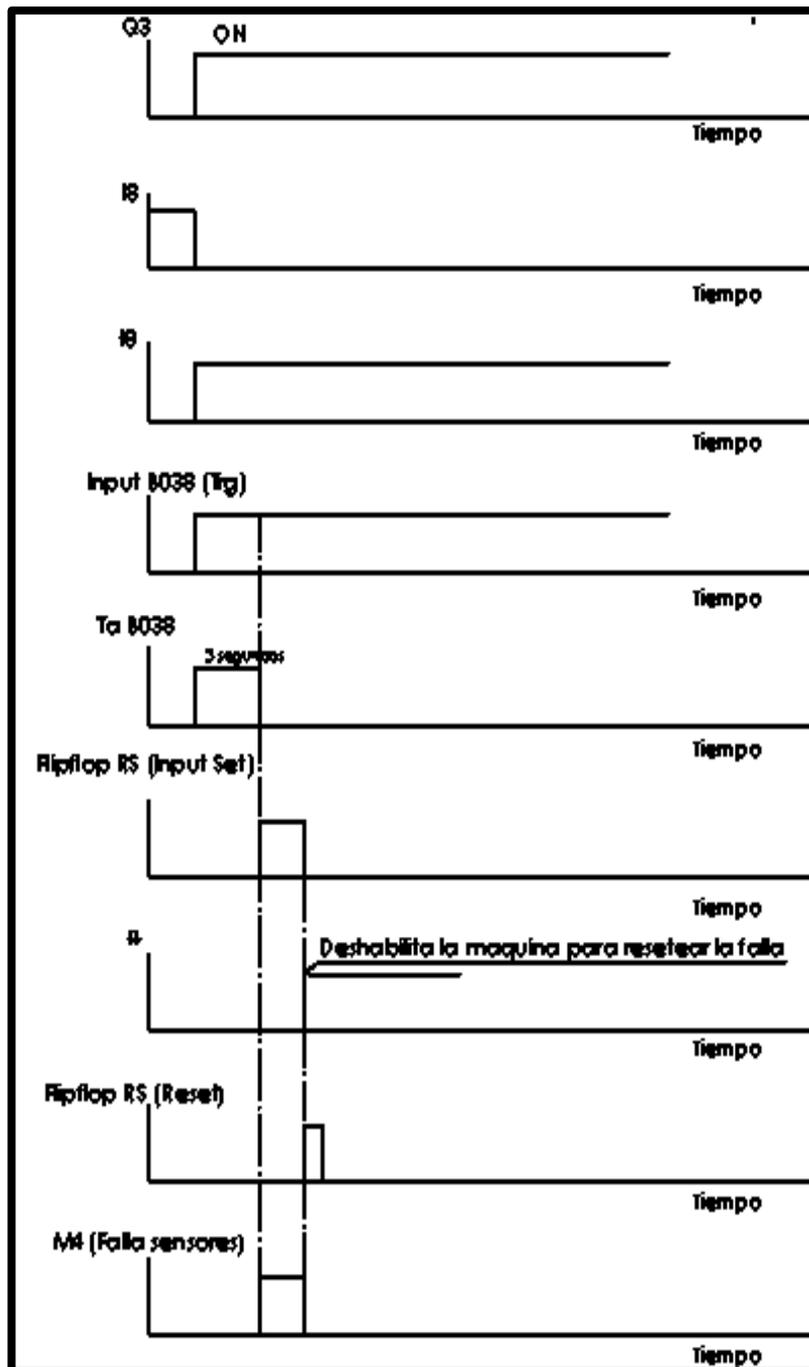


Diagrama temporal 5. Falla en los sensores.

- Chequeo de que se quitó la caja llena y se colocó una vacía en ambos lados de la plataforma oscilante. La lógica para la verificación de ambos lados sería la misma.

Para el caso del chequeo de esta condición en el lado ON, lado de la clapeta donde la válvula 5/2 se energiza y permite accionar la clapeta hacia ese lado, la lógica sería la siguiente:

Cuando la clapeta se encuentra en el lado OFF y en el ciclo anterior estaba en el lado ON (Q3 negado, válvula 5/2 desenergizada) se setea una marca (1 lógico) en el flip flop RS (B024).

Dicho flip flop se resetea cuando la salida de la función lógica AND con flanco activo (B026) es 1 y esto ocurre cuando la entrada es 1 y al menos una de ellas estuvo en 0 durante el último ciclo, en otras palabras significa que el sensor I8 detectó caja en el ciclo anterior y en el ciclo actual no detectó caja (se colocó y se quitó la caja) entonces no se genera la falla. En caso de que no se haya quitado la caja el sensor I8 entregaría siempre un 1, negado sería siempre 0 y el reset del flip flop estaría en cero.

Cuando la clapeta girar al lado ON (Q3 energizado) seguiría estando la salida del flip flop en 1, dejando en evidencia que no se quitó la caja llena y se colocó la vacía y entraría en falla M4.

Una vez establecida la falla M4 la máquina frena automáticamente. Para resetear esta condición basta con deshabilitar y habilitar la entrada I1 manualmente (Reseteo del flipflop RS B033).

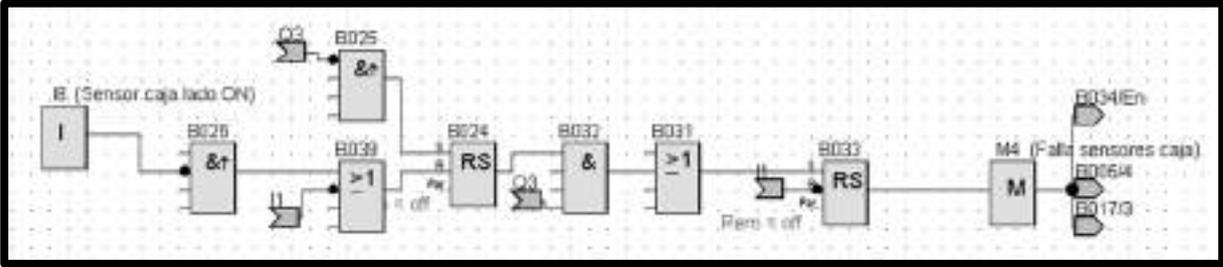


Diagrama Logo 6. Chequeo de extracción de caja llena y colocación de caja vacía.

Diagrama completo con las 3 posibles causas de la falla M4:

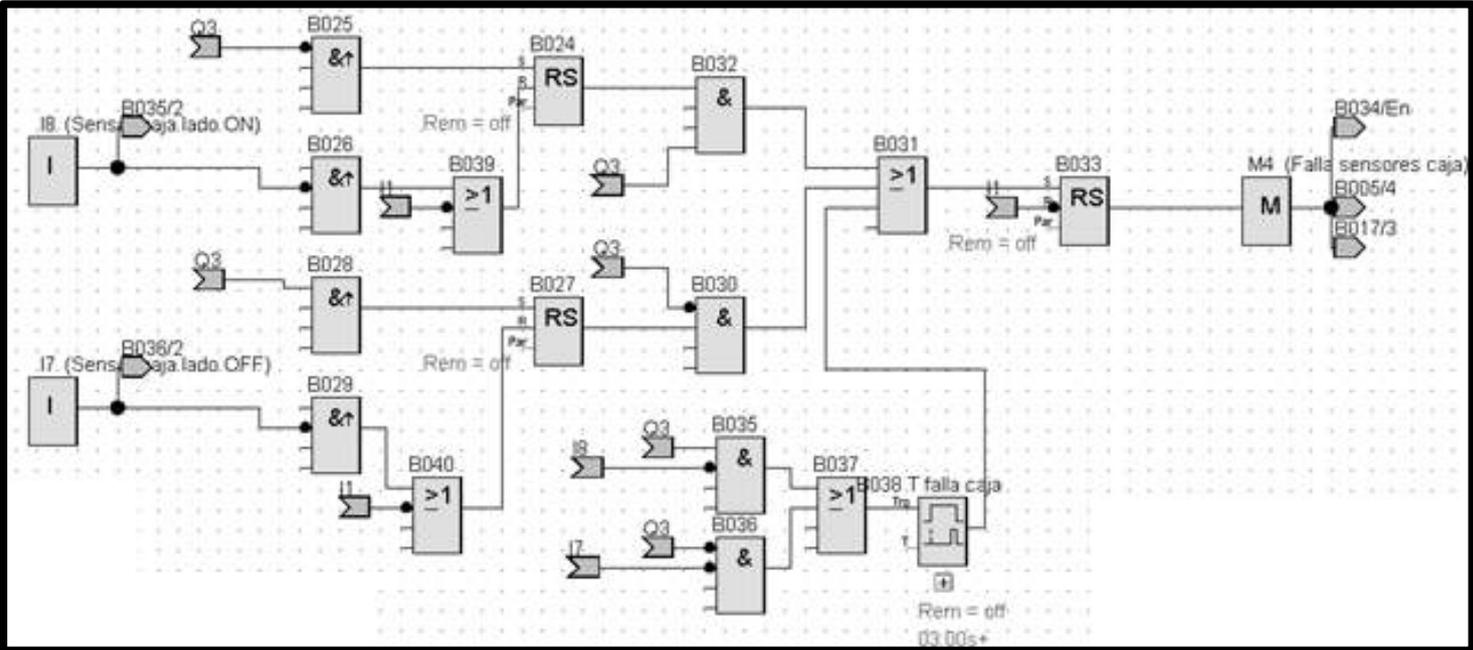


Diagrama Logo 7. Posibles fallas para generación de la marca M4 (sensores cajas).

4.4.5. Parte 5: Muestra visual de las fallas y estado de habilitación de la máquina. Retroiluminación y “message text” por falla.

- Si ocurre de las tres fallas M1, M3 o M4 y la máquina está habilitada entonces la pantalla se retro ilumina en rojo

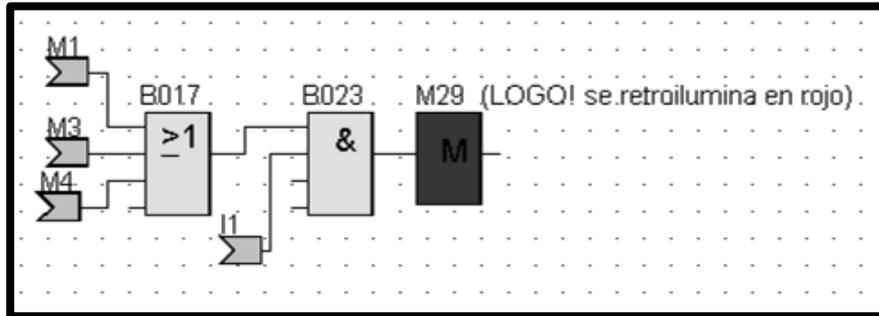
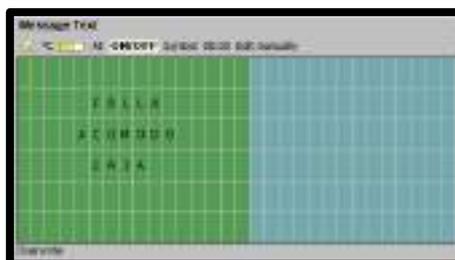
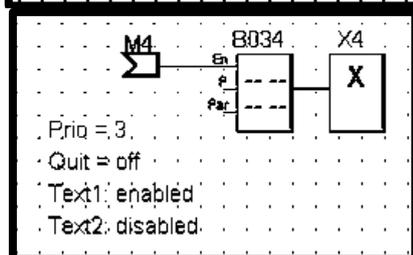
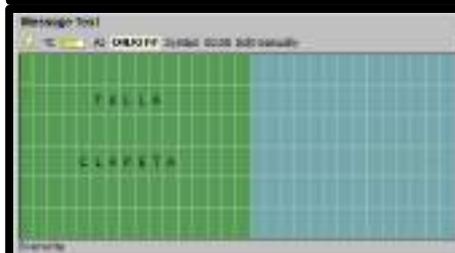
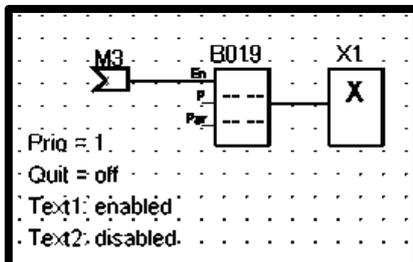
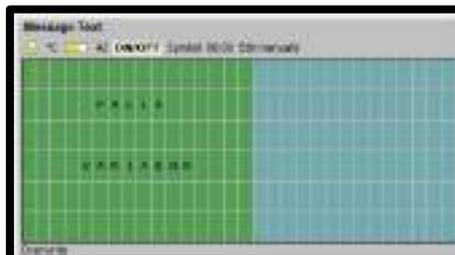
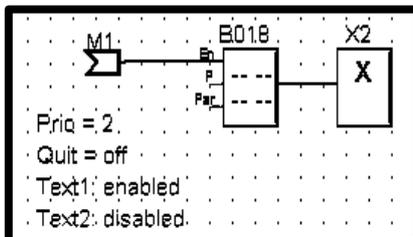


Diagrama Logo 8. Muestra en pantalla, posibles fallas.



- Si no se encuentra en falla y está habilitada la máquina entonces se retro ilumina la pantalla de blanco

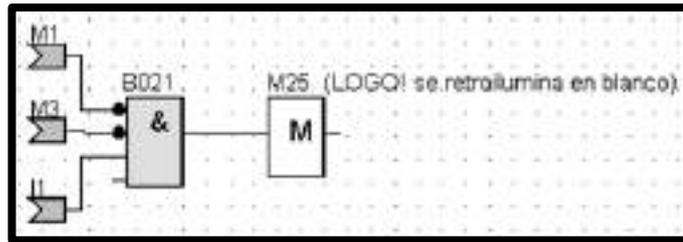


Diagrama Logo 9. Retroiluminación sin falla alguna.

- Si no se encuentra habilitada la máquina entonces se retro ilumina la pantalla en color ámbar

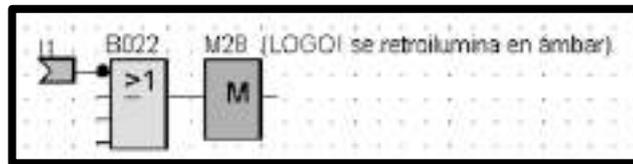


Diagrama Logo 10. Máquina en estado "No habilitado".

## 5. Costo estimado de la adaptación

En este capítulo se abordarán todos los temas involucrados en el cálculo del costo total del equipo. Se tendrán en cuenta todos los repuestos necesarios, así como también materiales para lo que es el “chasis” del equipo y materiales utilizados en las piezas que conforman los mecanismos. Por último, se calculará un valor estimado en relación a la mano de obra para el mecanizado de las piezas que lo requieren, en donde será necesario calcular un tiempo aproximado de operación en cada una de las etapas de fabricación y tiempos de preparación de cada pieza. Para todas aquellas piezas que no involucran el mecanismo y no se detalló la fabricación se pidió presupuesto de manera genérica para soldadura, plegado de chapa y demás a una empresa local que realiza este tipo de trabajos.

### 5.1. Repuestos

Para esta sección se dividió en los repuestos involucrados para la plataforma y luego para la cinta de transporte.

Todos los repuestos se consiguieron mediante proveedores locales a pesar de que son repuestos de marcas internacionales. Para aquellos repuestos en donde se encontró su valor en pesos (\$) se dolarizó según el tipo de cambio de venta estipulado por el Banco Nación, siendo el mismo T.C= \$ 105,50 para Noviembre del 2021.

