

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

Diseño de un sistema agrupador de pan para el área de enfundado en una línea de  
bollería

INGE-2319

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingenieros en Mecatrónica**

Presentado por:

William Andrés Capa Arcentales

Jaime Israel Luna Romero

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

## **Dedicatoria**

---

El presente proyecto lo dedico a Dios, Ser supremo que en todo momento ha guiado mi trabajo. A mis padres por su apoyo incondicional y por ser siempre el pilar en quienes me he apoyado para llegar a feliz término en mi carrera universitaria.

A mis maestros por brindarme sus conocimientos y paciencia y ser el faro que han iluminado para llegar a ser excelentes profesionales.

**William Andrés Capa**

## Dedicatoria

---

Dedico este trabajo a mi mamá, Marlyn Luna, por haberme apoyado desde el inicio de mi carrera universitaria.

A mis abuelitos Jaime e Inés, por el apoyo y cariño que me brindaron en las diferentes etapas de mi vida.

A mis tíos Alex, Eduardo y Zayda por alentarme y brindarme conocimientos que me servirían para mi etapa universitaria.

A mi novia, Sara, quien me ayudó en todas las etapas del proyecto y me brindó su apoyo incondicional en todo momento.

A mis compañeros y amigos, que hicieron mi experiencia universitaria más divertida y enriquecedora.

A Dios por brindarme sabiduría, salud y la esperanza necesaria para seguir adelante.

**Jaime Israel Luna**

## Agradecimientos

---

Un profundo agradecimiento a mi familia por estar siempre apoyando, a la ESPOL y su cuerpo docente por haberme acogido durante los años de estudio y ser ese aporte fundamental para nutrirme de conocimientos y llegar a la meta anhelada.

A mi compañero de tesis, Jaime Luna, por compartir e intercambiar experiencias que ha hecho posible culminar con éxito el proyecto.

**William Andrés Capa**

## Agradecimientos

---

Agradezco profundamente a mi familia por haber sido mi principal apoyo desde el inicio de mi carrera profesional, por ser un constante aliento y por brindarme ayuda incondicional cuando la necesitaba.

A Gary Jordán por brindarme la oportunidad de llevar a cabo mi proyecto en la planta y por ser un excelente jefe.

A mi maestro Roberto Vásquez por enseñarme y brindarme consejos tanto en el ámbito laboral como en la vida.

A mis compañeros de trabajo y amigos Fabricio, José y Marcos por su ayuda y contribución en la experimentación del proyecto.

**Jaime Israel Luna**

## Declaración Expresa

---

Nosotros Jaime Israel Luna Romero y William Andrés Capa Arcentales acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor del proyecto de graduación corresponderá a los autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor de los autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 30 de enero del 2024.



---

Jaime Israel Luna Romero



---

William Andrés Capa Arcentales

## **Evaluadores**

---

**Carlos Xavier Saldarriaga Mero, Ph.D.**

Profesor de Materia

---

**Marcelo Rodolfo Fajardo Pruna, Ph.D.**

Tutor de proyecto

## Resumen

Los avances tecnológicos no sólo implican cambios en los equipos, sino también en la adquisición de nuevos materiales y diseños más factibles y competentes. En este proyecto se propone el diseño de un sistema mecatrónico de agrupación de pan para incrementar la operatividad del enfundado en una línea de bollería mediante sistemas flexibles de transmisión, mejorando el mantenimiento y calibración del equipo obteniendo mejor presentación del producto. En el desarrollo del proyecto, se llevó a cabo cada etapa de diseño mecánico, electrónico y de control, que incluye el diseño y selección ejes, cadenas y piñones; un controlador independiente para el movimiento del sistema agrupador el cual se comunicó con el controlador actual del área de enfundado para sincronizar todas las fases. Como resultado, se logró una sincronización eficiente entre el agrupador y la enfundadora. Gracias al diseño y pruebas realizadas se aseguró que el producto no colisione con el agrupador, además el sistema responde cada vez que se envía un pulso al servomotor evitando desgaste en las piezas. En consecuencia, se optimiza el recorrido del producto final, presentado un movimiento más suave y constante y un nuevo PLC manteniéndolo como una unidad independiente.

**Palabras Clave:** Sistemas flexibles de transmisión, controlador lógico programable, operatividad, industria alimenticia.

## **Abstract**

*Technological advances not only imply changes in equipment, but also in the acquisition of new materials and more feasible and competent designs. This project proposes the design of a mechatronic bread grouping system to increase the operability of packaging in a pastry line through flexible transmission systems, improving maintenance and calibration of the equipment, and obtaining a better presentation of the product. In the development of the project, each stage of mechanical, electronic and control design was carried out, which includes the design and selection of axles, chains and sprockets; an independent controller for the movement of the grouping system which communicated with the current controller of the sheathing area to synchronize all phases. As a result, efficient synchronization between the bundler and sleever was achieved. Thanks to the design and tests carried out, it was ensured that the product does not collide with the grouper, in addition the system responds every time a pulse is sent to the servomotor, avoiding wear on the parts. Consequently, the path of the final product is optimized, presenting a smoother and more constant movement and a new PLC, maintaining it as an independent unit.*

*Keywords: Flexible transmission systems, programmable logic controller, operability, food industry.*

## Índice general

Resumen .....	I
Abstract .....	II
Índice general .....	III
Abreviaturas .....	V
Simbología .....	VI
Índice de figuras .....	VII
Índice de tablas.....	IX
ÍNDICE DE PLANOS .....	X
Capítulo 1 .....	1
1.1    Introducción.....	2
1.2    Descripción del problema.....	2
1.3    Justificación del problema .....	3
1.4    Objetivos.....	8
1.4.1    Objetivo general .....	8
1.4.2    Objetivos específicos.....	8
1.5    Marco teórico.....	9
1.5.1    Proceso de enfundado.....	9
1.5.2    Funcionamiento del proceso de agrupamiento.....	11
1.5.3    Estado del arte .....	12
Capítulo 2 .....	15
2.1    Metodología.....	16
2.1.1    Selección de alternativas .....	16
2.2    Proceso de diseño .....	17
2.3    Requerimientos del diseño.....	19

2.4	Diseño mecánico.....	19
2.4.1	Cálculo para sistema de transmisión.....	19
2.4.2	Cálculo para el diseño de eje.....	25
2.5	Diseño eléctrico.....	28
2.6	Sistema de Control.....	34
2.6.1	Proceso de control del agrupador.....	34
Capítulo 3	.....	37
3.1	Resultados y análisis.....	38
3.1.1	Diseño mecánico.....	38
3.1.2	Diseño eléctrico.....	43
3.1.3	Sistema de Control.....	45
3.1.4	Programación.....	45
3.1.5	Resultados finales.....	50
3.2	Análisis.....	51
3.2.1	Análisis de costos.....	51
Capítulo 4	.....	53
4.1	Conclusiones y recomendaciones.....	54
4.1.1	Conclusiones.....	54
4.1.2	Recomendaciones.....	55
Referencias	.....	56
Apéndices	.....	58

## Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
PLC	Programmable Logic Controller
SKF	Fábrica Sueca de Rodamientos (Svenska Kullager Fabriken)

## Simbología

g	Gramo
kg	Kilogramo
N	Newton
AC	Corriente Alterna
mm	Milímetros
DP	Potencia de diseño (Design Power)
rpm	Revoluciones por minuto
kW	Kilovatio

## Índice de figuras

Figura 1.1 Tiempos de paro promedio en enfundado de bollería.....	4
Figura 1.2 Brazos del empujador .....	5
Figura 1.3 Pieza desoldada del empujador.....	5
Figura 1.4 Rodamientos del sujetador lateral del empujador.....	6
Figura 1.5 Baja de productos en un día de producción .....	7
Figura 1.6 Bajas de producto en una semana de producción .....	7
Figura 1.7 Guarda y reguladores de aire del agrupador .....	8
Figura 1.8 Etapas de enfundado en la línea de bollería.....	11
Figura 1.9 Movimiento del agrupador.....	12
Figura 1.10 Giro y agrupación de contenedores .....	13
Figura 1.11 Maquinaria de embalaje Cankey.....	14
Figura 2.1 Metodología de diseño.....	18
Figura 2.2 Eje conductor con sus respectivos par de torsión .....	21
Figura 2.3 Eje con sus respectivas reacciones.....	26
Figura 2.4 Momento flector total .....	26
Figura 2.5 Diagrama de torsión en el eje .....	27
Figura 2.6 Variador Kinetix 5300 con motores rotativos y actuadores lineales Kinetix MP .....	31
Figura 2.7 Comunicación del Kinetix con Controlador CompactLogix .....	32
Figura 2.8 Esquema de funcionamiento del nuevo sistema de agrupado.....	35
Figura 2.9 Diagrama de bloques de control del sistema de agrupado.....	36
Figura 3.1 Restricciones y fuerzas aplicadas para el análisis de elementos finitos .....	38
Figura 3.2 Esfuerzos de Von Mises en puntos de interés.....	39
Figura 3.3 Factor de seguridad en puntos de interés .....	40
Figura 3.4 Chumacera colocada en la estructura del sistema.....	40

Figura 3.5 Base lateral derecha externa con el respectivo recorrido.....	41
Figura 3.6 Bases rectangulares que irán empernadas en la enfundadora .....	41
Figura 3.7 Eje principal del sistema .....	42
Figura 3.8 Sistema mecánico final .....	43
Figura 3.9 Diagrama eléctrico .....	44
Figura 3.10 Propiedades del eje del servomotor .....	46
Figura 3.11 Configuración general del Servomotor.....	47
Figura 3.12 Configuración red IP del driver .....	48
Figura 3.13 Señal que viene desde el PLC 5/03.....	49
Figura 3.14 Bloque MSG para ignorar errores de inicialización .....	49
Figura 3.15 Resultado final del diseño e implementado en sitio. ....	50

## Índice de tablas

Tabla 2.1 Criterios y matriz de decisión .....	17
Tabla 2.2 Requerimientos del sistema.....	19
Tabla 2.3 Factor de servicio de la aplicación .....	20
Tabla 2.4 Tabla de potencia (kW) – Cadenas BS/DIN .....	22
Tabla 2.5 Variables para determinar tipo de cadena y piñones de la parte interna .....	23
Tabla 2.6 Tabla de potencia (kW) – Cadenas BS/DIN .....	24
Tabla 2.7 Variables para determinar tipo de cadena y piñones de la parte externa .....	25
Tabla 2.8 Propiedades del acero inoxidable.....	27
Tabla 2.9 Parámetros del servomotor.....	28
Tabla 2.10 Kinetix MPL (400V-class) Servomotores.....	29
Tabla 2.11 Descripción general de los cables de alimentación y retroalimentación Kinetix.....	30
Tabla 2.12 Descripciones del cable de alimentación/freno.....	30
Tabla 2.13 Lista de componentes a usar en el control y fuerza del agrupador de enfundado.....	33
Tabla 3.1 Cotización de componentes usados en el proyecto .....	51
Tabla A1 Parámetros de operación del enfundado.....	60
Tabla A2 Factor K.....	60

**ÍNDICE DE PLANOS**

PLANO 1 Base externa 1

PLANO 2 Base externa 2

PLANO 3 Base interna 1

PLANO 4 Base interna 2

PLANO 5 Paleta

PLANO 6 Eje mayor

PLANO 7 Eje menor

PLANO 8 Sistema 1 de cadena y piñones

PLANO 9 Sistema 2 de cadena y piñones

PLANO 10 Sistema agrupador

# Capítulo 1

## **1.1 Introducción**

La demanda actual de productos alimenticios es cada vez mayor en cuanto a calidad y presentación, por lo que tener un protocolo en cada etapa del proceso es conveniente para una mejor organización y así a futuro poder mejorar alguna sección en la línea de producción. La mejora viene con los avances de la tecnología como lo es la automatización y dada su versatilidad permite optimizar los procesos en la fabricación, reducir riesgos de error, reducir costos y ofrecer productos con mayor calidad al cliente [1].