	Repuestos				
	Descripcion	Marca	Cantidad	Valor unitario [usd]	Total [usd]
Plataforma	Rotulas SIK 2F	SKF	2	16	32
	Rodamiento lineal SSR 25 XV	THK	4	34	136
	Guia lineal para rodamiento SSR 25 XV	THK	2	113,54	227,08
	Reductor VF 44F128	Bonfiglioli	1	679	679
	Motor BN 63C 4	Bonfiglioli	1	1400	1400
	Sensor difuso	Festo	2	29,98	59,96
Cinta de transporte	Actuador rotativo DSM-32-270-CC-FW-A-B	Festo	1	438,99	438,99
	Electroválvula 5/2 MH2 24V DC	Festo	1	97,58	97,58
	Sensor de barrera (Reflex) 10m PNP	Sick	1	94,78	94,78
	Variador de frecuencia PowerFlex 525	Allen Bradley	2	343	686
	PLC 12/24 RCE - 6ED1052-1MD08-0BA0	Siemens	1	116	116
				<b>TOTAL</b>	<b>3967,39</b>

El total en repuestos fue de **3967,39 USD**.

## 5.2. Materiales piezas y estructura

	N° Pieza	Descripción	Proveedor	Medida necesaria	Sobrante	Cantidad	Valor X unidad	Total	
Plataforma	1	Chapa aluminio Lisa 10mmx1070mmx2000mm	Mercadolibre	1030mmx730mm	970mmx1070mm	1	76970	76970	
	2	Chapa Aluminio Lisa 5mm X 1000mm X 2000mm	Mercadolibre	1300mmx620mm	700mmx380mm	1	30.472,68	30472,68	
	3	Caño rectangular acero inox (AISI 304) 30mmx30mmx1,6mm	Mercadolibre	4330 mm	670mm	5	2500	12500	
	4	Chapa Aluminio Lisa 5mm X 1000mm X 2000mm	Mercadolibre	480mmx980mm	520mmx1020mm	1	30.472,68	30472,68	
	4	Caño rectangular acero inox (AISI 304) 40mmx40mmx1,6mm	Mercadolibre	480mm	520mm	1	2750	2750	
	4	Caño Cuadrado Acero Inoxidable 20mm X 20mm X 1,2 mmx 1 metro	Mercadolibre	1960mm	40mm	2	2.200,00	4400	
	6	Caño Cuadrado Acero Inoxidable 20mm X 20mm X 2 mm x 1 metro	Mercadolibre	240mm	760 mm	1	2.200,00	2200	
	10	Aisi 304, Redondo De 25mm X 1000mm, Acero Inoxidable	Mercadolibre	370mm	630 mm	1	6.240,00	6240	
	11	Macizo acero inox 40mmx40mmx1000mm	Mercadolibre	190mm	810 mm	1	7.650,00	7650	
	12	Aisi 304, Redondo De 40mm X 1000mm, Acero Inoxidable	Mercadolibre	120 mm	880 mm	1	14.409,00	14409	
	13	Cuadrado 1020 Para Chavetas 6mm X 500mm Quilmes	Mercadolibre	50 mm	950 mm	1	500,00	500	
	16	Macizo acero inox 40mmx40mmx1000mm	Mercadolibre	80 mm	Uso sobrante pieza 11	0	0,00	0	
	Cinta de transporte	1	Chapa Acero Inoxidable Espejo 2mm   Hoja 1.000 X 1.000	Mercadolibre	450mmx270mm	550mmx730mm	1	10.000,00	10000
		2	BARRA INOXIDABLE AISI-304 CUADRADA 30x30x1000	randrade	270 mm	730 mm	1	9.000,00	9000
		3	Aisi 304, Redondo De 40mm X 1000mm, Acero Inoxidable	Mercadolibre	45 mm	Uso sobrante pieza 12 plataforma	0	0,00	0
		5,6,7	*solo se modifica el lateral, no hay costos de material	-	-	-	0	0,00	0
8		*material de la apiladora original no modificado	-	-	-	0	0,00	0	
9,10,11,12,13		*material de la apiladora original no modificado	-	-	-	0	0,00	0	
14		Caño rectangular acero inox (AISI 304) 30mmx30mmx1,6mm	Mercadolibre	6871 mm	129 mm	7	2500	17500	
							<b>TOTAL [USD]</b>	<b>2133,31</b>	

El total para lo que involucra materiales para estructura y piezas que componen los mecanismos fue de **2133,31 USD**.

## 5.3. Mecanizado de piezas

Para esta sección se consideró el valor de la hora hombre en el proceso de fresado como en el de torneado de 30 USD/HORA, según información brindada por la catedra de tecnología de la fabricación.

Como el alcance de este proyecto no involucra la aclaración de velocidades de corte de mecanizado, ni ningún otro detalle de parámetros de corte, se debió utilizar alguna herramienta que permita calcular un costo estimado de cada proceso de fabricación a partir del tiempo de proceso. Para esto se utilizó la herramienta de cálculo Online brindada por Sandvik, ToolGuide.

Si bien esta herramienta es precisa, el cálculo del tiempo de fabricación lo realiza para piezas que se producen en serie y no de manera única como es en el presente proyecto. Por este motivo, además del tiempo del proceso se adicionó un tiempo de preparación de 20 minutos por cada proceso, considerando que si la pieza queda fija para operaciones siguientes, este tiempo se dividiría por la cantidad de operaciones subsiguientes [p.e: si se realiza un torneado (20 minutos de preparación) y la operación siguiente es otro torneado sin mover la pieza, los 20 minutos se

distribuyen en partes iguales para cada torneado, 10 minutos para cada operación + el tiempo de la operación propiamente dicho].

Aclarando el tipo de material a mecanizar, tipo de máquina para ejecutar el proceso de mecanizado y tipo de operación (pieza rotativa o no rotativa), la herramienta online brinda, además del tiempo del proceso, el tipo de herramienta que se debe utilizar para realizar la o las operaciones. Cabe aclarar, que para el cálculo del costo, se obvió el costo en herramientas de corte involucradas ya que se consideró que se tiene disponibilidad de las mismas.

A continuación, se muestra para la operación de torneado cómo la herramienta funciona, aclarando a qué pieza se quiere llegar, para luego realizar lo mismo con cada una de las operaciones. Se muestra herramientas involucradas, parámetros de corte y los datos económicos.



TCCT (s)	TNCT (s)	TMF (s)	TLFEC (Características)
TIEMPO DE CORTE TOTAL	TIEMPO SIN CORTE TOTAL	TIEMPO DE MECANIZADO	% DE CARACTERÍSTICAS
9.42	0.358	9.78	95.5
COST (%)	COST (%)	COST (%)	COST (%)
COSTE DE LA HERRAMIENTA	COSTE DE LA PLAGUITA	COSTE DE LA MÁQUINA-HERRAMIENTA	COSTE POR CARACTERÍSTICA
0.395	10.6	89.2	100

Como resultado de la aplicación del método a cada pieza del mecanismo que requiere procesos de mecanizado, se obtuvo el valor según las HH de intervención. El mismo fue de **202 USD** y se muestra a continuación:

	N° Pieza	Descripcion pieza	Proceso de fabricacion	Tiempo proceso [Seg]	Tiempo preparacion [Seg]	Total [Seg]	\$ [USD]
Plataforma	11	Biela	Oxicorte	-	-	-	50,00
			Fresado, rebaje 3 mm	24,6	1200	1224,6	10,20
			Agujereado diametro 30 mm	4,4	600	604,4	5,03
			Agujereado diametro 12 mm	2,51	600	602,51	5,02
	12	Eje	Corte con sierra	15	600	615	5,12
			Refrentado	1	400	401	3,34
			Torneado a 30 mm de diametro	10,1	400	410,1	3,42
			Torneado a 18 mm de diametro	9,54	400	409,54	3,41
			Corte con sierra	15	600	615	5,12
			Refrentado	1	1200	1201	10,00
			Ranura para chaveta	30,2	1200	1230,2	10,25
	14	Buje	Corte con sierra	15	600	615	5,12
			Torneado exterior	1,44	1200	1201,44	10,01
			Agujero 8 mm	5,59	600	605,59	5,04
			Roscado	18,2	600	618,2	5,15
	16	Unión	Corte con sierra	15	600	615	5,12
Agujero 8 mm			5,59	600	605,59	5,04	
Roscado			18,2	600	618,2	5,15	
Cinta de transporte	2	Eje rectangular	Corte con sierra	15	600	615	5,12
			agujereado x 4	18,88	600	618,88	5,16
			rosca x 4	20	600	620	5,16
	3	Acople	Corte con sierra	15	600	615	5,12
			torneado interior	5,87	600	605,87	5,05
			Corte con sierra	15	600	615	5,12
			Torneado exterior 34 mm	9,43	400	409,43	3,41
			Torneado exterior 30 mm	1,63	400	401,63	3,35
			Refrentado	1	400	401	3,34
			agujereado x 4	15,28	600	615,28	5,13
			rosca x 4	10,56	600	610,56	5,09
<b>TOTAL</b>						<b>202,61</b>	

#### 5.4. Costo de plegado, solado y corte

Aquí se considera todo lo involucrado a lo que es plegado, soldadura y corte de partes del conjunto que no se especificó la fabricación. Para este cálculo se pidió un presupuesto genérico para plegado, corte y soldadura y se lo trasladó a cada pieza de este proyecto, por lo que resulta en una estimación con cierto margen de error. Se obtuvo un valor total de **970 USD**.

	Nº pieza	Descripcion pieza	Proceso	Cantidad	Valor [USD]	Valor total [USD]
Plataforma	1	Plataforma fija	Corte de chapa	2	5	10
			Plegado	2	15	30
	2	Plataforma movil	Corte de chapa	4	5	20
			Plegado	4	15	60
	3	Soporte plataforma fija	Corte de caño	14	5	70
			Soldado de partes	12	20	240
Cinta de transporte	1	Clapeta	Corte	1	5	5
			Plegado	1	15	15
	4	Soporte actuador rotativo	Soldadura al chasis	2	20	40
	5	Lateral cinta	Corte para adaptacion	1	5	5
	6	Lateral cinta	Corte para adaptacion	1	5	5
	14	Soporte cinta	Corte de caño	22	5	110
			Soldado de partes	18	20	360
<b>Total</b>					<b>970</b>	

Por lo tanto el costo total del equipo según lo calculado en las secciones 5.1. – 5.2. – 5.3. – 5.4 es de: **7272,7 USD.**

Como dato comparativo se solicitó presupuesto por la fabricación del equipo adaptado de manera total a una empresa dedicada a este tipo de proyectos. El valor cotizado por cada equipo fue de 19.000 USD, lo que demuestra que el desarrollo del equipo y fabricación por parte del personal interno de la empresa alimenticia (tercerizando aquellos procesos que no pueden hacerse de manera interna) se logra reducir considerablemente este valor, habiendo una diferencia de dinero de 11.727 USD.

## 6. Conclusión

Se realizó una adaptación según las especificaciones requeridas de la apiladora manual para convertirla en una máquina de accionamiento semiautomática. A raíz de esta adaptación es posible aprovechar al máximo la capacidad de la envasadora automática previa, lo cual resultaba imposible cuando el accionar de la apiladora era 100% manual. Esta mejora tuvo en cuenta la comodidad del operario para el manejo de la máquina, considerando los tiempos de cada uno de los movimientos que deberá realizar. Se calcularon los esfuerzos del operario demostrando que resulta menos forzoso que para la situación actual.

Se seleccionó con criterio ingenieril cada componente que se le adaptó a la máquina manual, teniendo en cuenta la opción más viable según cada caso. Para las partes adicionadas al equipo actual, se detalló el paso a paso de la fabricación para poder obtener cada pieza. Sin embargo, no se entró en detalles específicos de la fabricación (velocidades de corte, de avance, cantidad de vueltas de los motores de los equipos, etc).

Se observó la pieza más crítica del equipo y se tuvo en cuenta un análisis mecánico para la verificación del correcto material y dimensiones. A su vez se diseñó la lógica que comanda el funcionamiento del equipo considerando cada entrada y salida del sistema como así también cada posible falla que pueda ocurrir durante el funcionamiento del mismo.

Finalmente, considerando el valor de los repuestos, materiales y mano de obra, se calculó el costo del equipo, teniendo el mismo un valor total aproximado de 7272,7 USD. Lo que ratifica que fue posible adaptar un equipo manual a semiautomático a un bajo costo frente a equipos completamente autónomos y frente al valor de la adaptación cotizada como si se fuese a fabricar completamente por fuera de la empresa alimenticia.

## 7. Trabajos futuros

Si bien el equipo mejorado resuelve ciertos inconvenientes del equipo anterior y genera una mayor productividad para una mayor comodidad del operario, este no logra resolver al 100% cierta repetitividad en los movimientos. Por esta razón, se podría realizar como trabajo a futuro un equipo que complemente al actual y pueda automatizar cierta parte o la totalidad del armado de cajas. De esta manera, el operario tendría la posibilidad de controlar el proceso desde una mirada más externa y podría utilizar su tiempo en otro tipo de tareas que se requieran.

Con respecto al equipo propiamente dicho, se podría pensar en alguna modificación relacionada con el diseño, utilizando mecanismos distintos a los planteados en el presente.

La plataforma de vaivén podría considerar adicionalmente algún sistema vibratorio para que cuando los paquetes caigan en las cajas respectivas se acomoden más rápidamente.

Cualquier mejora planteada, sin embargo, debe resultar económica manteniendo la simpleza del equipo propuesto.

## 8. Bibliografía

Diego – Mas, Jose Antonio. Evaluación del riesgo por movimientos repetitivos mediante el Check List Oca.Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/niosh/niosh-ayuda.php>.

Antonio Pulido, Belen Fajardo, Gabriel Cabrera, Maria Jose Zamorin. Mecanismos de transformación del movimiento, Aula virtual Noodle 2018. <https://aprendemostecnologia.org/maquinas-y-mecanismos/mecanismos-de-transformacion-del-movimiento/>

Tecnología Mecánica II, grupo tecnología mecánica. (2017). Corte de chapa por láser, chorro de agua y plasma (pp.4-8), curvado o doblado (pp.1-6).

Metrología dimensional. (2015). Ajustes y tolerancias. (pp. 1-39)

Catalogo Bonfiglioli (2012). Motores y motoreductores (pp. 114). [https://www.bonfiglioli.com/BR\\_CAT\\_VF-W\\_IE2-IE3\\_SPA\\_R07\\_2\\_1.pdf](https://www.bonfiglioli.com/BR_CAT_VF-W_IE2-IE3_SPA_R07_2_1.pdf)

Catalogo Bonfiglioli (2012). Motores (pp. 78). <https://www.bonfiglioli.com/Three-phase%20asynchronous%20motors%20BN-BE-BX%20Series.pdf>

JYM. Normas DIN. Dimensiones chavetas y chaveteros ().[https://www.jymsoldevilla.net/archivos/upload/170810202921\\_chavet.pdf](https://www.jymsoldevilla.net/archivos/upload/170810202921_chavet.pdf).

Roberto Sanz Benito. Análisis cinemático mecanismo biela – manivela, *asesorías en matemáticas, física e ingeniería*. 2014. <https://es.slideshare.net/RobeSanz/anlisis-cinemtico-mecanismo-biela-manivela>.

Leandro Beares. ¿Cómo funciona un variador de frecuencia? <https://www.nuevosairesarg.com.ar/como-funciona-un-variador-de-frecuencia/>

Manual de usuario Allen Bradley. Variador de CA de frecuencia ajustable PowerFlex serie 520 (pp. 153). <https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/520-um001-es-e.pdf>.

Manual de Festo. Actuadores giratorios (pp. 28 / pp. 35). [https://www.festo.com/cat/es-ar\\_ar/data/doc\\_es/PDF/ES/DSM-B\\_ES.PDF](https://www.festo.com/cat/es-ar_ar/data/doc_es/PDF/ES/DSM-B_ES.PDF).

Gasparini. Herramienta de cálculo de plegado. <https://www.gasparini.com/es/calculadora-contraccion-pliergue-longitud-inicial-chapa/>

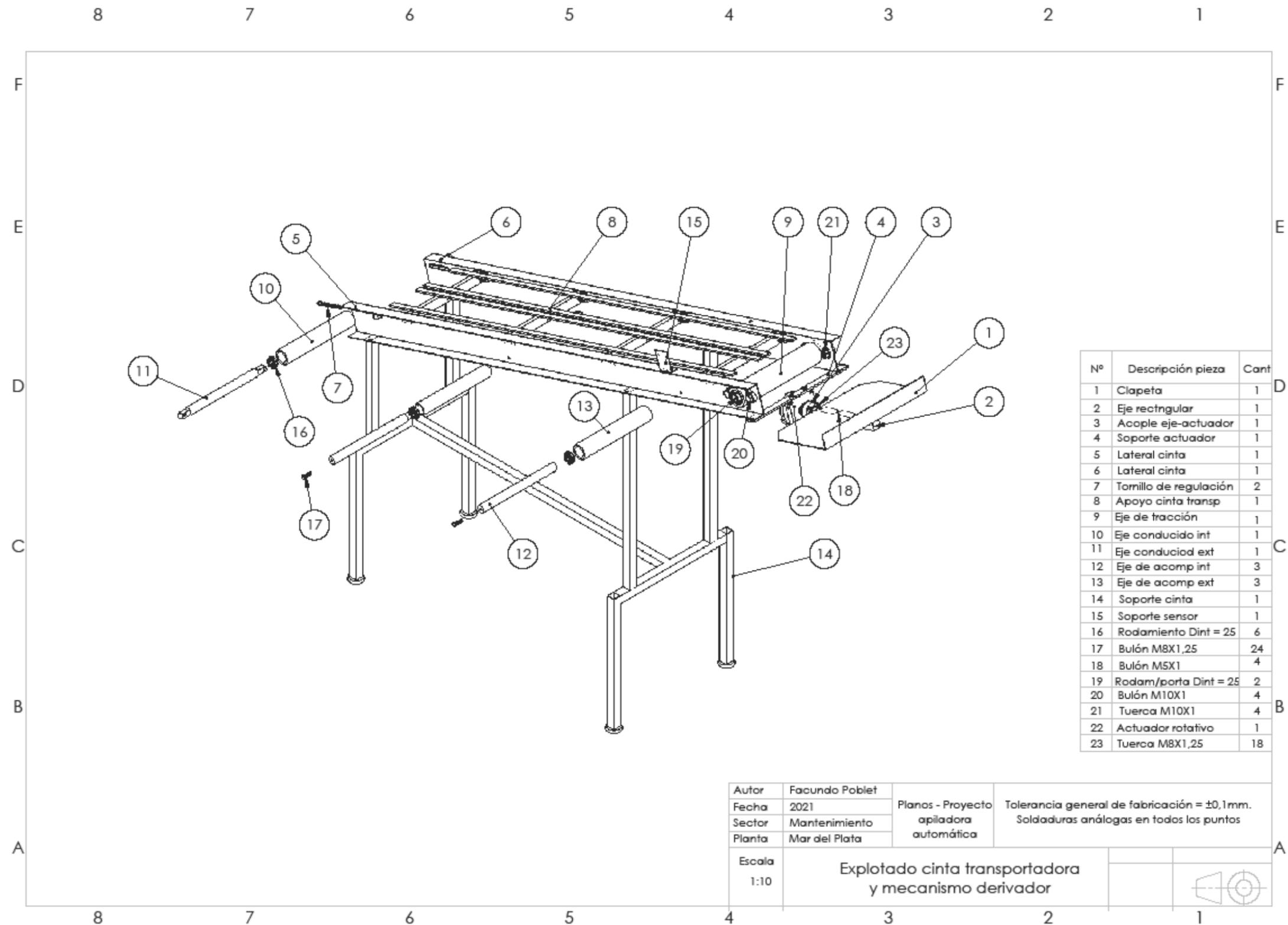
Autor desconocido (2010). Cargas dinámicas y fatiga capítulo XI (pp. 2 -5). [http://ing.unne.edu.ar/mecap/Apuntes/Estabilidad\\_2/Cap11-Dinam.pdf](http://ing.unne.edu.ar/mecap/Apuntes/Estabilidad_2/Cap11-Dinam.pdf).

ToolGuide Sanvick. Herramienta de cálculo. <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/products/pages/toolguide.aspx?nodeid=9104>.

Blanca Labrador (Julio 29. 2019). Posiciones de soldadura. <https://www.stargas.com.ve/blog/posiciones-de-soldadura/>.

Autor desconocido (7/10/2016). Simbología de la soldadura pdf. <https://cadcamiutjaa.files.wordpress.com/2016/09/simbologia-de-la-soldadura.pdf>.

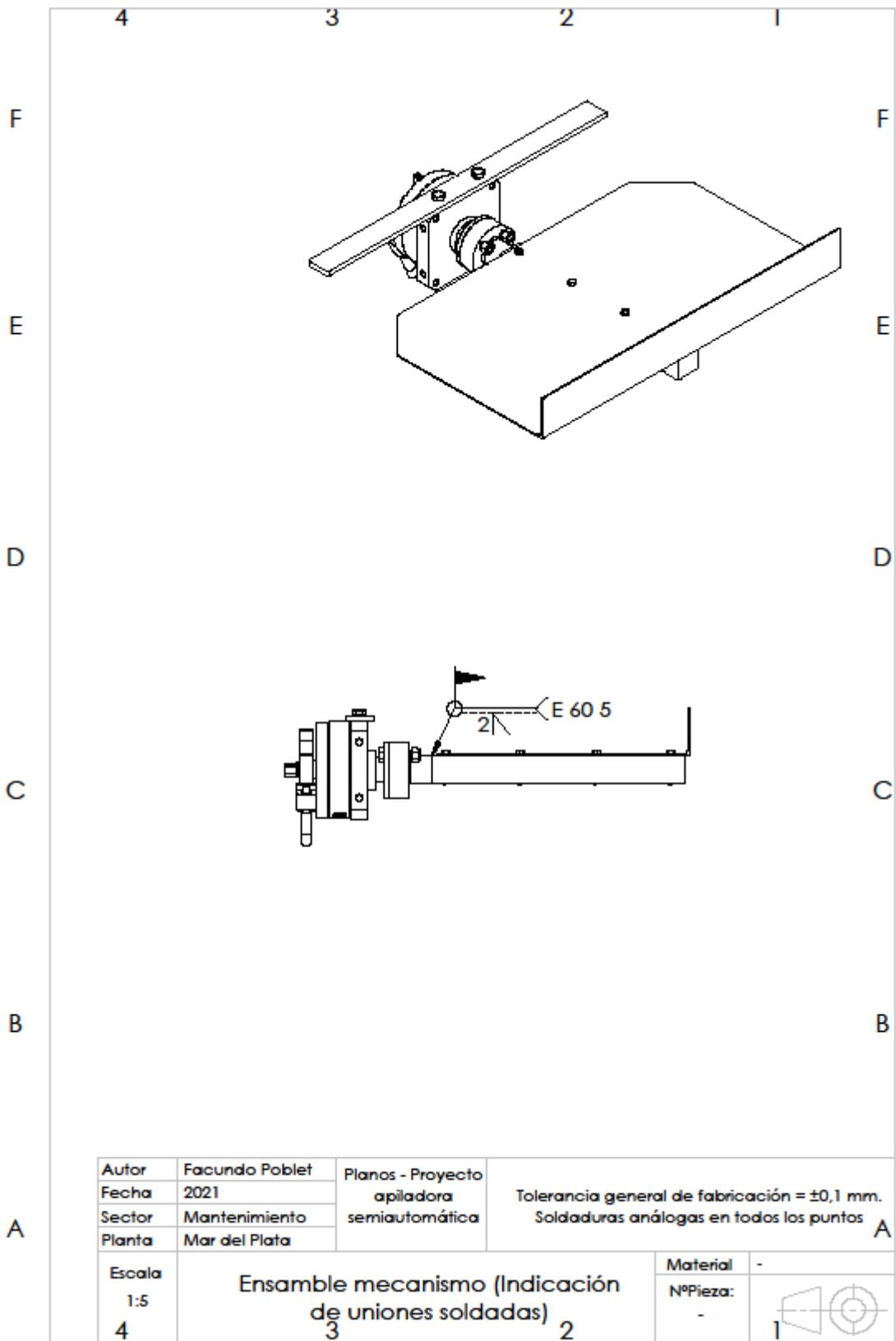
9. Anexos

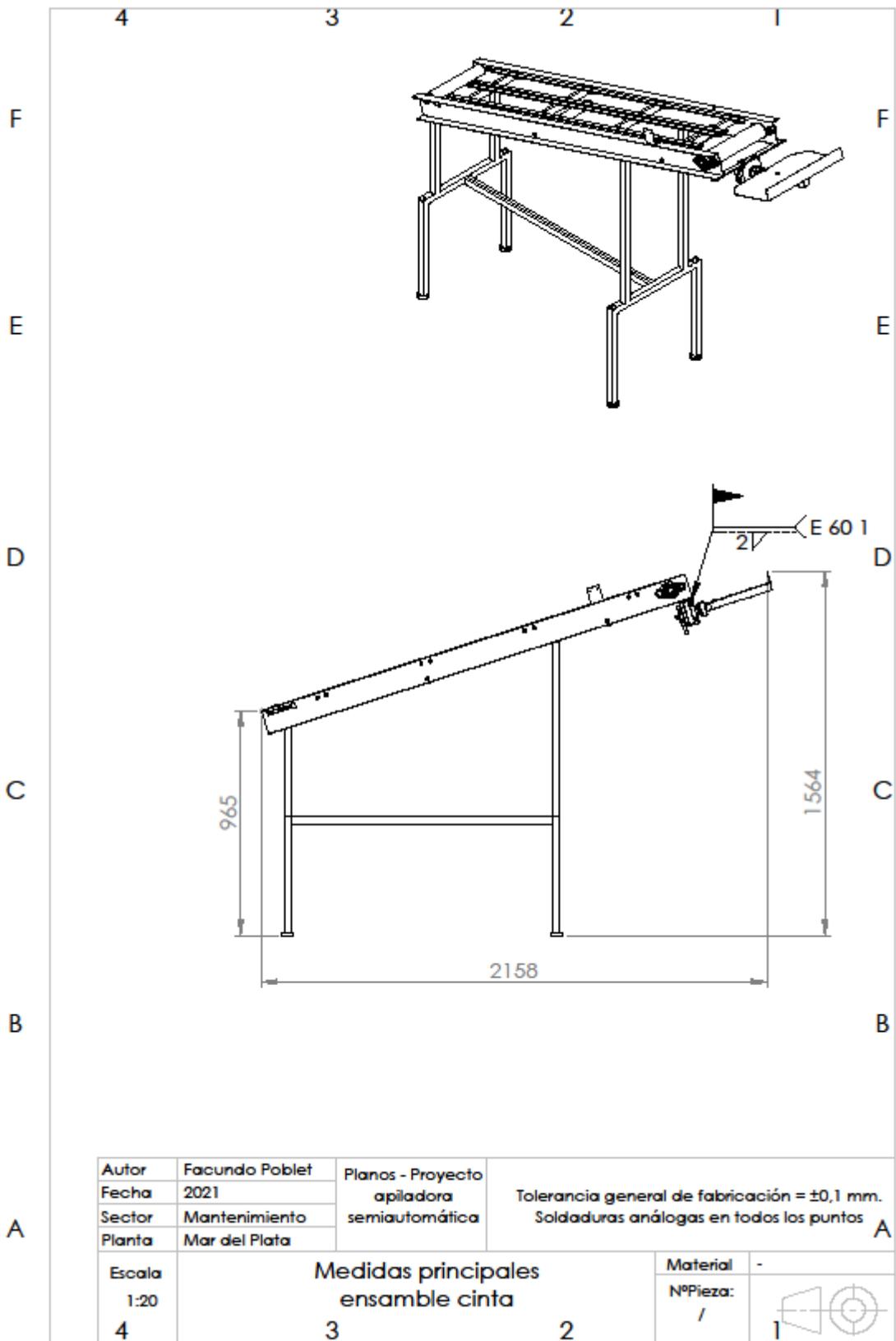


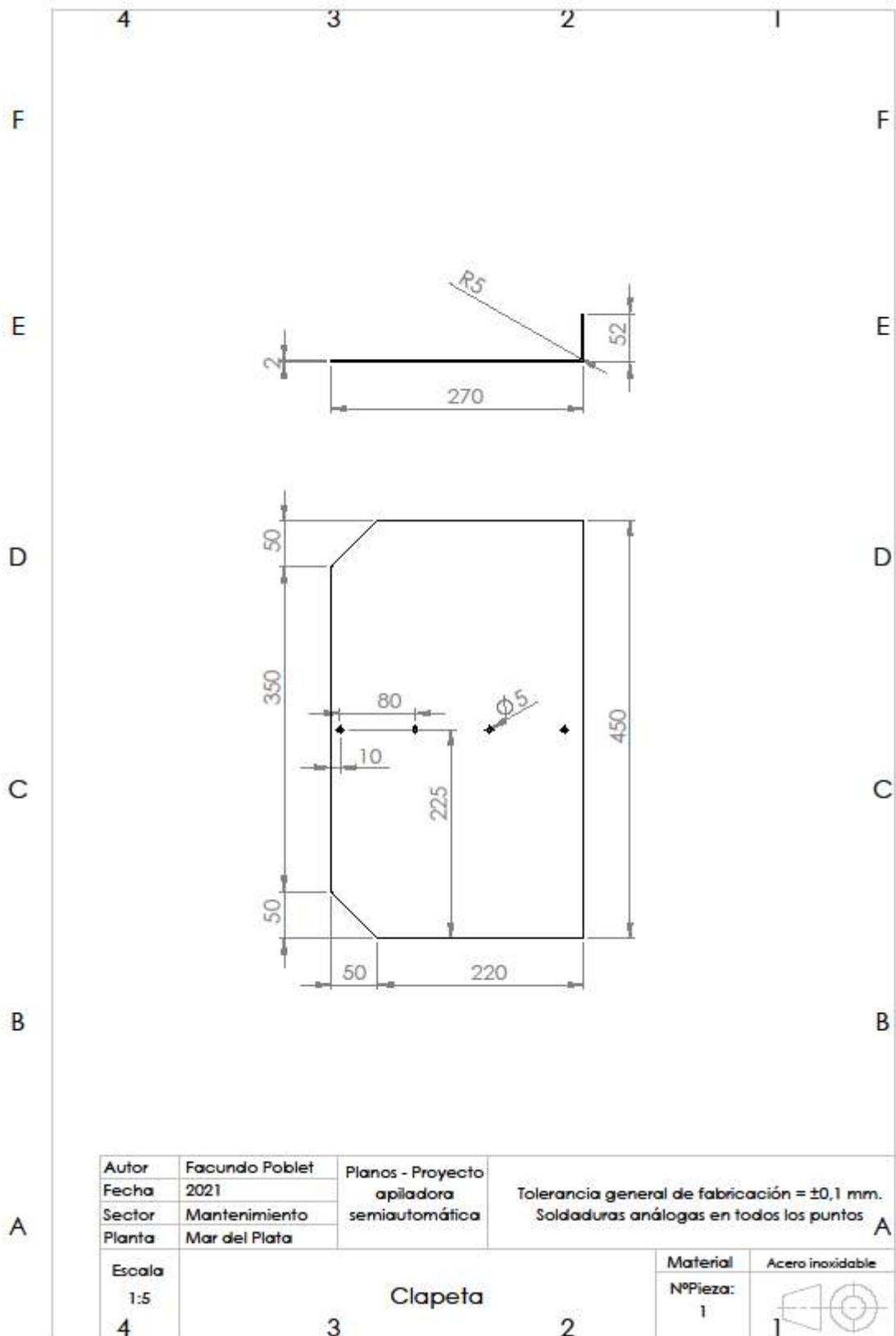
Nº	Descripción pieza	Cant
1	Clapeta	1
2	Eje rectangular	1
3	Acople eje-actuador	1
4	Soporte actuador	1
5	Lateral cinta	1
6	Lateral cinta	1
7	Tomillo de regulación	2
8	Apoyo cinta transp	1
9	Eje de tracción	1
10	Eje conducido int	1
11	Eje conducido ext	1
12	Eje de acomp int	3
13	Eje de acomp ext	3
14	Soporte cinta	1
15	Soporte sensor	1
16	Rodamiento Dint = 25	6
17	Bulón M8X1,25	24
18	Bulón M5X1	4
19	Rodam/porta Dint = 25	2
20	Bulón M10X1	4
21	Tuerca M10X1	4
22	Actuador rotativo	1
23	Tuerca M8X1,25	18