Al tratar el tema de avances tecnológicos no sólo implica cambios en los equipos, sino también en la adquisición de nuevos materiales y en la generación de nuevos ingredientes. Todos estos factores influyen en que el consumidor sea más exigente en cuanto a las características y métodos de elaboración de los productos alimenticios que consume. Sin embargo, cumplir con cada uno de los requisitos implica un gran desafío para los profesionales del sector alimenticio [2].

Dadas estas innovaciones, el proyecto actual pretende diseñar un sistema de transmisión que mejore el sistema del agrupador de la línea de bollería, abarcando como tal una tecnología más actual que se adapte a las necesidades de la industria panificadora.

## **1.2 Descripción del problema**

La línea de bollería de la planta panificadora del cliente consta de varias etapas de proceso, tales como amasado, moldeo, fermentación, horneado, enfriamiento y enfundado. Todas estas etapas tienen tiempos determinados que dependen del producto que se elabore. En la etapa de enfundado es donde se producen más paros debido a fallos mecánicos en las enfundadoras UBE, las cuales cuentan con estructuras que no han sido mejoradas con la tecnología actual. Una parte importante de dicha máquina es el agrupador de pan, cuya función principal es colocar un grupo de panes encima de otro para obtener el producto final. No obstante, esta estructura implica costos recurrentes en el reemplazo de las piezas mecánicas involucradas, lo que hace que el técnico

encargado deba intervenir en la máquina constantemente. Además, cuando se presenta algún problema de calibración en el agrupador y en el sistema de aire, el tiempo necesario para que el operador o técnico lo solucione es alto, lo que afecta la calidad del pan y provoca paros en la producción de la línea.

Es por esto por lo que el presente proyecto se enfoca en el diseño de un sistema mecatrónico que permita incrementar la operatividad de la línea. Además, el equipo se asegurará de contar con un sistema actualizado y listo para automatizar más funciones en el futuro, lo que reducirá el desgaste de las piezas mecánicas.

### **1.3 Justificación del problema**

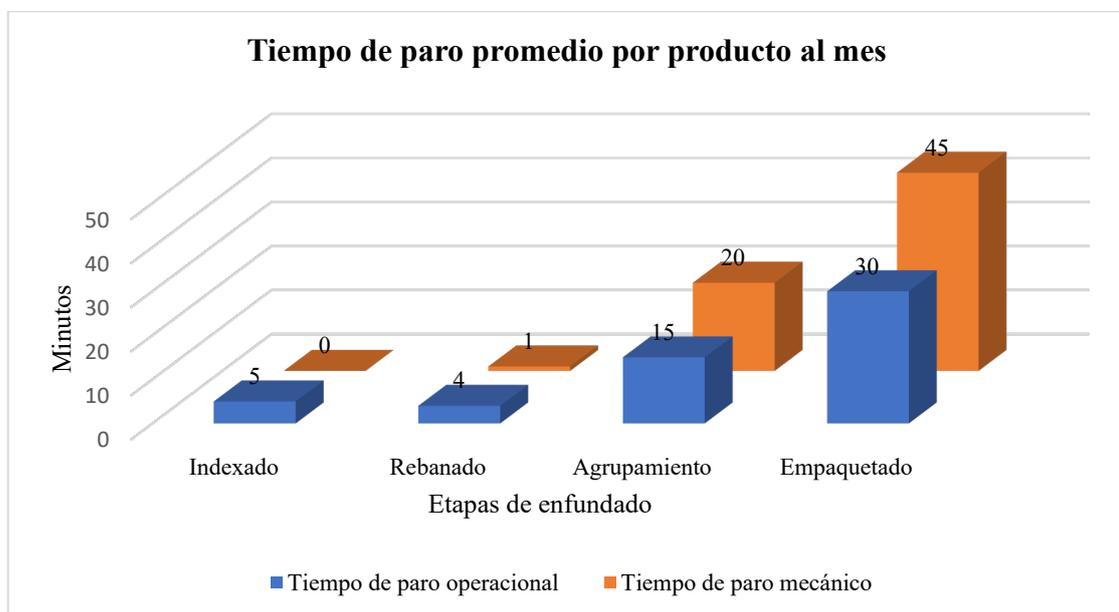
El sistema de enfundado del cliente consta de las etapas de indexado, rebanado, agrupamiento y empaquetado. Pero utiliza tecnología antigua, y los cambios necesarios para adaptar la máquina a un producto específico los realiza el operador de turno. Tras revisar datos en colaboración con los supervisores y técnicos, se ha observado que, en cada cambio de producto, es necesario colocar el producto en perchas debido a la demora que experimenta el operador al calibrar los diversos sistemas de la máquina. La sección de agrupamiento representa el segundo sistema con más complicaciones tal y como se observa en la Figura 1.1 que es de 35 minutos si juntamos lo operacional con lo mecánico. Esto se debe a la necesidad de verificar si, al momento de agrupar el pan, se realiza en el tiempo adecuado o si termina dañando el producto debido a colisiones con el sistema mecánico.

Adicionalmente, se han identificado desgastes en las piezas del sistema agrupador debido al constante movimiento, ya que la producción sólo se detiene durante ciertos intervalos de horas. En la Figura 1.2 se puede observar cómo los brazos del agrupador se desplazan a lo largo de los ejes del sistema, mostrando los elementos más recurrentes en el agrupador, que son los rodamientos de bolas lo que nos da un indicio de que el cambio que realiza el técnico de estos

elementos es constante. En todo lo que va del presente año se han registrado varios daños en la estructura del sistema. Como se observa en la Figura 1.3 las piezas se encuentran sueltas debido a que la soldadura ya no soportó los movimientos del agrupador. Del mismo modo, se evidencian los estados deteriorados de los rodamientos en la Figura 1.4 los cuales ya no están en condiciones óptimas.

**Figura 1.1**

*Tiempos de paro promedio en enfundado de bollería*



**Figura 1.2**

*Brazos del empujador*



**Figura 1.3**

*Pieza desoldada del empujador*

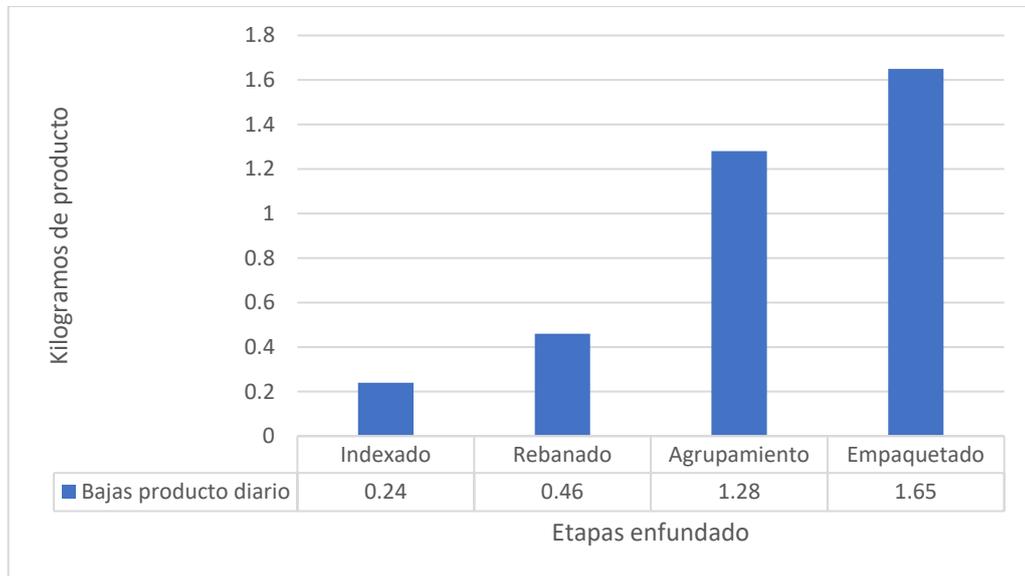
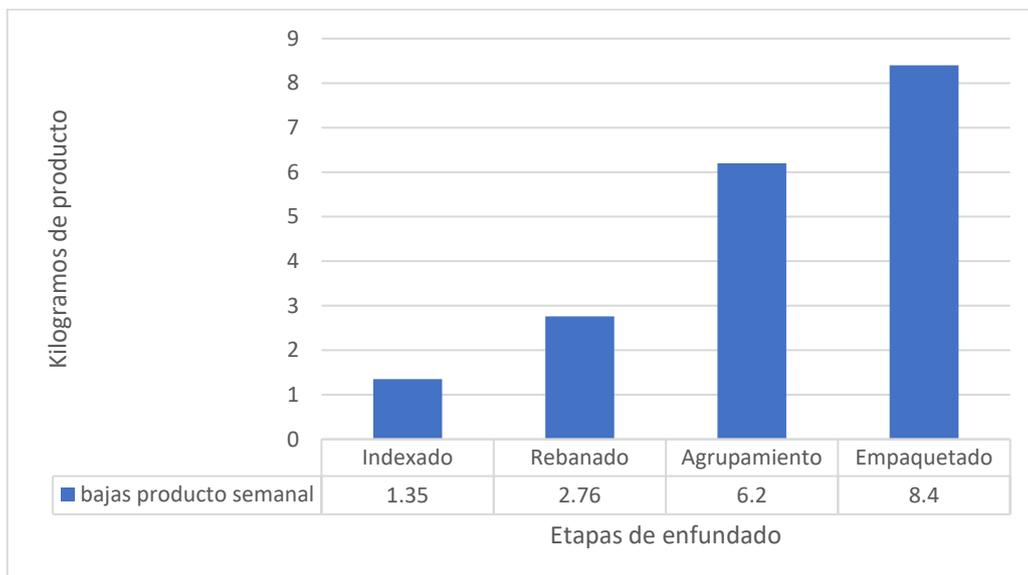


**Figura 1.4**

*Rodamientos del sujetador lateral del empujador*



Como se mencionó anteriormente, el operador se enfrenta constantemente a problemas de calibración en la enfundadora, particularmente en el sistema agrupador. Esto afecta significativamente la producción, como se refleja en la en la Figura 1.5 donde se muestra un promedio de 1.28 kg de pan perdido por producto debido al agrupador en un día de producción. La Figura 1.6 detalla un promedio de 6.2 kg por semana considerando todos los productos que pasan por la enfundadora. Este problema está arraigado a la complejidad del sistema actual, el cual incluye reguladores de aire que empujan y agrupan el pan. El acceso a estos reguladores es restringido debido a una guarda de seguridad, lo que interrumpe el proceso, como se observa en la Figura 1.7, este ajuste debe ser realizado por el técnico de mantenimiento, quien calibra el aire comprimido para evitar daños en el producto y garantizar la continuidad de la producción.

**Figura 1.5***Baja de productos en un día de producción***Figura 1.6***Bajas de producto en una semana de producción*

**Figura 1.7***Guarda y reguladores de aire del agrupador*

La operatividad eficiente en la producción es fundamental para garantizar una entrega efectiva del producto y evitar pérdidas, lo que resulta crucial para aumentar ganancias y reducir los indicadores asociados con fallas operativas y mecánicas. La implementación de un nuevo sistema agrupador nos permitirá optimizar los tiempos de ajuste o cambio de producto, lo cual es crucial en el proceso productivo. Además, mejorará el mantenimiento general al reducir costos en repuestos, lo que a su vez impulsará una actualización tecnológica en el equipo en cuestión.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Desarrollar un sistema mecatrónico de agrupación de pan para incrementar la operatividad del enfundado en una línea de bollería mediante sistemas flexibles de transmisión, mejorando el mantenimiento y calibración del equipo obteniendo mejor presentación del producto.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Adaptar la posición y velocidad de rotación de un servomotor en el sistema agrupador acorde al tipo de producto que se esté realizando.

- Diseñar un sistema de transmisión de cadenas que reemplace el sistema de aire y piezas mecánicas para facilitar el transporte del producto.
- Desarrollar una base en la programación para que el resto del equipo pueda ser migrado a un controlador más actualizado y de esta manera mejorar los sistemas de este.
- Crear los planos técnicos que reflejen las modificaciones del equipo.

## **1.5 Marco teórico**

La industria alimentaria ha tenido cambios significativos con el pasar de los años, por lo que el adquirir equipos especializados son necesarios para cubrir la demanda de productos que se generan actualmente. Dado esto, la maquinaria para la industria alimentaria se ha dividido en 3 grupos: Embotellado y envasado de productos líquidos o pastosos, envase y embalaje, y la industria agroalimentaria (relacionada con el sector de la panificación) [3].

La industria panadera y pastelera en Ecuador ha crecido siendo una de las principales oportunidades dentro del sector agroalimentario, con ventas anuales por \$306 millones y generando 20000 plazas de trabajo, según explica Pedro Miranda, representante de la Federación Nacional de Panificadores (Fenepan) [4].

En la industria panificadora hay varias líneas de producción, como una de bollería, que presenta varias etapas como: indexado, rebanado, agrupado y empaquetado, siendo la sección del agrupador de especial interés.

### ***1.5.1 Proceso de enfundado***

En una línea de producción la agrupadora va junto con la envolvedora, donde esta sección recibe el producto terminado proveniente de procesos anteriores. Una vez que el producto llega a través de la banda transportadora es detectado por sensores que permiten una agrupación o formación en fila con un patrón estandarizado, para luego ser envueltas automáticamente por

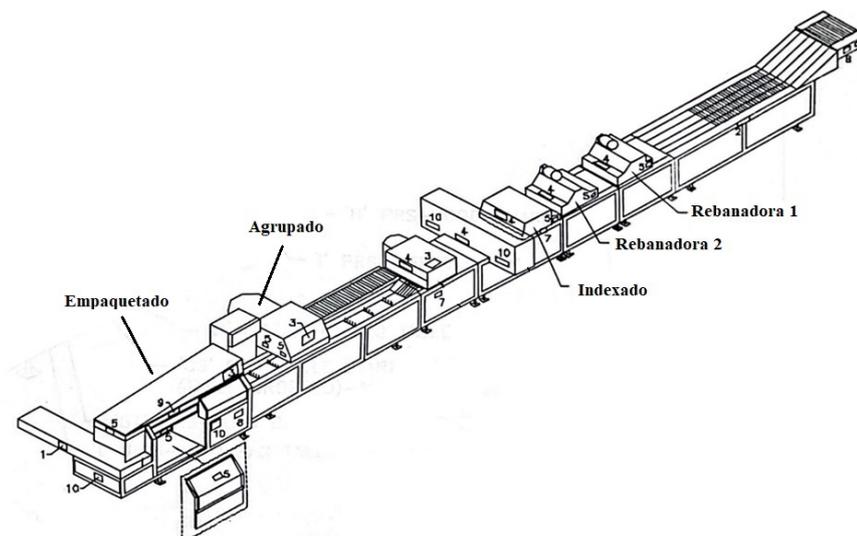
medio de barras motorizadas, y finalmente son llevados a un stock final para paletizado y transporte (distribuido a diferentes sucursales) [5].

La panificadora de nuestro cliente opera con diversas líneas de producción, siendo las de bollería y moldes las más eficientes dentro de la planta. La línea de bollería consta de varias etapas de proceso, que inician con el amasado del producto, seguido por la división, indexado, fermentación, horneado, enfriado y enfundado, manteniendo un orden secuencial para asegurar la entrega del producto en óptimas condiciones al cliente [6]. El enfoque del proyecto se centra en la etapa de enfundado. Aquí, se encuentran otras fases donde el operador desempeña un papel crucial al interactuar con el equipo, tal como se muestra en la Figura 1.8. El producto, enfriado y transportado por bandas hacia nuestra máquina enfundadora, pasa por el proceso de indexado. En esta etapa, es responsabilidad del operador asegurarse de que el pan llegue de manera adecuada a este sistema, ya que es aquí donde se separa el producto en dos secciones. Por ejemplo, en el caso del pan de hamburguesa, el producto se divide en 4 panes a un lado y 4 panes al otro.

Después, se procede a la etapa de rebanado, donde los dos grupos de pan se cortan a la mitad mediante cuchillas. Luego, el pan es transportado por una banda hacia el agrupador, donde se empuja encima del otro grupo de pan, preparándolo para su envío a la última etapa de empaquetado. Aquí, se coloca en la funda mediante unos dedos empujadores.

**Figura 1.8**

*Etapas de enfundado en la línea de bollería [7]*

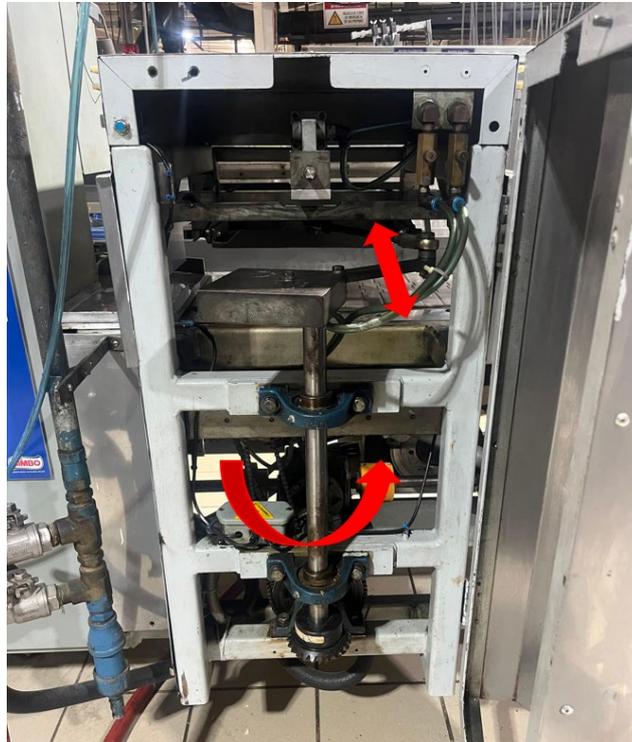


### **1.5.2 Funcionamiento del proceso de agrupamiento**

El agrupador opera en conjunto con los demás sistemas del equipo, impulsado por un único motor de corriente alterna (AC) que mueve todos los sistemas. La transmisión se realiza a través de cajas reductoras. Las revoluciones del motor varían según la cantidad de paquetes por minuto que el operador desee producir. El agrupador de pan cuenta con dos características principales: un movimiento cíclico de entrada y salida, generado por un mecanismo similar al de una biela manivela como se ve en la Figura 1.9, y el empuje, realizado por un cilindro neumático activado mediante una electroválvula.

**Figura 1.9**

*Movimiento del agrupador*



La velocidad del agrupador es variable gracias a un codificador de posición que envía información en grados a una entrada del PLC. A través de la programación, se activa o desactiva la electroválvula de empuje. A medida que se requieren más paquetes por minuto, el codificador cambia de posición más rápidamente, lo que acelera la activación o desactivación de la electroválvula para ajustarse a la solicitud del operador. Además, este sistema cuenta con una medida de seguridad: si se levanta la protección que resguarda al agrupador, se detiene todo el proceso de enfundado. Esto permite acceder al regulador de aire comprimido del cilindro neumático para ajustar ligeramente la velocidad del cilindro y así evitar que el producto se vea afectado.

### **1.5.3 Estado del arte**

La industria “Morrison Container Handling solutions” brinda ciertas alternativas para la agrupación de productos en el sector alimentario, por ejemplo, un sistema para girar y agrupar sus

contenedores donde su respectivo diseño presenta dos conjuntos de tornillos, la primera parte gira los productos a 90° preparándolo para la sección de agrupamiento misma que cuenta con 3 configuraciones correspondientes (2, 3 o 4 contenedores) tal como se muestra en la Figura 1.10, con esta solución el sistema se vuelve más eficiente, reduciendo tiempo de espera. Otro sistema es el diseño de un solo carril con una sección de división al final, su funcionalidad consiste en que los vasos apilados salen del tornillo agrupándose en 4 paquetes adaptándose a las necesidades del cliente [8] [9].

**Figura 1.10**

*Giro y agrupación de contenedores*



Otra alternativa por parte de ULMA, emplea maquinaria automatizada que consiste en que el producto terminado se alinea en 2 líneas paralelas para luego ser distribuido por los distintos canales del agrupador. Dada la flexibilidad del sistema se logra un agrupado de forma precisa y cuidadosa al transportador de alimentación, sincronizando la velocidad de la misma. En esta sección el producto es transportado hasta la envasadora horizontal Artic, durante la trayectoria se tiene una celda empacadora que cuenta con un manipulador servoaccionado la cual puede ser modificable a partir de la configuración del HMI. Cabe destacar que la maquina presenta manipulador simple o doble en función de la velocidad de salida requerida por el sistema [10].

El proceso de envasado va de la mano con el agrupado cuando se trata de maquinarias completas, tal como lo presenta la maquinaria de embalaje Cankey (Figura 1.11), donde el producto se transporta a través de una banda transportadora y se ajusta el ritmo según la velocidad de colocación del pan, luego la boquilla del envasado se ajusta al ancho del film y altura del pan donde el producto pasa para finalmente completar el envasado. En cuanto a la velocidad de la banda emplean un control de velocidad de frecuencia variable, sistema de control por microcomputadora, controlador de temperatura inteligente con pantalla digital PID, sistema de seguimiento bidireccional de detección fotoeléctrica, sistema de visualización en pantalla pequeña y sistema de protección de circuito [11].

**Figura 1.11**

*Maquinaria de embalaje Cankey*



## **2. Capítulo 2**

## 2.1 Metodología.

En esta sección se describió cada paso para el proceso de diseño, comenzando por la selección de la alternativa de solución y terminando en el diagrama de bloques de control del sistema de agrupado.

### 2.1.1 Selección de alternativas

En base a lo descrito en el capítulo anterior, teniendo en cuenta la problemática y soluciones existentes en el mercado, se formularon 3 alternativas:

**Alternativa A.** Adquirir un componente empleado en la maquinaria ULMA, que es un manipulador servoaccionado para poder acoplarlo al sistema y que este se encargue de realizar la función del agrupador.

**Alternativa B.** Diseño mecatrónico de un agrupador mediante cadenas impulsadas por servomotor de giro completo que permita desplazar y agrupar los productos terminados.

**Alternativa C.** Rediseñar las guardas que tienen en el equipo de regulación de aire del agrupador y capacitar a los operadores para que puedan operar los sistemas y así mejorar la productividad y no dañar los productos.

Tomando en cuenta las alternativas de solución, se plantearon criterios de selección para evaluar cada una de ellas. A continuación, se detallan los criterios que se utilizaron para el proceso de selección:

**Costo.** Costo factible que se adapte con la obtención e implementación de la solución.

**Mantenimiento.** Dado que es una maquinaria del sector alimenticio, se requería que sea de fácil acceso, reemplazo y limpieza.

**Durabilidad.** Dado el sector alimenticio, se requería que tenga resistencia a su entorno industrial y que absorba las vibraciones de las piezas mecánicas.