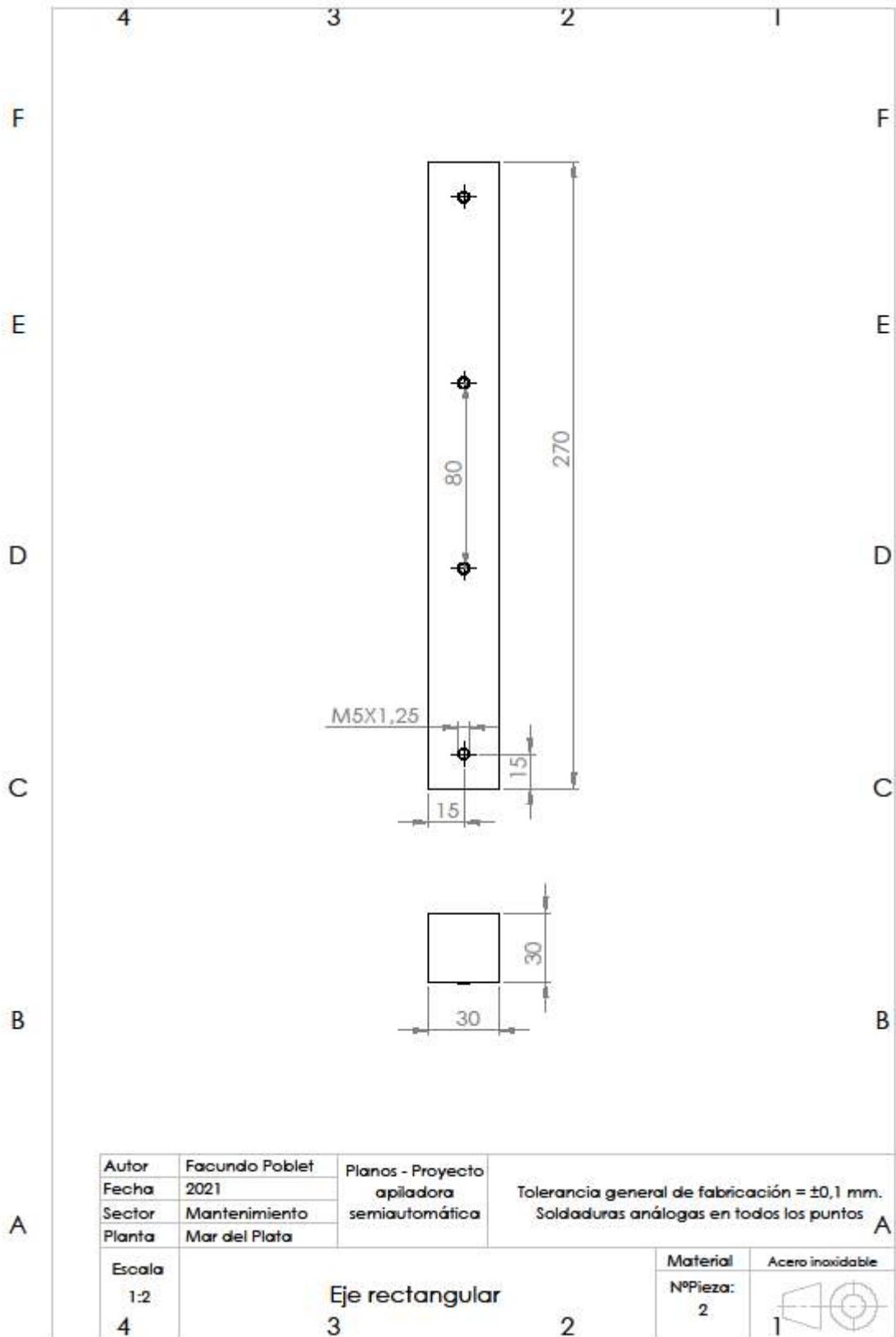
Autor	Facundo Poblet	Planos - Proyecto apiladora automática	Tolerancia general de fabricación = ±0,1mm. Soldaduras análogas en todos los puntos
Fecha	2021		
Sector	Mantenimiento		
Planta	Mar del Plata		

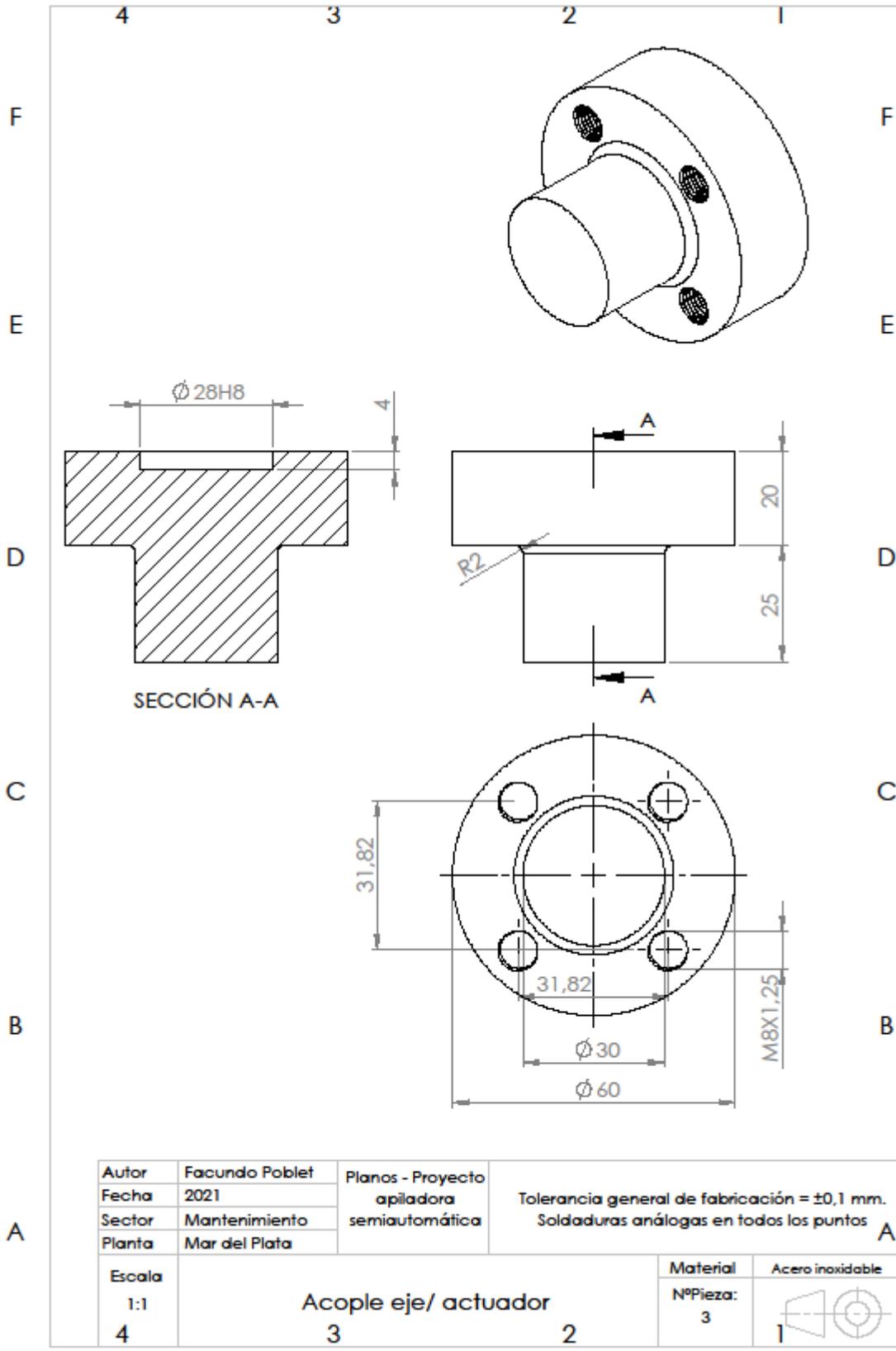
Escala	1:10	Explozado cinta transportadora y mecanismo derivador	

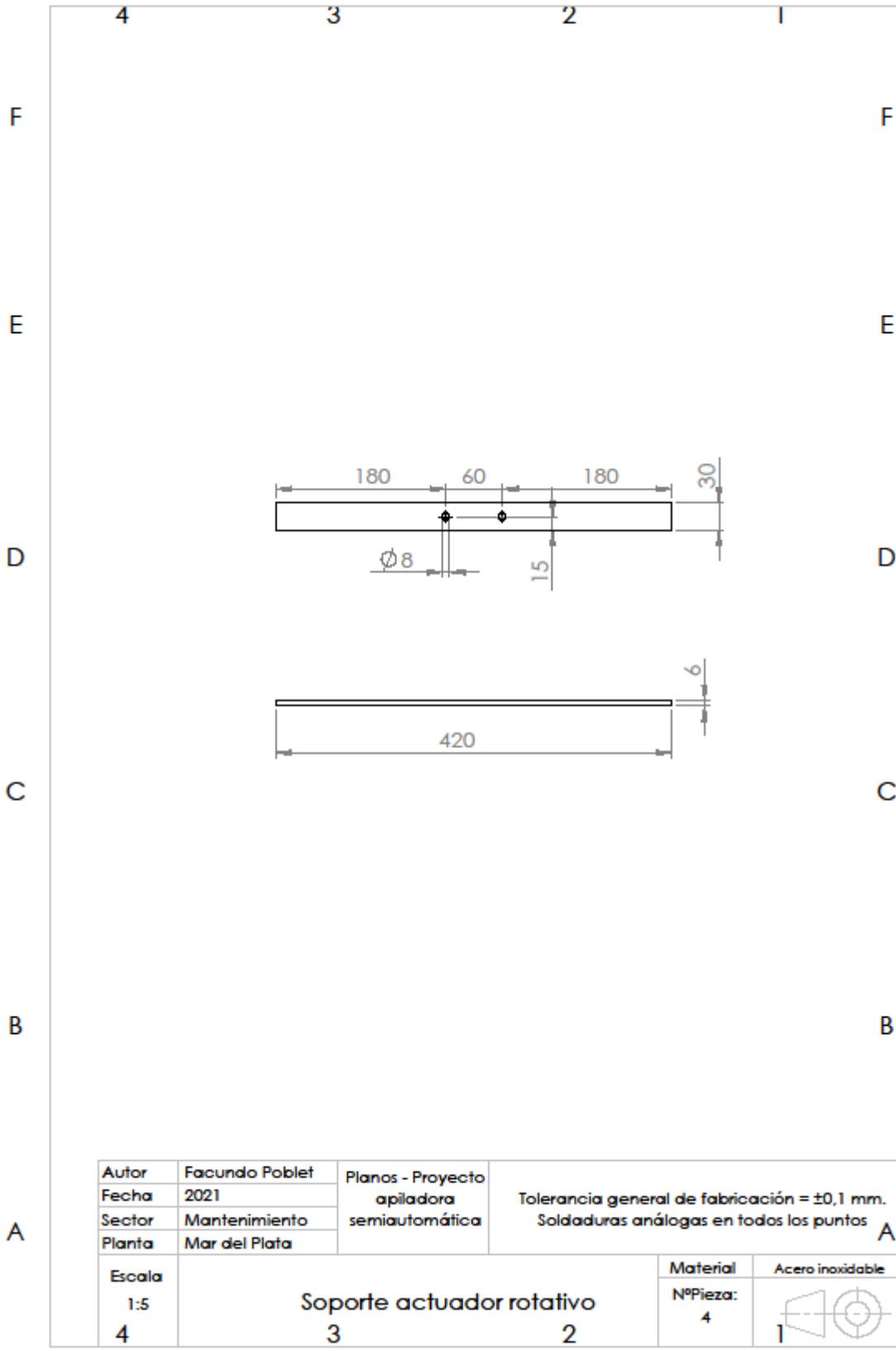




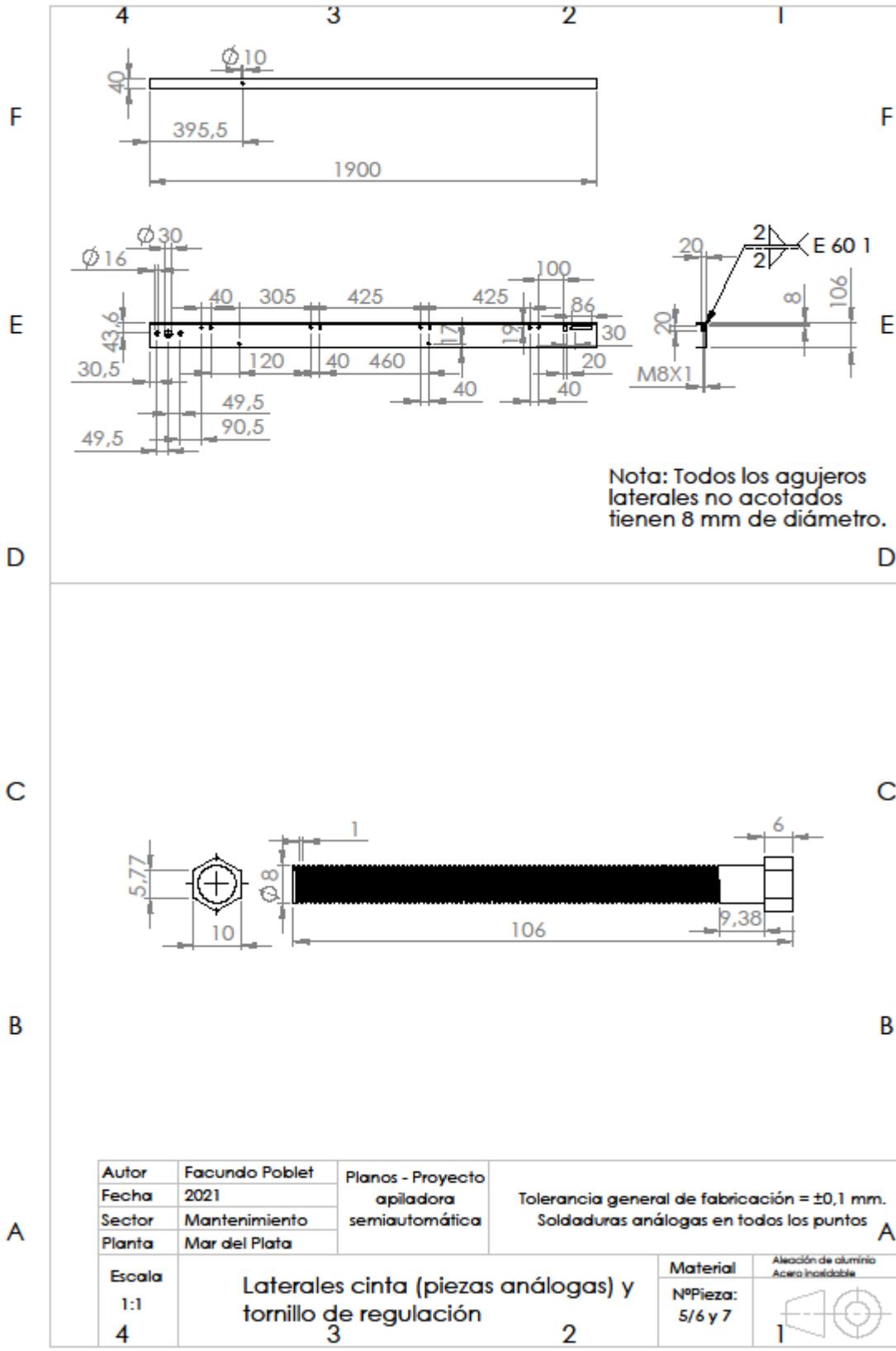


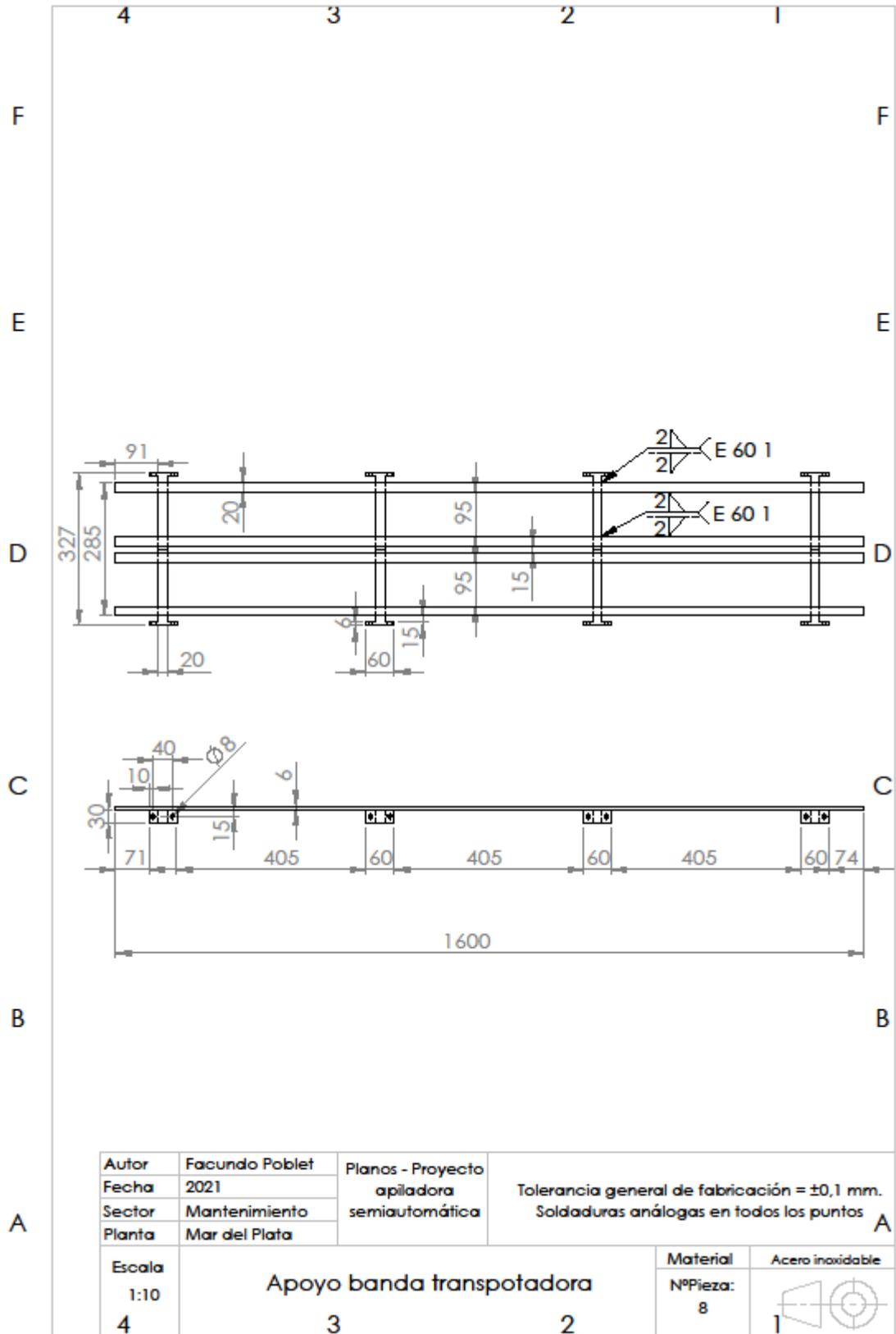


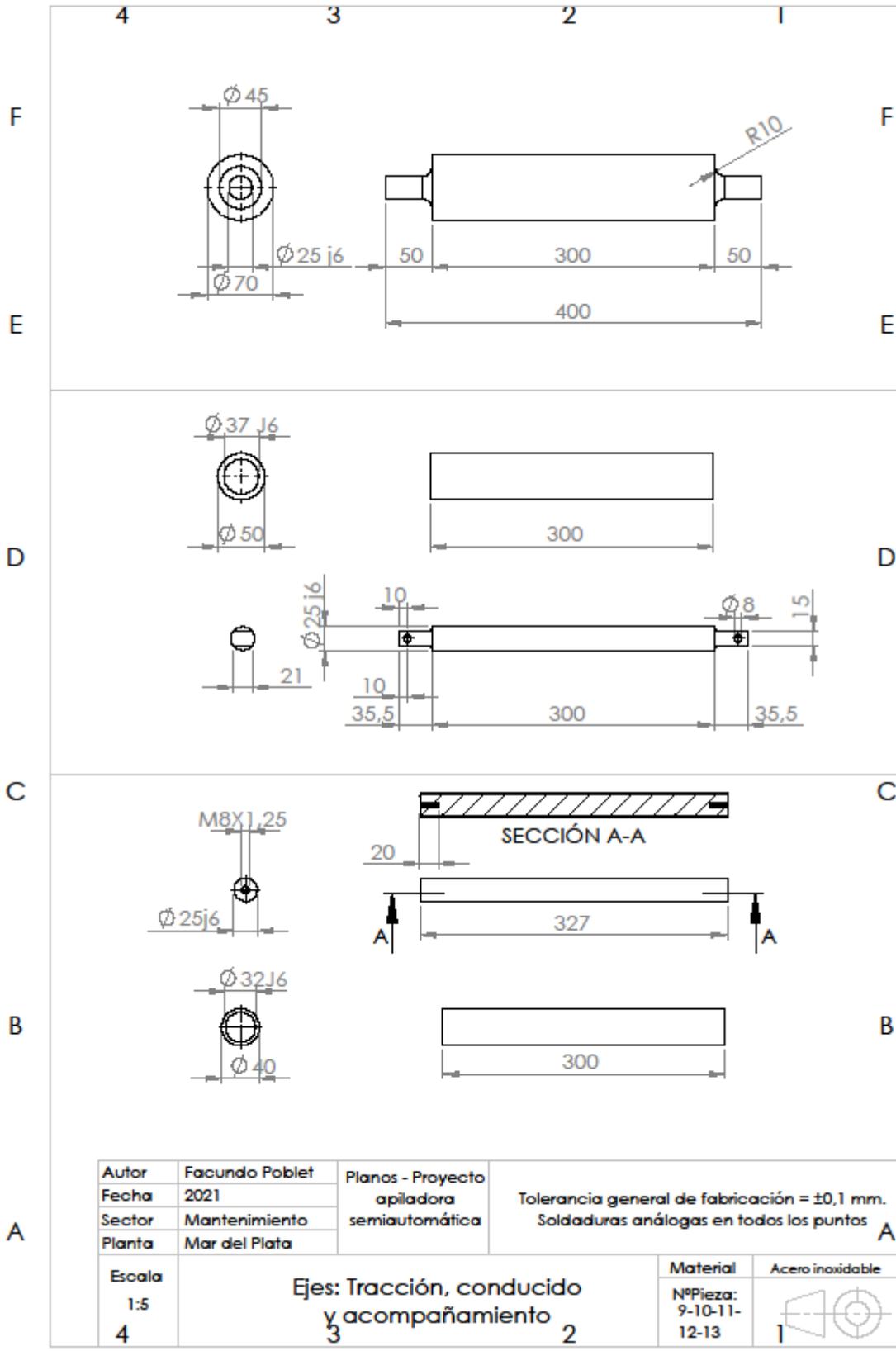


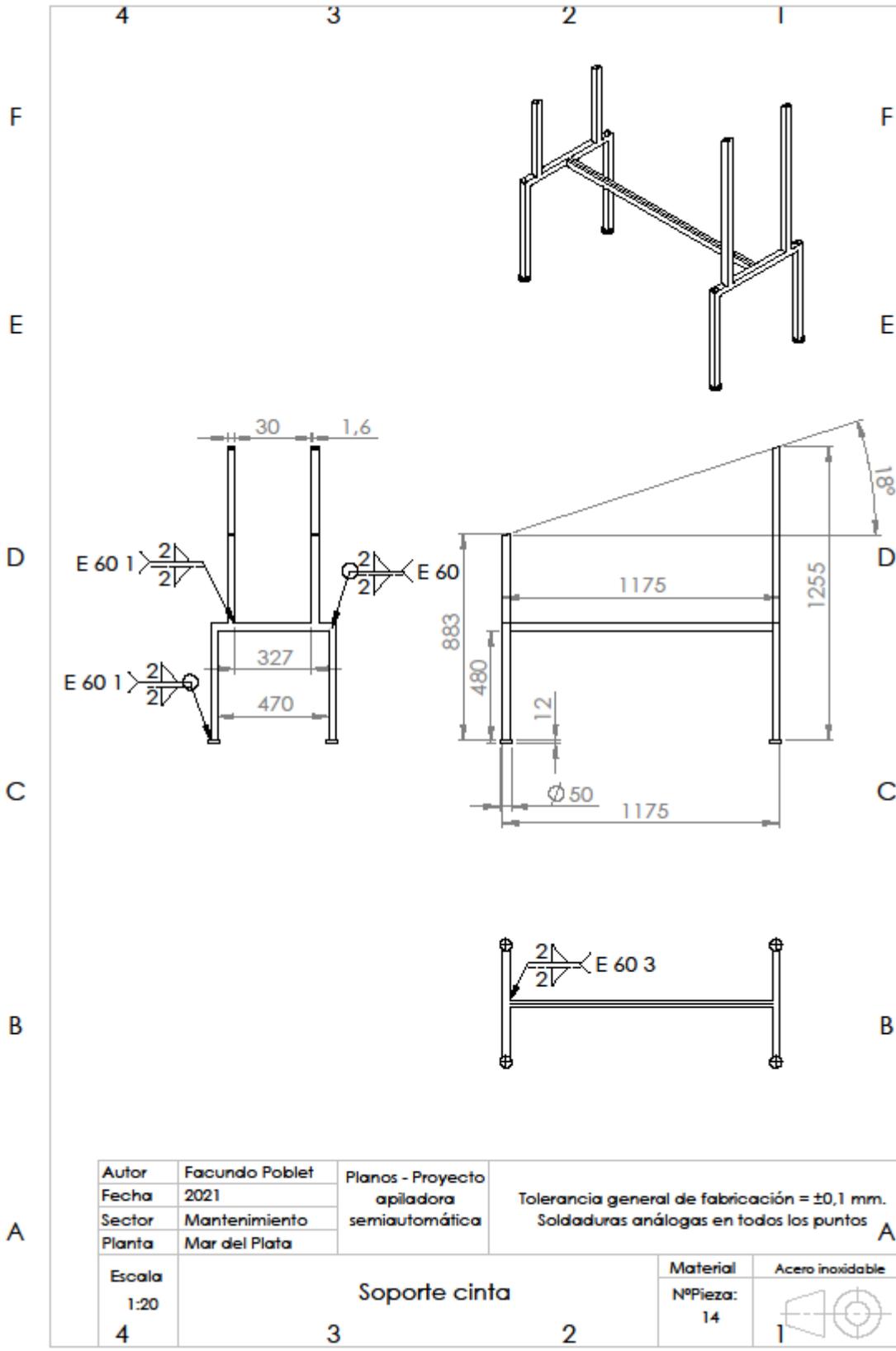


Autor	Facundo Poblet	Planos - Proyecto apiladora semiautomática	Tolerancia general de fabricación = $\pm 0,1$ mm. Soldaduras análogas en todos los puntos	A	
Fecha	2021				
Sector	Mantenimiento				
Planta	Mar del Plata				
Escala	1:5	Soporte actuador rotativo		Material	Acero inoxidable
4	4			NºPieza:	1