**Implementación.** Capacidad de acoplarse con los demás componentes de la maquinaria.

**Autonomía.** Capacidad para ajustarse de manera óptima a los diferentes tipos de producción.

**Efectividad.** Evalúa la capacidad de lograr los objetivos con los precios más razonables en la medida de lo posible.

Una vez determinado el peso para cada criterio, se procedió a evaluar cada alternativa en una matriz de decisión, tal como se observa en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1**

*Criterios y matriz de decisión*

Criterio	Peso	Alternativas					
		Solución A		Solución B		Solución C	
		Nota/10	Valor/10	Nota/10	Valor/10	Nota/10	Valor/10
<b>Efectividad</b>	30%	8	2.40	7	2.10	5	1.50
<b>Implementación</b>	25%	6	1.50	6	1.50	7	1.75
<b>Durabilidad</b>	20%	6	1.20	7	1.40	6	1.20
<b>Precio</b>	10%	2	0.20	6	0.60	4	0.40
<b>Mantenimiento</b>	10%	4	0.40	5	0.50	4	0.40
<b>Autonomía</b>	5%	5	0.25	6	0.30	2	0.10
<b>Total</b>	100%		5.75		6.40		5.35

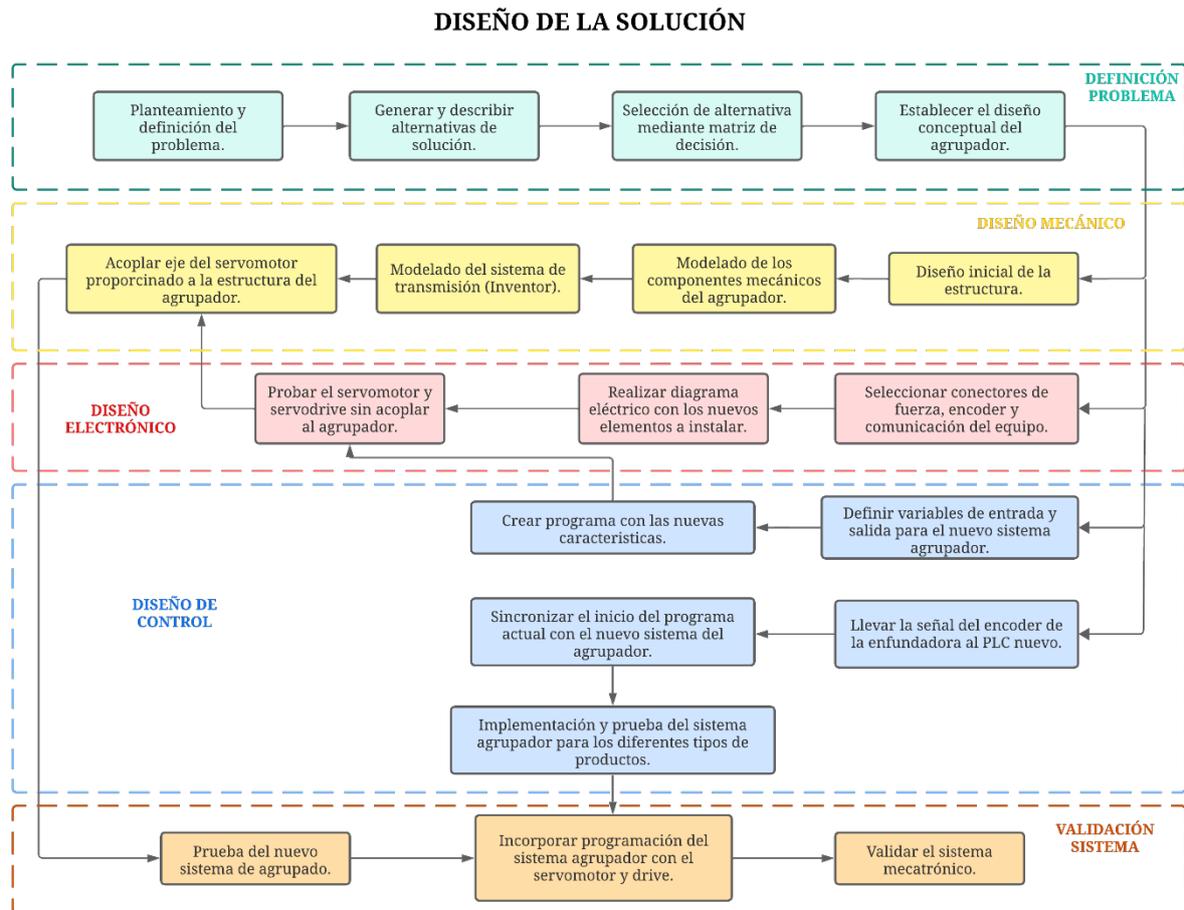
## 2.2 Proceso de diseño

Después de completar la matriz de decisión, se seleccionó la mejor solución para implementarla. Con esto, se inició el diseño del proceso correspondiente para llevar a cabo el proyecto, manteniendo en mente los requerimientos proporcionados por el cliente, los cuales representan los objetivos a cumplir en cada etapa del diseño. La metodología a seguir se visualiza

en la Figura 2.1, la cual muestra el diagrama de flujo del proceso necesario para un diseño preciso del agrupador.

**Figura 2.1**

*Metodología de diseño*



Para realizar la solución seleccionada, cada fase del diseño se realizará simultáneamente, porque cada fase se puede realizar de forma independiente y los diferentes componentes electrónicos vienen de importación y demoran cierto tiempo en llegar al cliente. Cuando las etapas de diseño mecánico, electrónico y de control se encuentren desarrolladas y probadas se procede a integrar todas estas fases para llegar a la validación del diseño mecatrónico del agrupador de pan para el área de enfundado de bollería y en un caso realizar algún cambio o mejora del sistema.

En la parte del diseño mecánico, se observa que se realizará un nuevo diseño del sistema mecánico completamente nuevo. Esto se hará teniendo en cuenta los materiales con los cuales dispone el cliente en bodega. Para la etapa de control, se utilizará un controlador independiente para el movimiento del sistema agrupador, el cual se comunicará con el controlador actual del área de enfundado para poder así sincronizar todas las fases, tal y como se explica en el diagrama de flujo.

### 2.3 Requerimientos del diseño

Para los requerimientos del diseño, el cliente determinó ciertos parámetros para tener en cuenta en la solución del sistema, tal como se muestra en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2**

*Requerimientos del sistema*

<b>Maniobrabilidad</b>	Las nuevas piezas no deben interferir con las operaciones continuas a esta.
<b>Funcionalidad</b>	Las mejoras deben adaptarse a la máquina y tener mayor eficiencia en el agrupador, reduciendo paradas mecánicas.
<b>Tiempo de operación</b>	24h/día por 5 días.

### 2.4 Diseño mecánico

#### 2.4.1 Cálculo para sistema de transmisión

Parte de esta sección se utilizó como referencia la metodología del manual de SKF [12] para establecer el tipo de cadena y las proporciones de las ruedas dentadas, aplicando las fórmulas propuestas en el mismo.

Se partieron con dimensiones tentativas acorde al espacio a ocupar en la sección del agrupador. Entre el eje acoplado al motor y al eje conductor se propuso una distancia entre centros de 130 mm y entre el eje conductor y el eje conducido una distancia de 370 mm.

Siguiendo el catálogo se establece un factor de servicio de acuerdo con el tipo de trabajo (transportar carga ligera) y motor (motor eléctrico), entonces con estas especificaciones tenemos un factor de servicio ( $F_a$ ) igual a 1, tal como se muestra en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3**

*Factor de servicio de la aplicación*

Load classification	Driven equipment	Type of prime mover		
		Electric motor or turbine	Internal combustion engine > 6 cylinders, with flywheel, or hydraulic coupling	Internal combustion engine <6 cylinders, with NO flywheel, or hydraulic coupling
Uniform load (U)	Agitators; centrifugal blowers; generators, centrifugal pumps; Uniformly loaded belt conveyor, lightly loaded chain conveyors	1.0	1.0	1.2
Moderate shock (M)	Centrifugal compressors, kilns and dryers; conveyors and elevators with intermittent, medium load fluctuations; Dryers; Pulverisers; machinery with moderate pulsating loads (machine tools paper, textiles)	1.3	1.2	1.4
Heavy shock (H)	Press, construction and mining equipment; reciprocating machinery, (compressors, reciprocating feeders, oil well rigs) rubber mixers, roll lines, machinery with heavy shock or reversing torques	1.5	1.4	1.7 – 1.9

*Nota.* Tabla 1 extraída del manual de SKF [12, p. 12] para establecer el factor de servicio que debe aplicarse.

La potencia del servomotor se encuentra detallada en la Tabla 2.9. Lo siguiente fue calcular la potencia de diseño (DP):

$$DP = P(F_a) \quad (2.1)$$

$$DP = (1.9 \text{ kW})(1) = 1.9 \text{ kW}$$

En el siguiente paso se estableció la relación de transmisión del sistema (i), que es la velocidad del conductor sobre la velocidad del conducido, como se mantendrá la misma velocidad a la entrada y salida, las revoluciones son las mismas:

$$i = n_1/n_2 \quad (2.2)$$

$$i = 200/200 = 1$$

El valor de 200 rpm se lo obtuvo al triplicar la velocidad angular máxima que realiza la máquina de enfundado, con el fin de que el diseño se adapte a los componentes brindados. De acuerdo con el formato mostrado en la Tabla A1 del Apéndice A, el valor es de 64 rpm. Se lo dejó en 200 rpm para tener un valor a la decena superior.

$$rpm \text{ actual} = rpm (3) \quad (2.3)$$

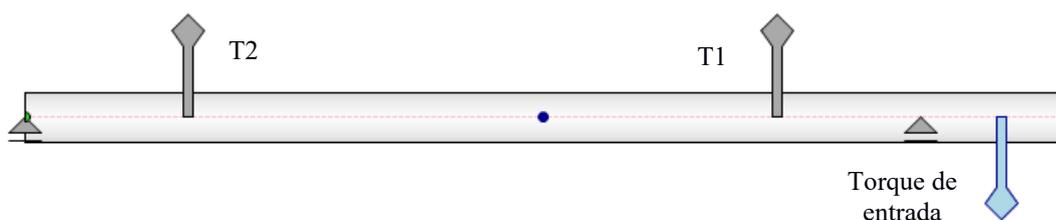
$$rpm \text{ actual} = (64)(3) = 192 \text{ rpm}$$

Con la relación de transmisión se pudo elegir una combinación tentativa de piñones con el número de dientes más adecuados, en este caso se eligió de 17 dientes para ambos piñones, ya que la relación de transmisión es 1; cantidad de dientes que posee el componente brindado por el cliente, además es más rentable debido al espacio y costo que estos presentan.

El diseño se basa en 2 cadenas para acoplar una pieza que empuje el producto final. Como se aprecia en la Figura 2.2 se tiene un par de entrada (cuyo cálculo se mostrará más adelante) que es recibido por los 2 piñones; al tener ambas las mismas dimensiones, además de mantener la misma velocidad angular, el torque recibido se distribuye en estos componentes por igual, entonces la potencia para cada uno es como se muestra en la ecuación 2.4. Bajo este contexto, la potencia de 1.9 kW se distribuye a 0.95 kW para cada cadena.

**Figura 2.2**

*Eje conductor con sus respectivos par de torsión*



$$P_{entrada} = (T_{entrada})\omega$$

$$P_{1,2} = (T_{entrada}/2)w$$

$$P_{1,2} = \frac{1}{2}P_{entrada} \quad (2.4)$$

El siguiente paso fue determinar el tipo de cadena. El manual cuenta con diferentes tablas, por lo que se estableció una que tenga un valor mayor o igual a la potencia de diseño de la siguiente manera: se tiene una velocidad de 200 rpm, por lo que observando la Tabla 2.4 nos posicionamos en dicho valor, después nos ubicamos según el número de dientes del piñón conductor (17 dientes).