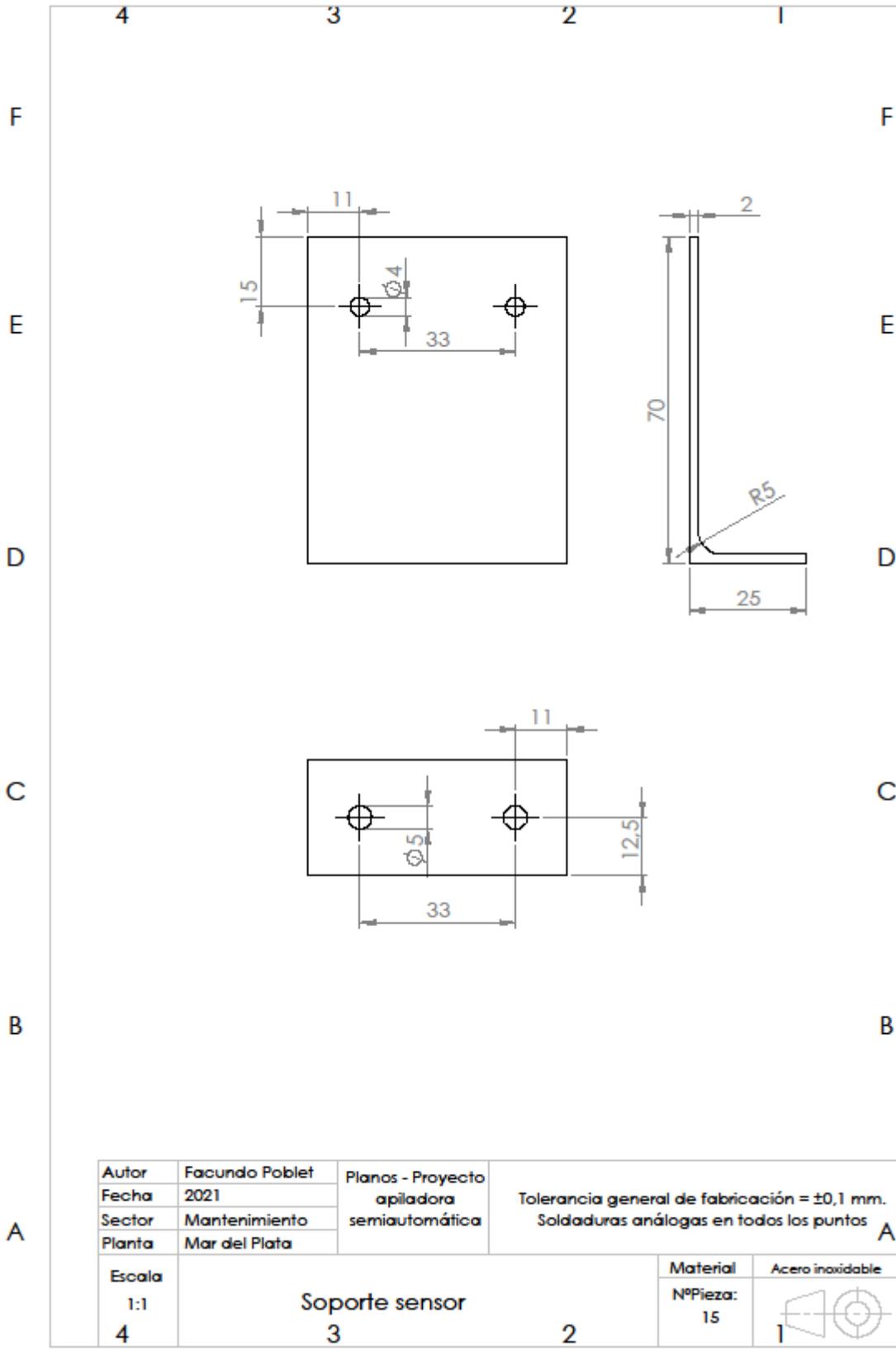


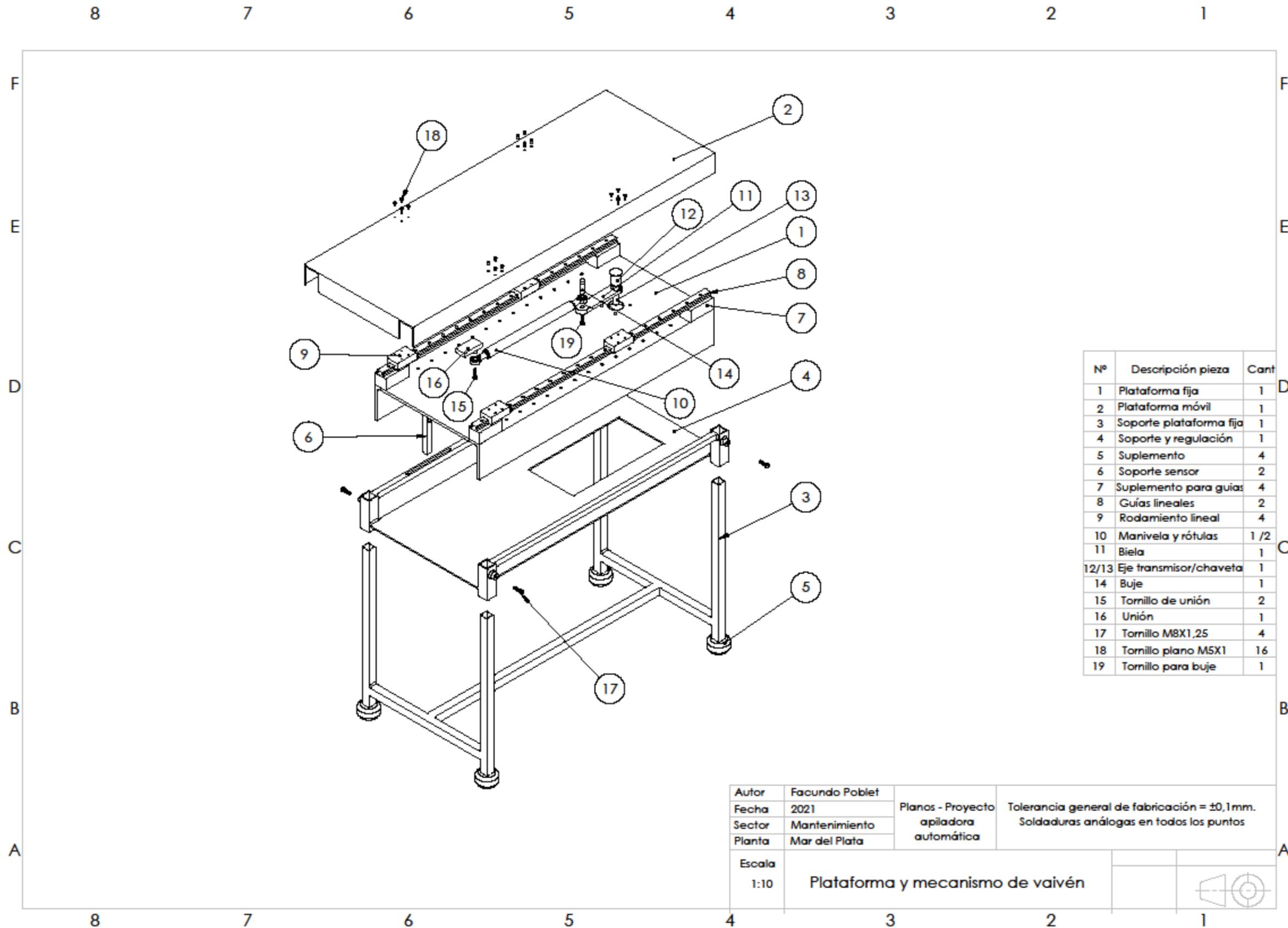


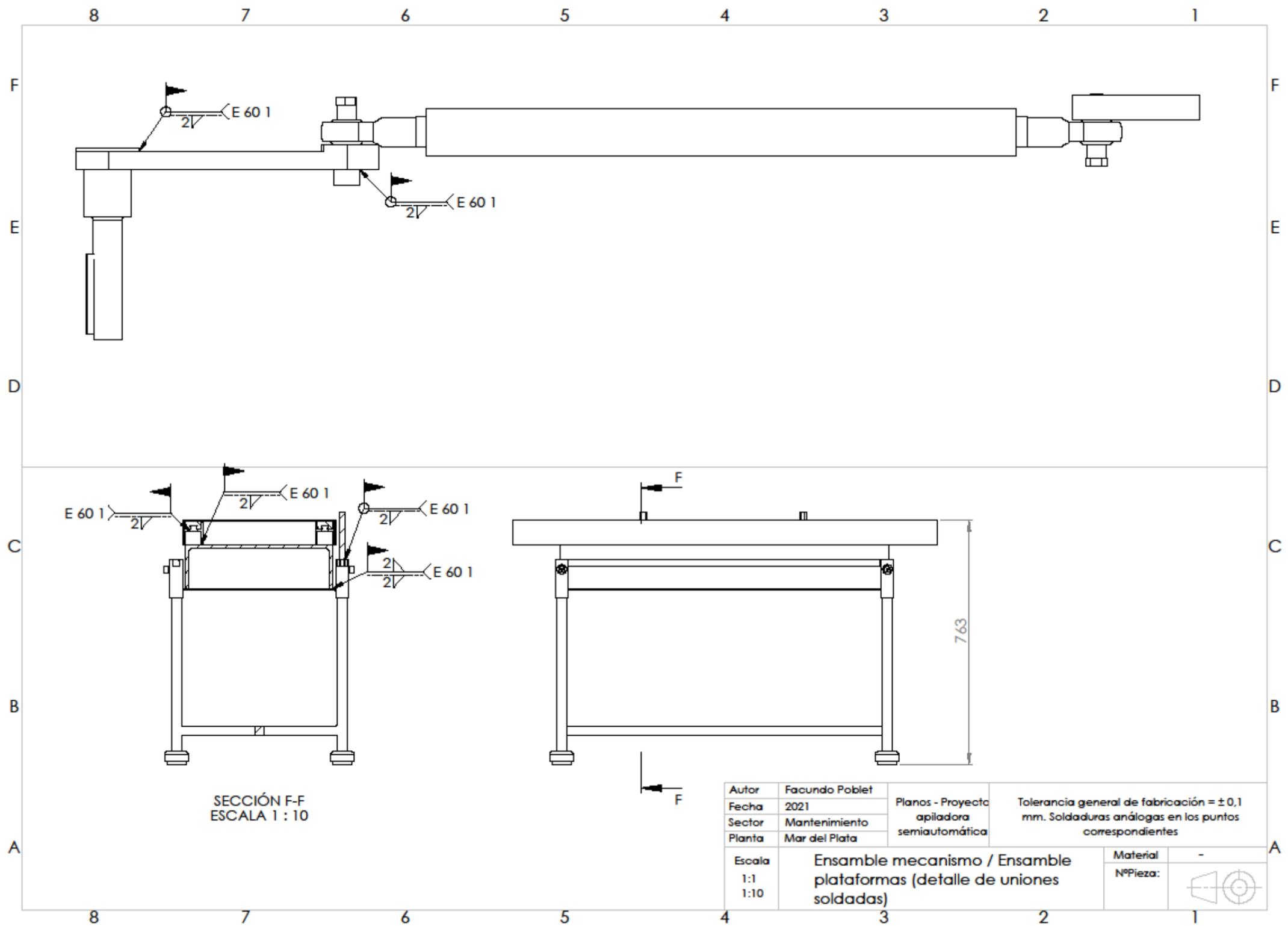


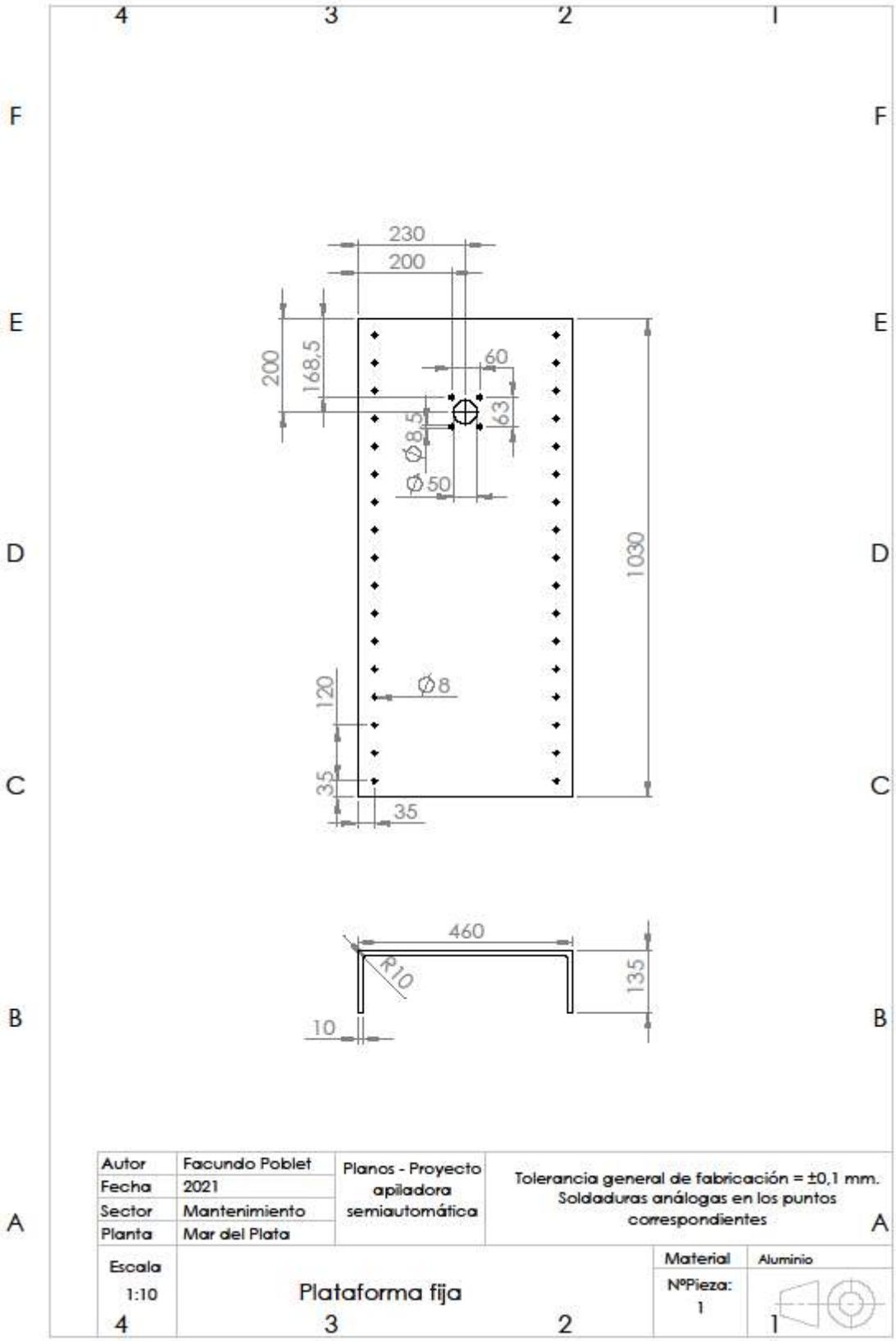


Autor	Facundo Poblet	Planos - Proyecto apiladora semiautomática	Tolerancia general de fabricación = ±0,1 mm. Soldaduras análogas en todos los puntos	
Fecha	2021			
Sector	Mantenimiento			
Planta	Mar del Plata			
Escala	Soporte cinta		Material	Acero inoxidable
1:20			NºPieza:	
4	3	2	14	