**Tabla 2.4**

*Tabla de potencia (kW) – Cadenas BS/DIN*

No of teeth Z	Pitch circle Dia. mm	rpm of small (faster) sprocket $z_1$															
		25	50	75	100	200	400	500	750	1 000	1 200	1 440	1 800	2 000	2 250	2 400	3 000
13	53,07	0.16	0.24	0.43	0.59	0.82	1.55	2.18	3.24	4.06	4.14	4.56	5.14	6.59	5.33	3.34	2.39
15	61,08	0.18	0.28	0.45	0.62	0.96	1.80	2.32	3.44	4.31	4.84	5.28	6.38	6.99	5.64	4.14	2.97
17	69,12	0.22	0.32	0.56	0.76	1.10	2.06	2.84	4.22	5.28	5.53	5.94	7.69	8.59	6.93	5.00	3.57
19	77,16	0.25	0.36	0.65	0.89	1.25	2.33	3.31	4.91	6.15	6.24	6.91	9.01	9.99	8.06	5.90	4.22
21	85,21	0.27	0.39	0.71	0.98	1.39	2.60	3.64	5.41	6.77	6.96	7.60	10.04	10.99	8.87	6.86	4.91
23	93,27	0.30	0.43	0.78	1.06	1.52	2.85	3.97	5.89	7.37	7.67	8.29	11.07	11.99	9.68	7.86	5.62
25	101,33	0.32	0.48	0.84	1.15	1.67	3.12	4.30	6.39	7.99	8.39	8.98	12.10	12.99	10.49	8.93	6.38
Lubrication method		TYPE 1					TYPE 2					TYPE 3					

*Nota.* Tabla 9b extraída del manual SKF [12, p.18] para establecer la potencia transferida, perteneciente al modelo 08B-1; (paso de 12.70 mm) potencias nominales en kW (estándar europeo).

El último paso es calcular la longitud de la cadena como un múltiplo de los pasos (C), el valor de C recomendado es entre 30 y 80 pasos.

$$C = \frac{\text{Distancia entre centros}}{\text{Paso de la cadena}} \quad (2.5)$$

$$C = \frac{370}{12.70} = 29.13 \approx 30$$

Los valores de  $Z_{1,2}$  corresponden al número de dientes y el de K corresponde a la resta del número de dientes de la rueda dentada conductora con la conducida y su valor se lo ubica en la

Tabla A2 del Apéndice A para obtener su valor correspondiente, sin embargo, al tener la misma cantidad de dientes el factor K es cero.

$$L = \left( \frac{Z_2 + Z_1}{2} \right) + 2C + \frac{2K}{C} \quad (2.6)$$

$$L = \left( \frac{17 + 17}{2} \right) + 2(30) + \frac{2(0)}{30}$$

$$L = 77 \text{ pitches}$$

$$L = 77(12.70) = 977.90 \text{ mm}$$

Se eligió un número entero superior para C, tomando en cuenta conectores. Así, la distancia entre centros corregida es de 381 mm y la longitud de la cadena es de 77 pasos; los valores seleccionados como el power rating (Pr) y el diámetro de paso ( $D_p$ ) del piñón de la Tabla 2.4 se encuentran resumidos en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5**

*Variables para determinar tipo de cadena y piñones de la parte interna*

<b>Nomenclatura</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
DP	0.95	kW
i	1:1	
CC	381	mm
Pr	1.1	kW
L	977.90	mm
N. dientes	17T-17T	
$D_p$	69.12	mm

Para la sección entre el eje acoplado al motor y el eje conductor se siguieron los mismos pasos descritos anteriormente.

**Tabla 2.6**

*Tabla de potencia (kW) – Cadenas BS/DIN*

Z	Pitch circle Dia.	rpm of small (faster) sprocket z <sub>1</sub>															
		25	50	75	100	200	300	400	500	750	1 000	1 200	1 440	1 800	2 000	2 200	2 400
13	79,60	0,39	0,64	1,09	1,18	2,21	3,57	4,59	5,04	8,12	10,27	10,48	8,31	5,73	4,86	4,21	3,70
15	91,62	0,42	0,74	1,15	1,37	2,59	3,79	4,87	5,88	8,61	10,90	12,96	10,30	7,08	6,03	5,22	4,58
17	103,67	0,52	0,84	1,42	1,58	2,97	4,66	5,98	6,74	10,58	13,38	14,94	12,54	8,58	7,27	6,30	5,53
19	115,74	0,60	0,96	1,65	1,78	3,34	5,42	6,95	7,62	12,20	15,56	16,74	14,76	10,12	8,58	7,49	6,53
21	127,82	0,66	1,07	1,81	1,98	3,73	5,96	7,65	8,45	13,52	17,12	18,72	17,08	11,76	9,96	8,67	7,62
23	139,90	0,72	1,17	1,98	2,18	4,10	6,50	8,34	9,35	14,76	18,67	20,60	19,65	13,47	11,51	9,87	8,76
25	151,99	0,77	1,29	2,14	2,39	4,49	7,05	9,04	10,22	15,99	20,23	22,58	22,23	15,27	12,96	11,25	9,87
Lubrication method		TYPE 1				TYPE 2				TYPE 3							

*Nota.* Tabla 9d extraída del manual SKF [12, p.19] para establecer la potencia transferida, perteneciente al modelo 12B-1; (paso de 19.05 mm) potencias nominales en kW (estándar europeo).

Valor C:

$$C = \frac{130}{12.70} = 10.24 \approx 11$$

$$C_{\text{corregido}} = 12.70(11) = 139.70 \text{ mm}$$

Longitud de la cadena:

$$L = \left( \frac{17 + 17}{2} \right) + 2(11) + \frac{2(0)}{11}$$

$$L = 39 \text{ pitches}$$

$$L = 39(12.70) = 495.30 \text{ mm}$$

**Tabla 2.7***Variables para determinar tipo de cadena y piñones de la parte externa*

Nomenclatura	Valor	Unidades
DP	1.9	kW
i	1:1	
CC	139.70	mm
Pr	2.97	kW
L	495.30	mm
N. dientes	17T – 17T	
D <sub>p</sub>	103.67	mm

**2.4.2 Cálculo para el diseño de eje**

Para determinar el par que produce cada piñón se emplea la siguiente fórmula:

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (2.7)$$

$$T = \frac{0.95 \times 1000 \text{ Nm/s}}{200 \text{ rpm} (2\pi/60 \text{ seg})} = 45.36 \text{ Nm}$$

Las cadenas presentan un lado tenso y el otro flojo, dado que el lado flojo no ejerce fuerza, la fuerza de flexión es igual a la tensión que produce el lado tenso [13]. Por lo tanto la fuerza en la cadena es:

$$F_c = T / (D/2) \quad (2.8)$$

$$F_c = \frac{45.36 \text{ Nm}}{\left(\frac{69.12 \times 10^{-3} \text{ m}}{2}\right)} = 1312.5 \text{ N}$$

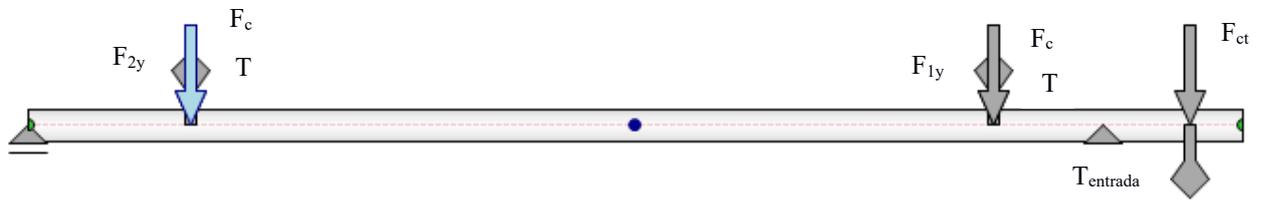
La fuerza ejercida por las paletas y el pan sobre la cadena es de 16 N, valor que se distribuye a cado lado dada su geometría.

$$F_{1y} = F_{2y} = F_y/2 \tag{2.9}$$

$$F_{1y} = F_{2y} = 8 \text{ N}$$

**Figura 2.3**

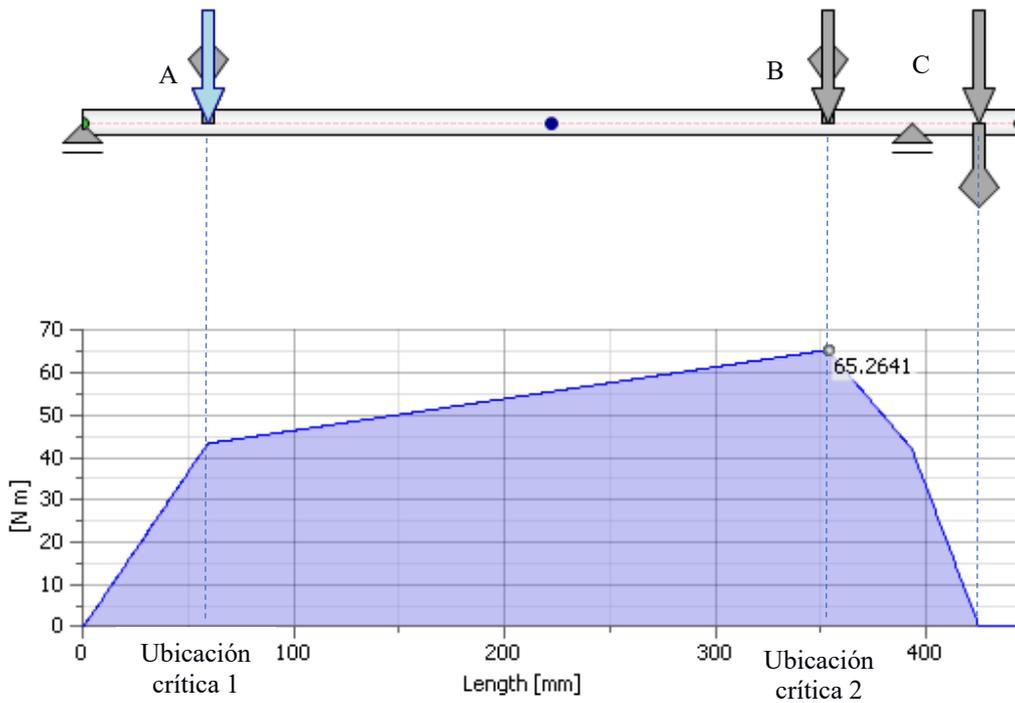
*Eje con sus respectivas reacciones*

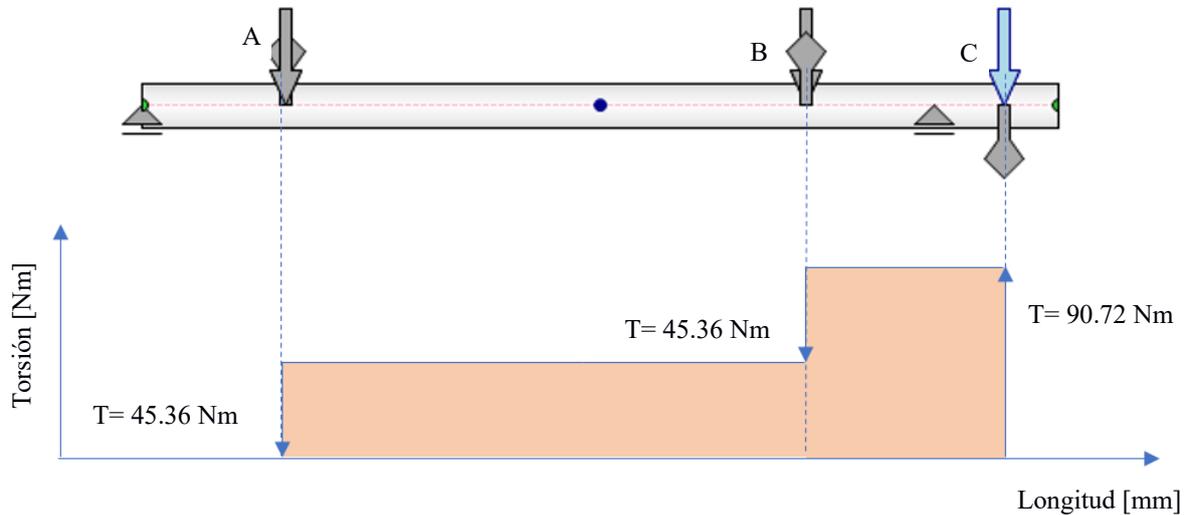


En la Figura 2.3 se muestra las reacciones de par, tensión y fuerza ejercida sobre los piñones.