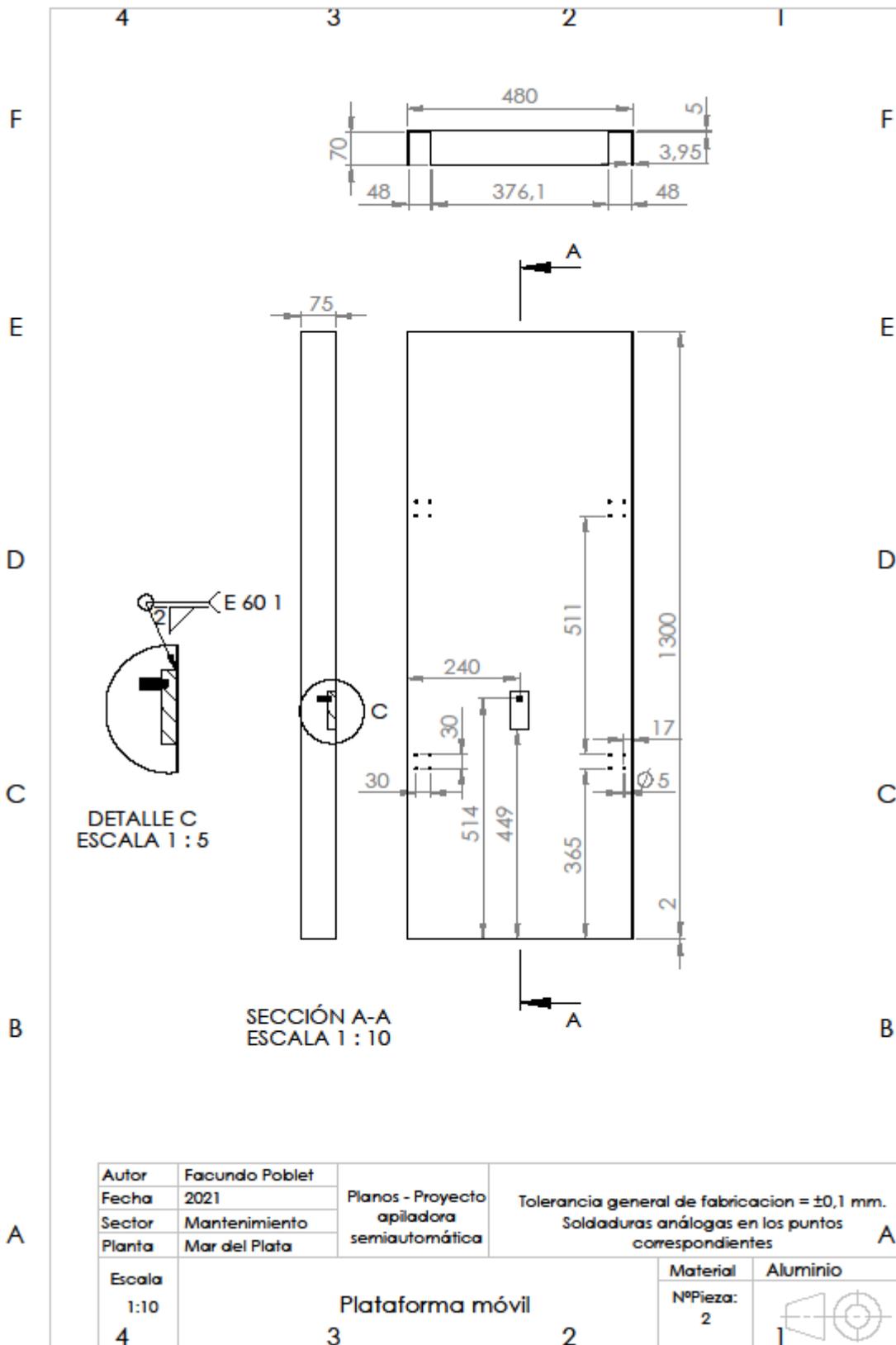




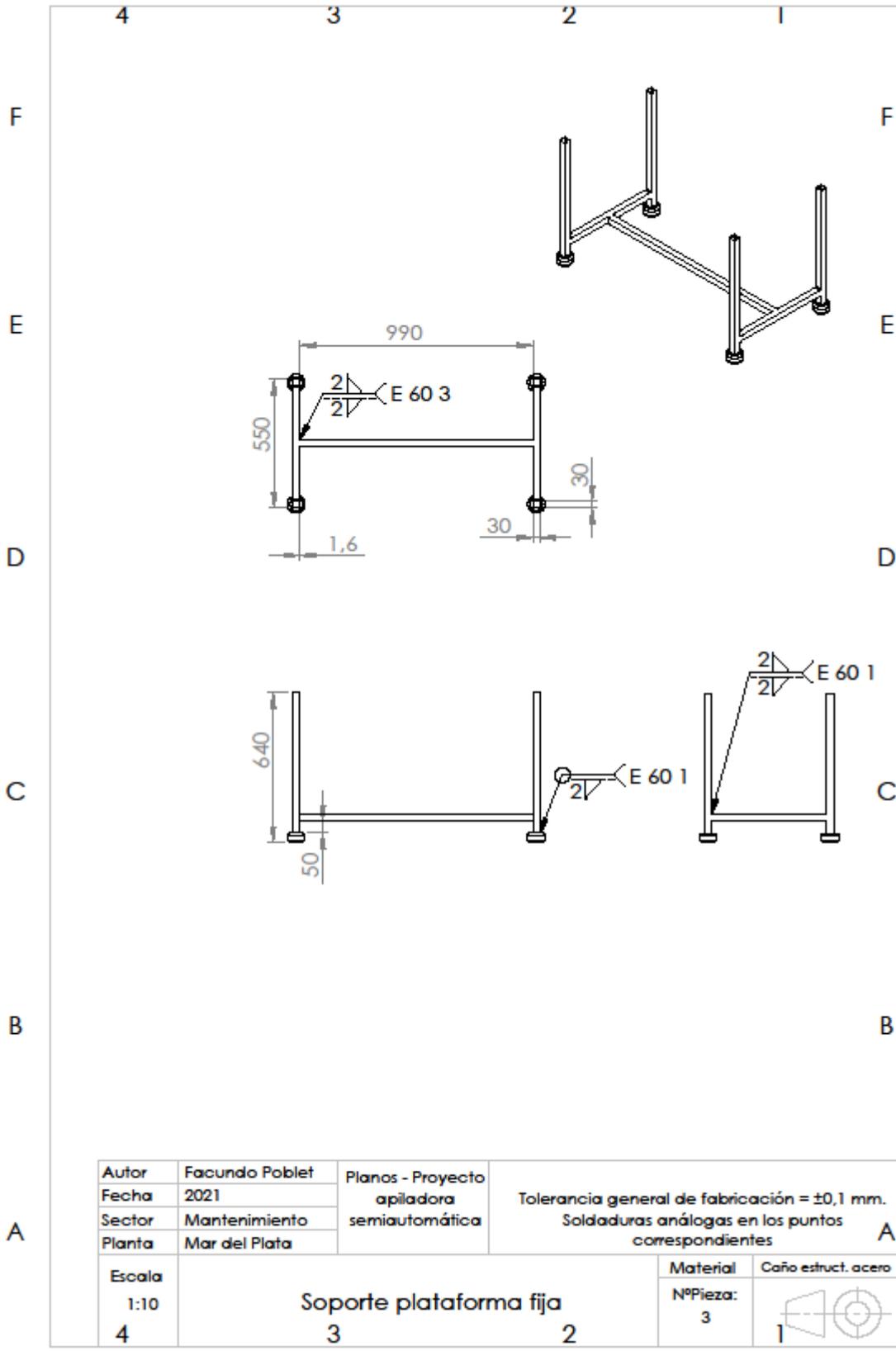


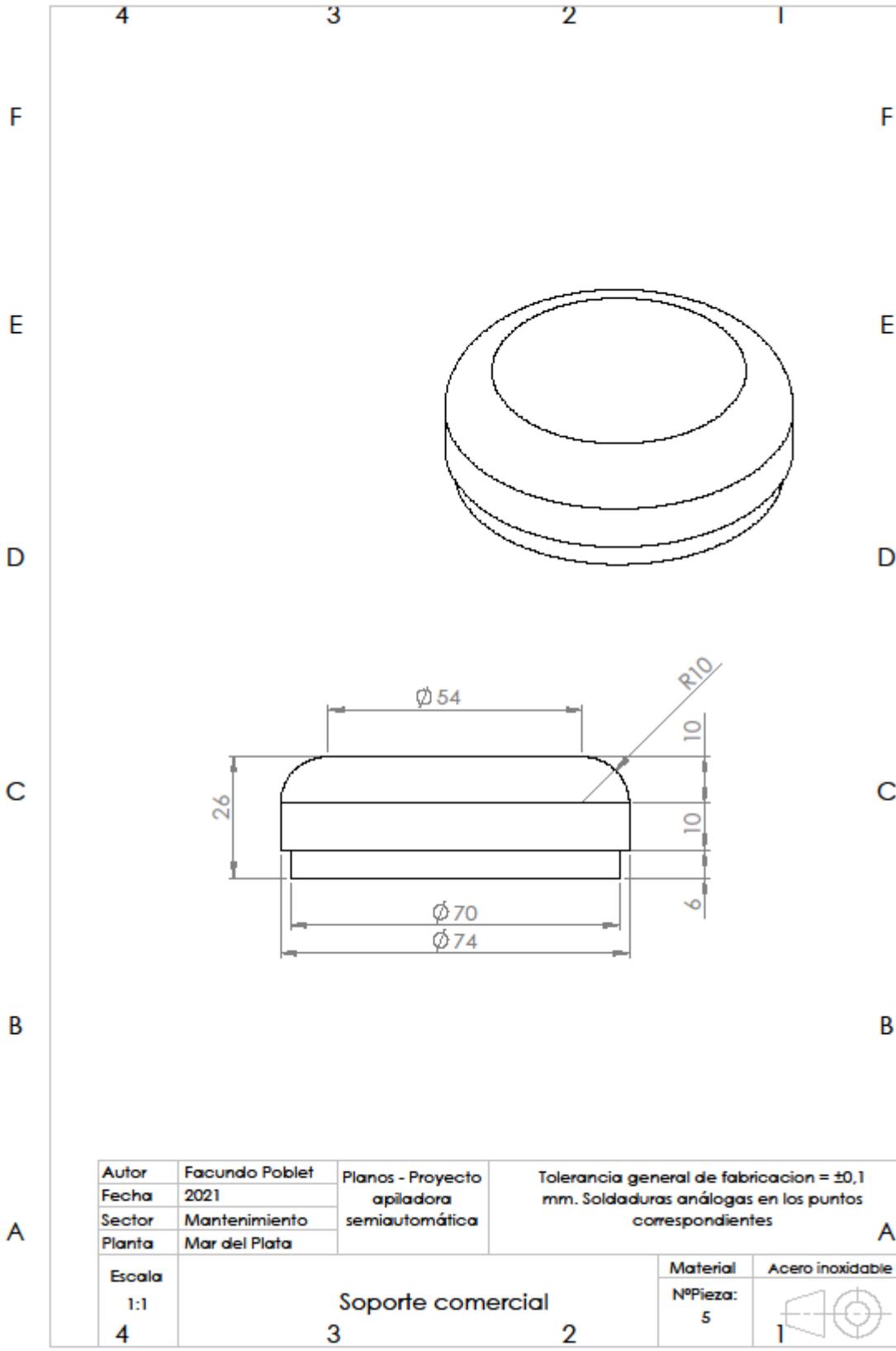


Autor	Facundo Poblet	Planos - Proyecto apiladora semiautomática	Tolerancia general de fabricación = $\pm 0,1$ mm. Soldaduras análogas en los puntos correspondientes	
Fecha	2021			
Sector	Mantenimiento			
Planta	Mar del Plata			
Escala	1:10	Plataforma fija	Material	Aluminio
4	3		NºPieza:	1
		2	1	