**Figura 2.4**

*Momento flector total*



**Figura 2.5***Diagrama de torsión en el eje*

La Figura 2.4 se la obtuvo mediante el ayudante de Inventor y la Figura 2.5 se la realizó manualmente con los valores previamente calculados. Ambas gráficas son de ayuda para obtener el diámetro mínimo del eje.

Para ambos puntos críticos se tiene una chaveta, por tanto, existe un factor de concentrador de esfuerzos de  $K_t=2$ , además se tiene el máximo momento flector en el punto crítico 2.

El material a utilizar es el presentado en la Tabla 2.8. Asimismo, se usó un factor de seguridad de  $N=2$ .

**Tabla 2.8***Propiedades del acero inoxidable*

$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$S_e$ (MPa)
215	505	252.5

Mott nos indica que el caso más común de diseño es que tanto el torque como los momentos son relativamente constantes en el tiempo, en ese caso se puede usar una ecuación de versión simplificada, la cual es compatible con la norma ANSI B106. 1M-1985 [14].

$$D = \left[ \frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t M}{S_e}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y}\right)^2} \right]^{1/3} \quad (2.10)$$

$$D = \left[ \frac{32(2)}{\pi} \sqrt{\left(\frac{(2)(65.26 \text{ Nm})}{252.5 \text{ MPa}}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{45.36 \text{ Nm}}{215 \text{ MPa}}\right)^2} \right]^{1/3}$$

$$D = 0.0223 \text{ m} = 22.3 \text{ mm}$$

## 2.5 Diseño eléctrico

El servomotor fue brindado por el cliente y como tal se trabajó bajo estas condiciones. Los detalles del mismo se muestran en la Tabla 2.9.

**Tabla 2.9**

*Parámetros del servomotor*

Nombre	Servo motor
Marca	Allen-Bradley
Modelo	MPL-B420P-SJ72AA
Velocidad (rpm)	5000
Torque (N.m)	4.74
Potencia (kW)	1.9

**Tabla 2.10***Kinetix MPL (400V-class) Servomotores*

Kinetix MPL (400V-class) Servo Motors	Power Cable Cat. No.	IP Rating
MPL-B15xxx-xx7xAA, MPL-B2xxx-xx7xAA	2090-CPxM7DF-16AAxx (standard, non-flex) 2090-CPxM7DF-16AFxx (continuous-flex)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IP50 min, without shaft seal (standard)</li> <li>• IP66 with shaft seal <sup>(1)</sup></li> </ul>
MPL-B3xxx-xx7xAA		
MPL-B4xxx-xx7xAA		
MPL-B45xxx-xx7xAA		
MPL-B520K-xx7xAA		
MPL-B540D-xx7xAA, MPL-B540K-xx7xAA, MPL-B560F-xx7xAA	2090-CPxM7DF-14AAxx (standard, non-flex) 2090-CPxM7DF-14AFxx (continuous-flex)	
MPL-B580F-xx7xAA, MPL-B580J-xx7xAA	2090-CPxM7DF-10AAxx (standard, non-flex) 2090-CPxM7DF-10AFxx (continuous-flex)	
MPL-B640F-xx7xAA <sup>(2)</sup>	2090-CPxM7DF-08AAxx (standard, non-flex) 2090-CPxM7DF-08AFxx (continuous-flex)	
MPL-B660F-xx7xAA, MPL-B680D-xx7xAA, <sup>(2)</sup> MPL-B960B-xx7xAA, MPL-B980B-xx7xAA <sup>(2)</sup>		
MPL-B680F-xx7xAA, MPL-B680H-xx7xAA, MPL-B860D-xx7xAA, MPL-B880C-xx7xAA, MPL-B880D-xx7xAA	2090-CPBM7DF-06AAxx (standard, non-flex)	
MPL-B960C-xx7xAA, MPL-B960D-xx7xAA, MPL-B980C-xx7xAA, MPL-B980D-xx7xAA	2090-CPBM7DF-04AAxx (standard, non-flex)	
MPL-B980E-xx7xAA	2090-CPBM7DF-02AAxx (standard, non-flex)	

*Nota.* Tabla Kinetix MPL (400V-class) Servo Motors extraída del manual Kinetix Rotary and Linear Motion Cable Specifications [15, p.30] sirve para verificar la alimentación del servomotor que en este caso es de 440 V.

En el manual del fabricante encontramos que el servomotor que nos proporciona el cliente para trabajar funciona con una entrada trifásica de 440 voltios, lo cual va acorde al voltaje de alimentación del tablero de la enfundadora de bollería.

**Tabla 2.11**

*Descripción general de los cables de alimentación y retroalimentación Kinetix*

Standard Cable Cat. No.	Description	Cable Configuration		Connector Type
		Motor End	Drive End	
2090-CFBM7DF-CEAAxx	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drive-end flying-leads (DF)</li> <li>• High-resolution or resolver applications (CE)</li> </ul>			SpeedTec DIN (M7)
2090-CFBM7DD-CEAAxx	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drive-end 15-pin connector (DD)</li> <li>• High-resolution or resolver applications (CE)</li> </ul>			
2090-XXNFMF-Sxx	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drive-end flying-leads</li> <li>• High-resolution or incremental applications</li> </ul>			Threaded DIN (M4)
2090-CFBM4E2-CATR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drive-end bayonet (E2), transition (TR) cable <sup>(1)</sup></li> <li>• Motor-end threaded DIN (M4)</li> <li>• All feedback types (CA)</li> </ul>			

*Nota.* Tabla 2.11 extraída del manual Kinetix Rotary and Linear Motion Cable Specifications [15, p.22] sirve para ver el cable de retroalimentación compatible con el servomotor MPL.

**Tabla 2.12**

*Descripciones del cable de alimentación/freno*

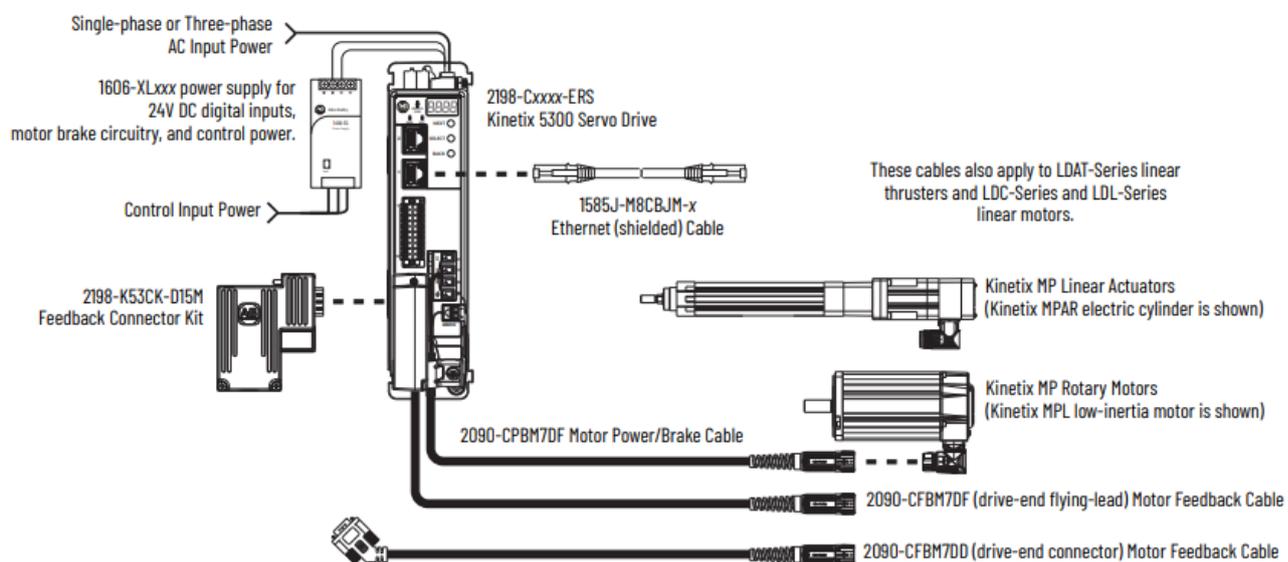
Standard Cable Cat. No.	Description	Cable Configuration		Connector Type
		Motor End	Drive End	
2090-CPBM7DF-xxAAxx	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drive-end flying-leads (DF)</li> <li>• Power/brake wires (PB)</li> </ul>			SpeedTec DIN (M7)
2090-CPWM7DF-xxAAxx	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drive-end flying-leads (DF)</li> <li>• Power wires only (PW)</li> </ul>			
2090-XXNPMF-xxSxx	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drive-end flying-leads</li> <li>• Power/brake wires</li> </ul>			Threaded DIN (M4)
2090-CPBM4E2-xxTR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drive-end bayonet (E2), transition (TR) cable <sup>(1)</sup></li> <li>• Motor-end threaded DIN (M4)</li> <li>• Power/brake wires (PB)</li> </ul>			
2090-CPWM4E2-xxTR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drive-end bayonet (E2), transition (TR) cable <sup>(1)</sup></li> <li>• Motor-end threaded DIN (M4)</li> <li>• Power wires only (PW)</li> </ul>			

*Nota.* Tabla 2.12 extraída del manual Kinetix Rotary and Linear Motion Cable Specifications [15, p.22] sirve para ver el cable de alimentación compatible con el servomotor MPL.

Los cables de fuerza y enconder del servomotor se seleccionaron en base al driver que nos proporciona el cliente, en la Tabla 2.11 y Tabla 2.12 se escogieron los cables con conectores SpeedTec DIN (M7) para poder conectar al driver de una manera más rápida y eficiente.

Figura 2.6

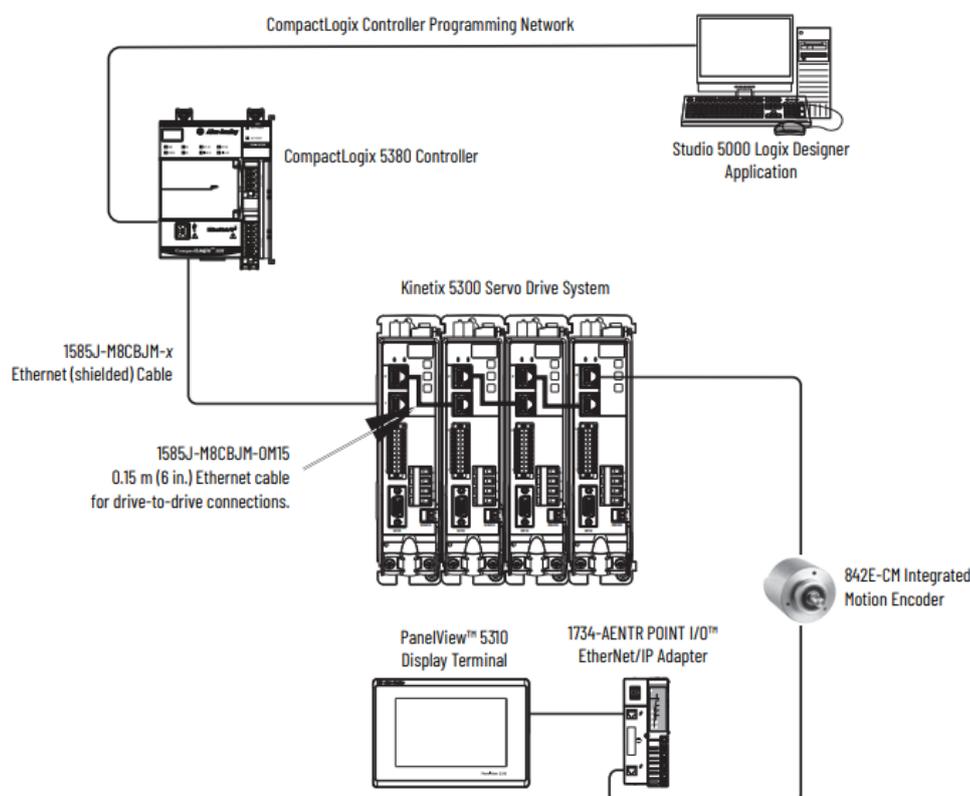
Variador Kinetix 5300 con motores rotativos y actuadores lineales Kinetix MP [16]



Nota. Figura 2.6 extraída del manual Servovariadores Ethernet/IP de un solo eje Kinetix 5300 [16, p.22] muestra el esquema de conexión del driver con el controlador.