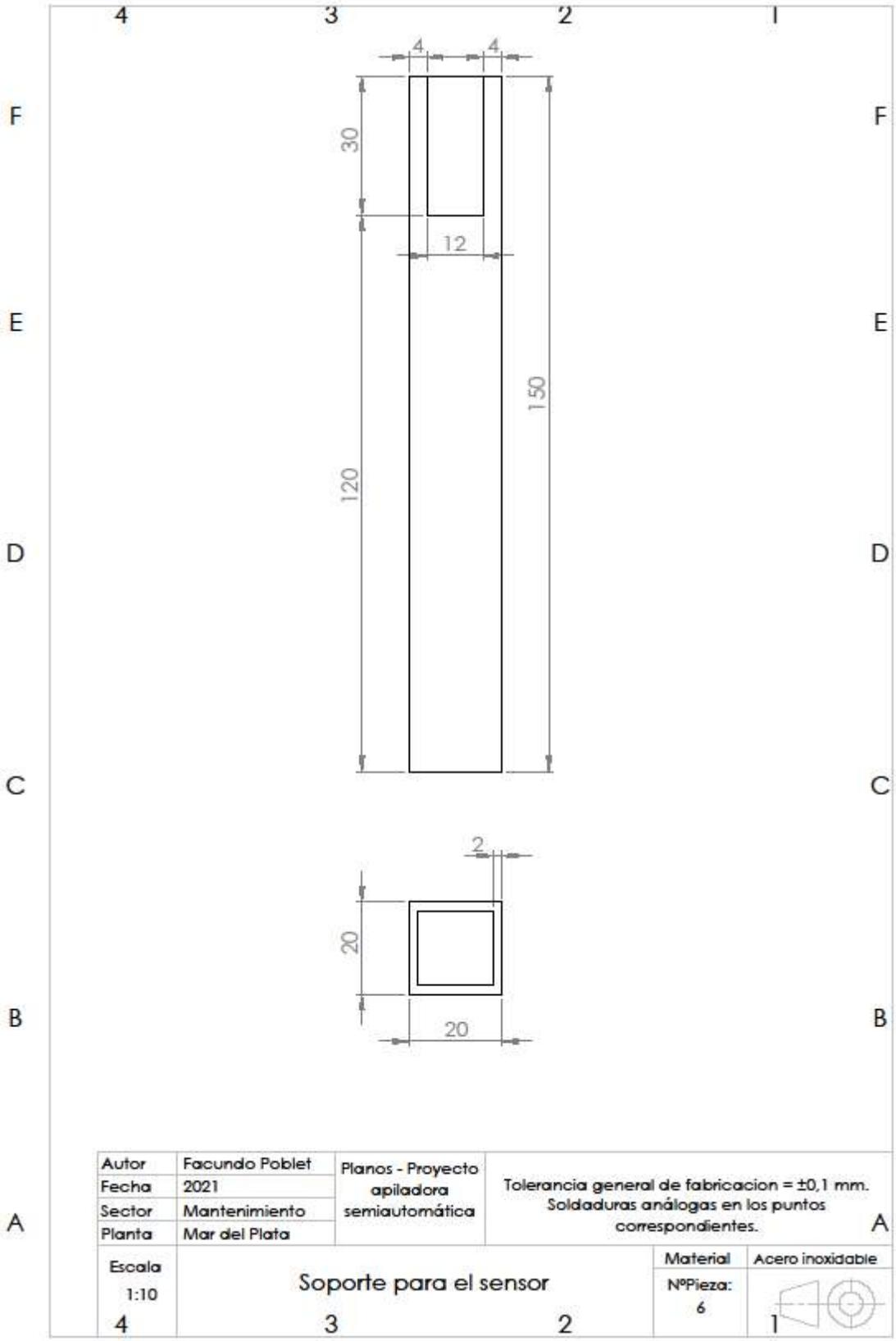




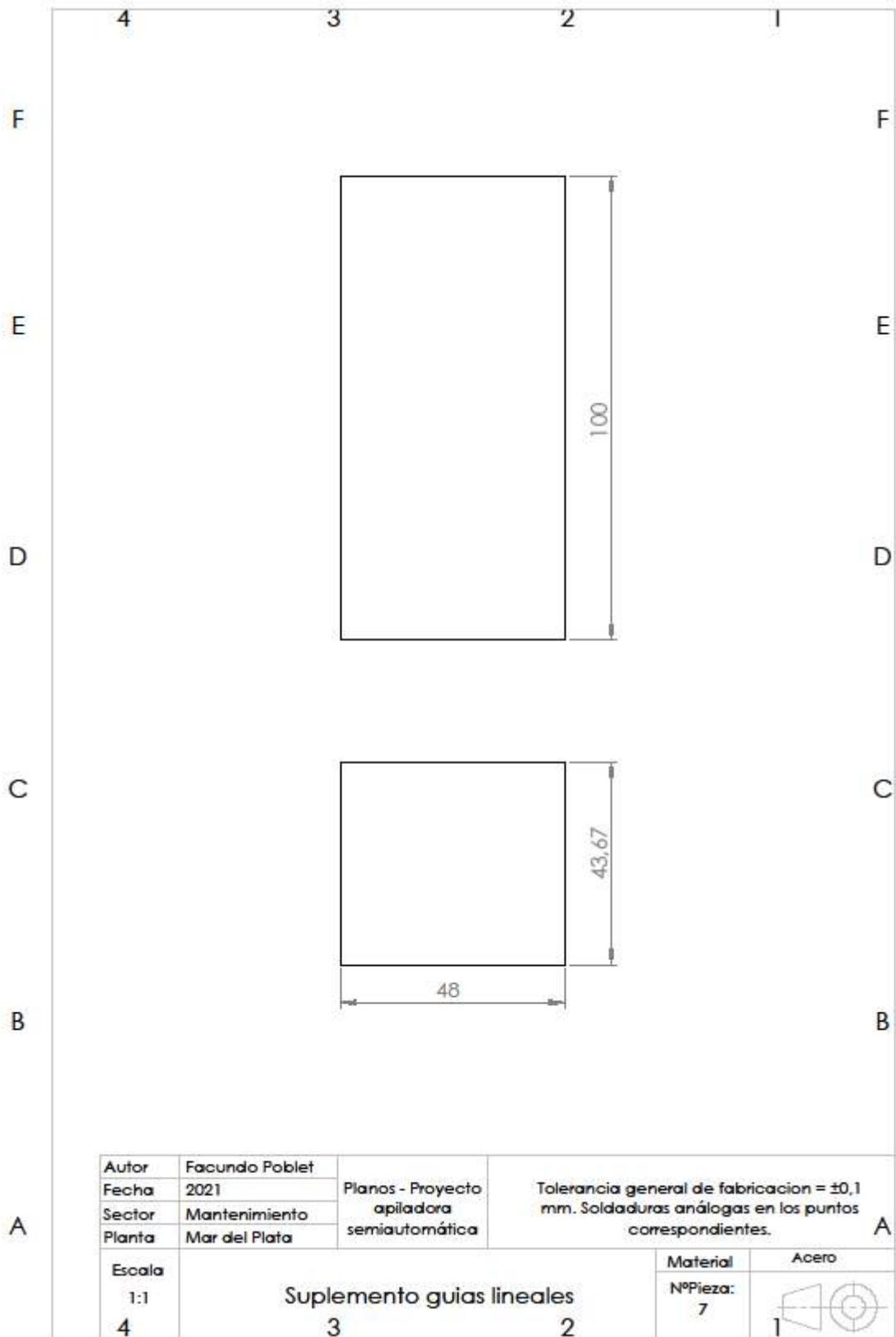


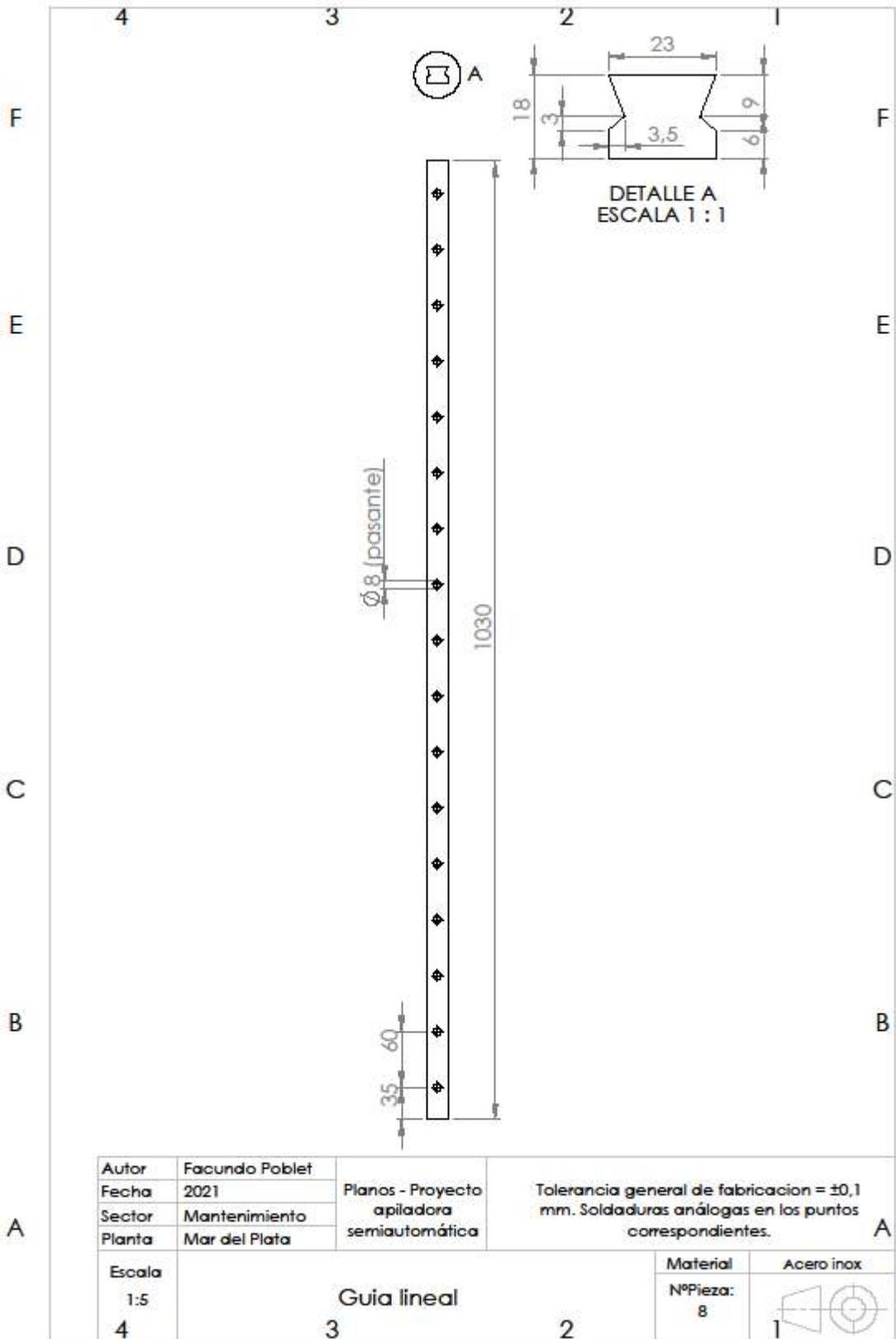


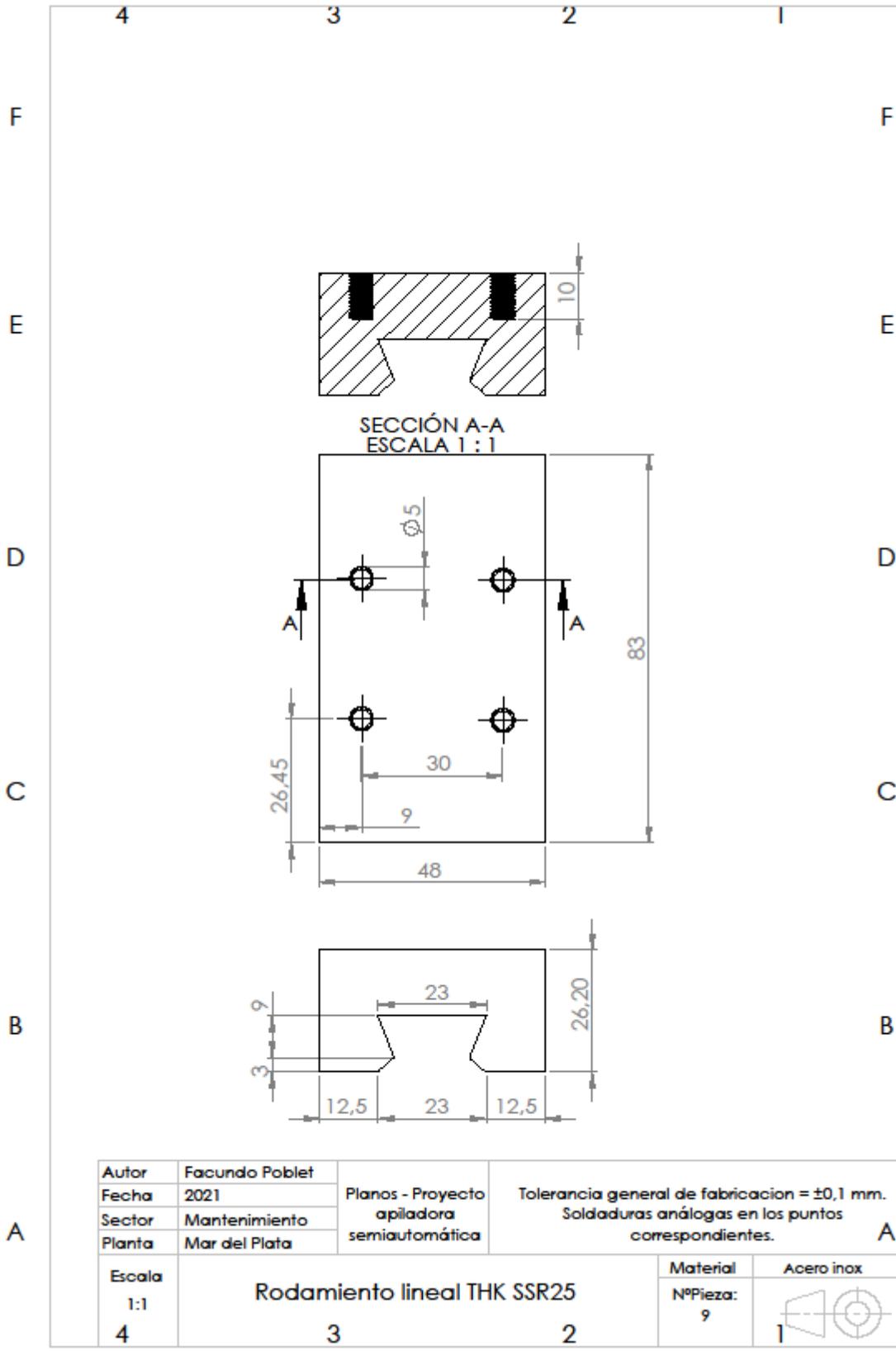
Autor	Facundo Poblet	Planos - Proyecto apiladora semiautomática	Tolerancia general de fabricación = ±0,1 mm. Soldaduras análogas en los puntos correspondientes		
Fecha	2021		A		
Sector	Mantenimiento				
Planta	Mar del Plata				
Escala	1:1	Soporte comercial		Material	Acero inoxidable
4	3			2	NºPieza:

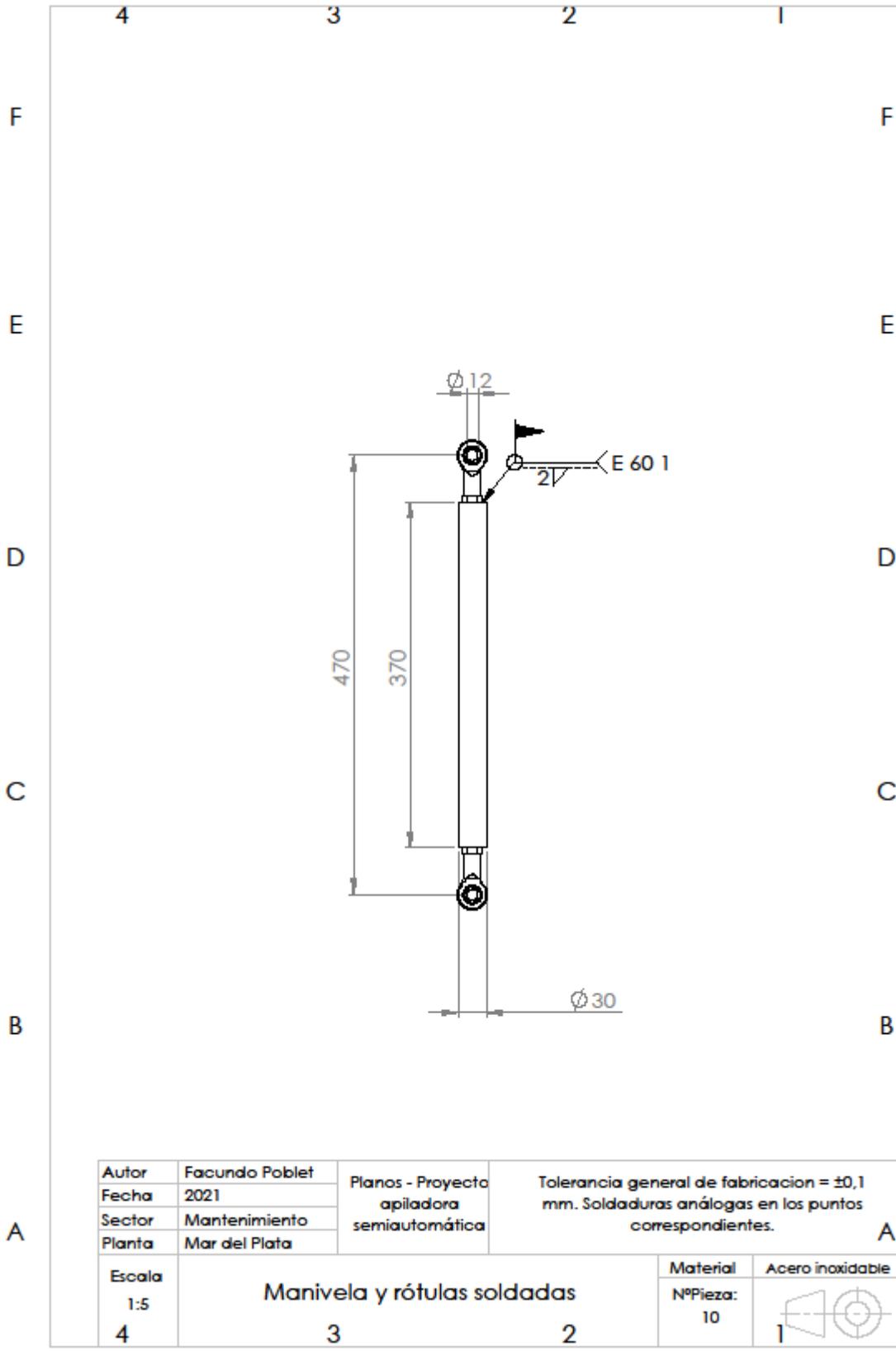


Autor	Facundo Poblet	Planos - Proyecto apiladora semiautomática	Tolerancia general de fabricacion = $\pm 0,1$ mm. Soldaduras análogas en los puntos correspondientes.	A
Fecha	2021			
Sector	Mantenimiento			
Planta	Mar del Plata			
Escala	Soporte para el sensor		Material	Acero inoxidable
1:10			NºPieza:	
4	3	2	6	









Autor	Facundo Poblet	Planos - Proyecto apiladora semiautomática	Tolerancia general de fabricación = ±0,1 mm. Soldaduras análogas en los puntos correspondientes.	
Fecha	2021			
Sector	Mantenimiento			
Planta	Mar del Plata			
Escala	Manivela y rótulas soldadas		Material	Acero inoxidable
1:5			NºPieza:	
4	3	2	10	