Figura 2.7

## Comunicación del Kinetix con Controlador CompactLogix



*Nota.* Figura 2.7 extraída del manual Servovariadores Ethernet/IP de un solo eje Kinetix 5300 [16, p.23] muestra el esquema de conexión del driver con el controlador y el Software.

El manual indica una conexión para el Servodrive Kinetix 5300 y el Servomotor MPL-B420P-SJ72AA como se muestra en la Figura 2.6, en este esquema se observan los componentes como una fuente de 24VDC. En la Figura 2.7 encontramos el orden de comunicación con el PLC además de un PanelView y un Adaptador Ethernet/IP, pero estos dos últimos componentes mencionados no serán usados para el proyecto del agrupador ya que se pueden aprovechar los puertos ethernet del PLC para así poder establecer una comunicación con el Servodrive.

El cliente brinda los componentes para el sistema agrupador, estos se detallan en la Tabla 2.13, se observan dos controladores, esto debido a que el equipo actual no cuenta con un controlador que acepte el uso de servomotores.

Tabla 2.13

*Lista de componentes a usar en el control y fuerza del agrupador de enfundado*

Imagen	Componente	Función
	PLC SLC 5/03	PLC actual de la enfundadora, cuenta con la programación de todas las etapas de enfundado.
	PLC Compact GuardLogix 5380	Integrar la programación para controlar el Servodrive que moverá al servomotor.
	Servodrive Kinetix 350	Controlar el movimiento del servomotor.
	Servomotor MPL-B420P-SJ72AA	Se encargará de transmitir el movimiento al mecanismo de agrupado de la enfundadora.
	Fuente de 24VDC	Alimentación para el control de los componentes del equipo.

## **2.6 Sistema de Control**

El control de la máquina actual funciona en base a la receta que el operador selecciona en pantalla, los paquetes por minuto que se quiere enfundar y el encoder del sistema, con esto se ajustará el nuevo sistema agrupador para que de esta forma el nuevo sistema pueda funcionar en paralelo al equipo actual para proporcionar un buen ajuste del equipo.

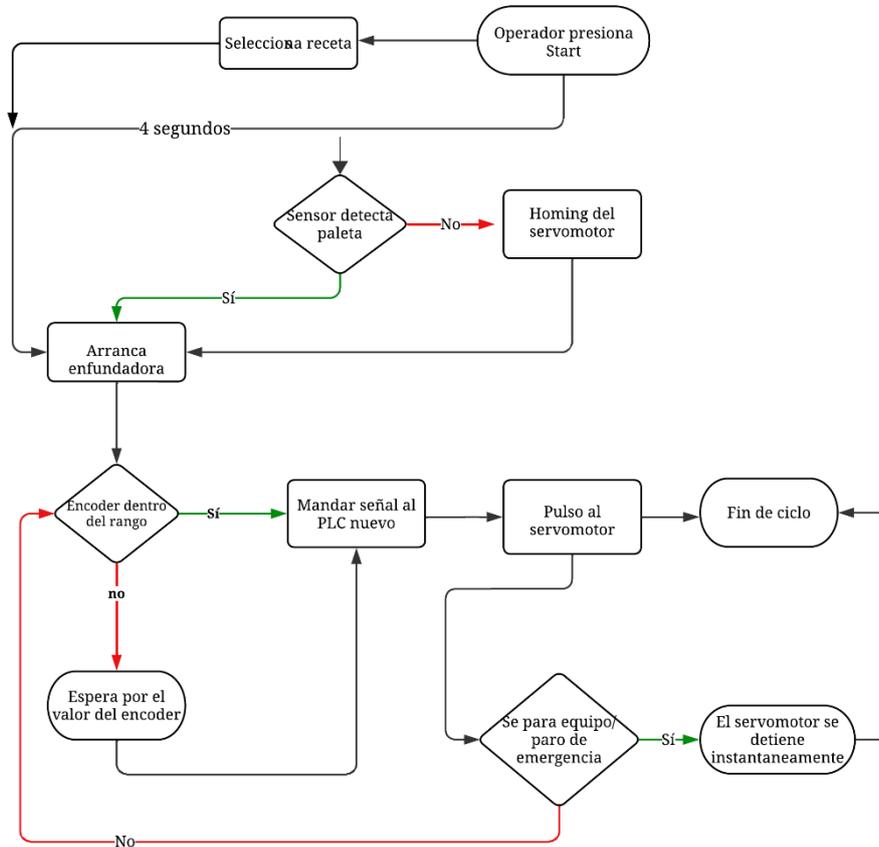
### ***2.6.1 Proceso de control del agrupador***

Para este proyecto, se necesita que el agrupador funcione como un sistema que funciona aparte del sistema actual pero que se encuentre sincronizado con el inicio y parado de la máquina enfundadora. Como ya se ha dicho el sistema actual funciona a la par que el motor de la enfundadora arranca y las velocidades de este son dadas por los paquetes por minuto que el operador necesita trabajar en base a la receta que se selecciona en pantalla.

Como el nuevo sistema de agrupado contará con un PLC independiente se necesitará enviar una señal de inicio proveniente del controlador que se encuentra en la enfundadora, y para sincronizar el proceso se hará uso de un sensor inductivo para así poder encerrar las paletas del agrupador y de esta manera no dañar el pan que se encuentra en la enfundadora de bollería. Dado que la programación que se encuentra en el controlador actual no soporta el uso de servomotores se necesitará enviar los datos del encoder al nuevo controlador para así poder mandar los pulsos necesarios al servomotor y de esa manera poder realizar el empuje y agrupado respectivo de pan.

**Figura 2.8**

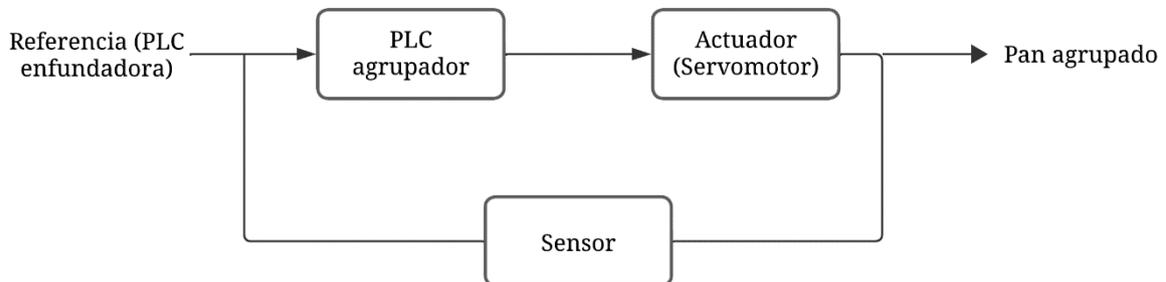
*Esquema de funcionamiento del nuevo sistema de agrupado*



En la Figura 2.8 se puede observar el nuevo funcionamiento que tendrá la máquina enfundadora junto con el nuevo sistema de agrupado, donde observamos las posibles direcciones que tendrá el sistema en caso de que el operador realice una maniobra de paro normal o paro de emergencia, en donde para estos casos el servomotor trabaja en función de los paquetes por minuto del sistema y del sensor que detectará la paleta que empuja el pan, para así poder cumplir con el ciclo y entregar un buen producto final para ser empaquetado.

**Figura 2.9**

*Diagrama de bloques de control del sistema de agrupado*



El control necesario se fundamenta en el uso de un relé de salida del PLC actual de la máquina, cuya señal provendrá del encoder del motor actual de la enfundadora. Este encoder varía según los paquetes por minuto seleccionados por el operador en la pantalla. Además, esta señal irá en paralelo con una señal de retroalimentación proporcionada por un sensor capacitivo/inductivo, indicando la posición cero de la paleta. Esta posición se definirá una vez concluida la parte de diseño mecánico.

La comunicación entre el PLC actual y el nuevo del agrupador se logrará mediante la señal de salida mencionada previamente. Esta señal se dirigirá a la entrada del Servodrive para trabajar con la programación del servomotor, determinando cuándo enviar el pulso para mover el empujador y agrupar el pan, tal como se muestra en la Figura 2.9. El sensor emitirá una señal al detectar la posición cero de las paletas. Si hay un paro brusco o el sensor no detecta la paleta, el servomotor volverá a la posición cero.

### **3. Capítulo 3**

### 3.1 Resultados y análisis

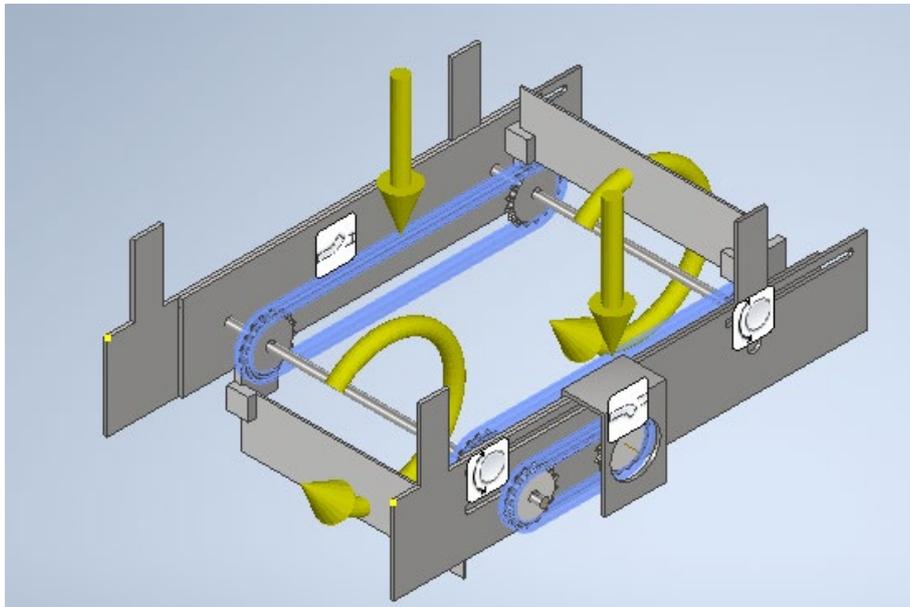
#### 3.1.1 Diseño mecánico

En esta sección validamos los ejes de transmisión del sistema del agrupador de pan, los cuales fueron diseñados en base a las cargas que va a soportar el agrupador de pan, teniendo en cuenta que el mayor peso del pan que enfunda la maquina es de 1.2 kg, el eje motriz se sujeta por medio de dos chumaceras de pared de dos huecos de  $\frac{1}{2}$  pulgada, las cuales cuentan con punto de lubricación para un mantenimiento preventivo, estas se encuentran fijadas por medio de dos pernos a la estructura Figura 3.4 que se diseñó en base al espacio actual que existe en la máquina, para que de esta forma entre fácilmente y trabaje acorde a lo que se necesita.

Previamente se llevó a cabo un análisis de elementos finitos con el software Autodesk Inventor del modelado completo del sistema.

#### Figura 3.1

*Restricciones y fuerzas aplicadas para el análisis de elementos finitos*

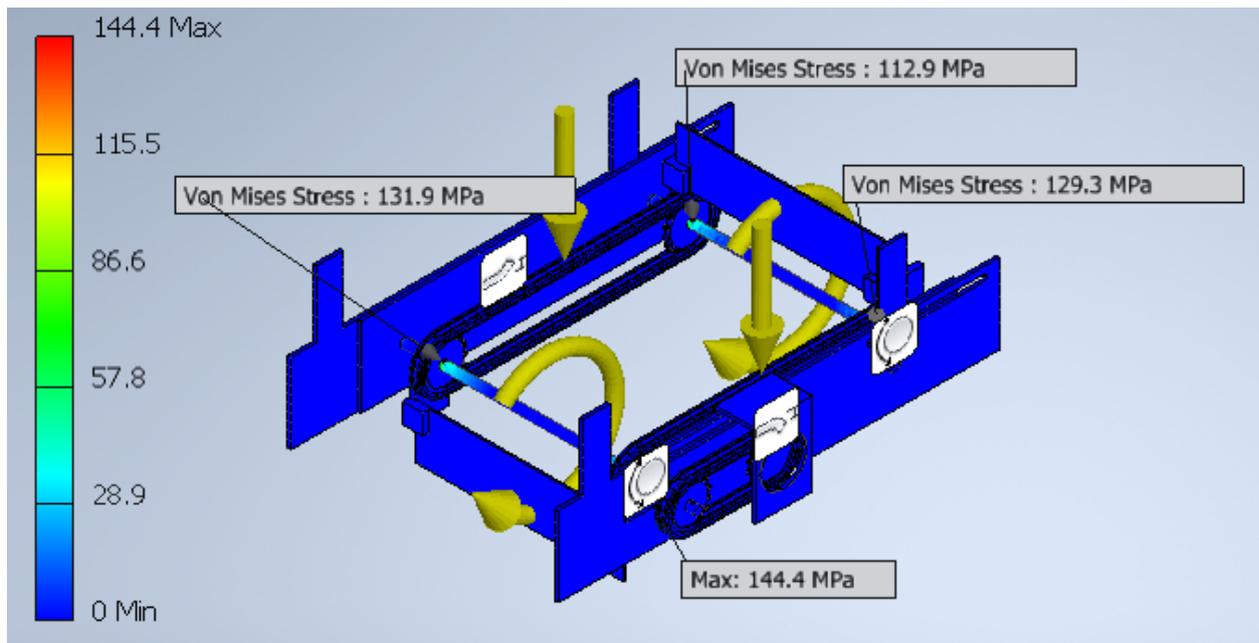


Como se observa en la Figura 3.1, se tomaron ciertas restricciones y fuerzas sobre el diseño para su respectivo análisis. Se colocaron restricciones fijas en las bases laterales externas que son de soporte para el recorrido del sistema agrupador, se colocaron restricciones tipo pin sobre los

ejes y por último se consideró el par de torsión aplicado a los ejes por el sistema de transmisión y la fuerza ejercida en las cadenas por el peso de las paletas y del pan.

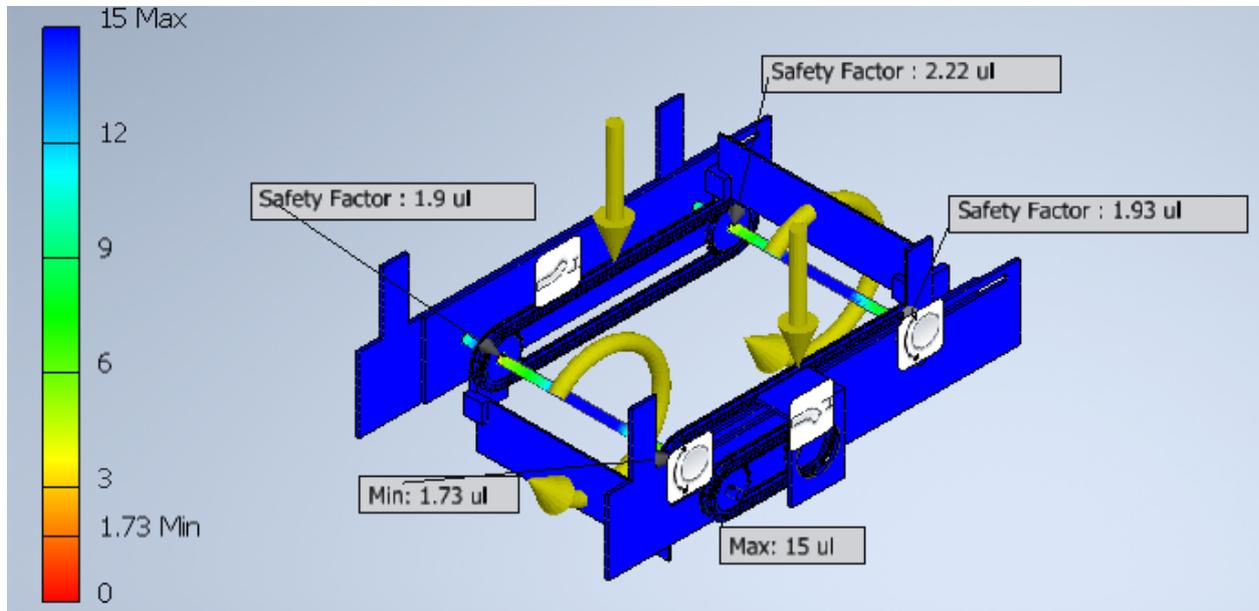
**Figura 3.2**

*Esfuerzos de Von Mises en puntos de interés*



En la Figura 3.2 se mostró el esfuerzo de Von Mises obtenido mediante simulación en Inventor, donde se tomó en cuenta cuatro puntos de interés, siendo estos en las secciones entre el eje y piñón. Con los valores obtenidos se pudo determinar si el sistema sufrirá un fallo plástico.

El valor máximo del esfuerzo de Von Mises fue de 144.4 MPa, lo cual fue menor al esfuerzo a la fluencia  $S_y$  del material mostrado en la Tabla 2.8. Bajo este criterio, se puede decir que el sistema no sufrirá fallas plásticas.

**Figura 3.3***Factor de seguridad en puntos de interés*

En la Figura 3.3 se aprecia los valores obtenidos mediante simulación del factor de seguridad en los puntos de interés y el factor de seguridad mínimo localizado en otro punto, el cual fue de 1.73. El valor mínimo obtenido es mayor a 1, lo que garantizó que el diseño sea seguro.

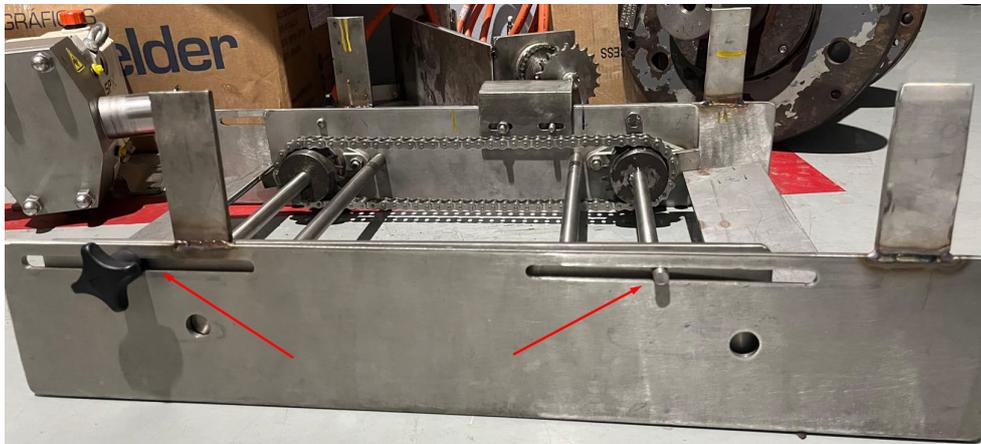
**Figura 3.4***Chumacera colocada en la estructura del sistema*

La estructura ya mencionada fue realizada en acero inoxidable, para que así este material no exponga al producto con algún elemento extraño, estas bases que forman a la estructura fueron

hechas acorde a las medidas tomadas en sitio, con un factor adicional el cual es que sea regulable, esto debido a que el operador pueda ser capaz de mover el sistema en caso de ser necesario, esto lo hicimos con unos pernos de ajuste y un recorrido en la base externa como se ve en la Figura 3.5, para que la interna donde está sujeto el agrupador puede ser maniobrable para alguna actividad necesaria del operador.

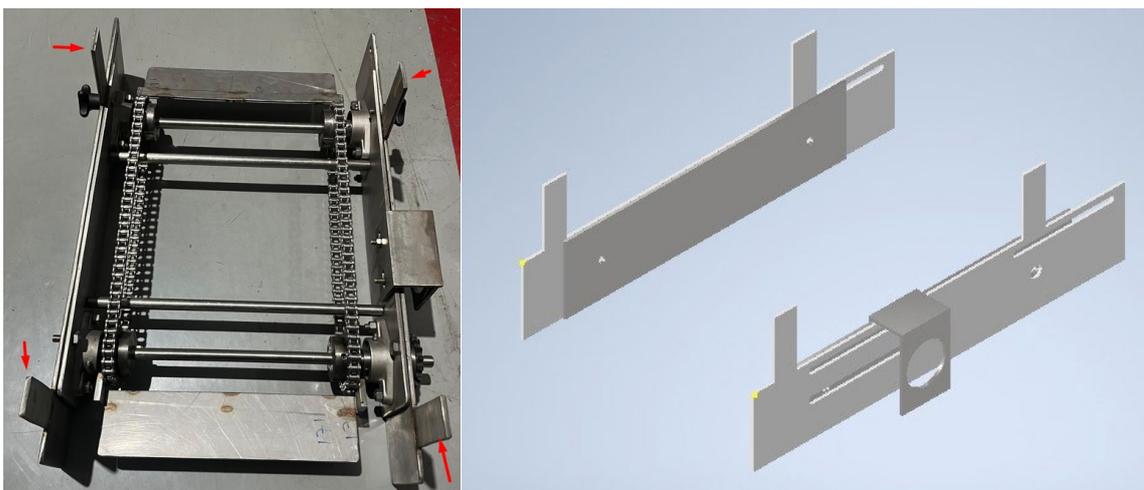
**Figura 3.5**

*Base lateral derecha externa con el respectivo recorrido*



**Figura 3.6**

*Bases rectangulares que irán empernadas en la enfundadora*



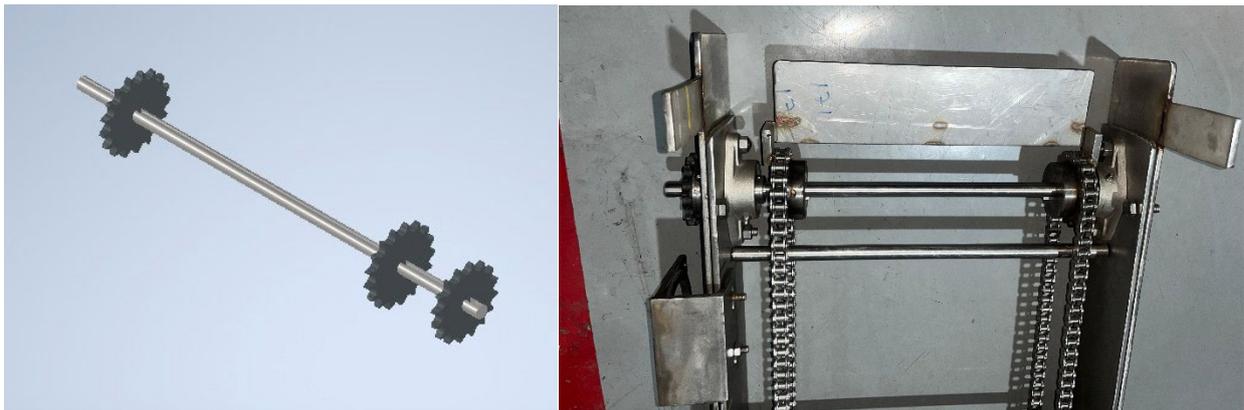
Estas bases laterales son simétricas, es decir se realizó el mismo recorrido en la base derecha para poder recorrer el sistema de agrupado, además en las bases externas se puede observar

en la Figura 3.6 que unos soportes rectangulares pequeños que están soldados para poder así empernar el sistema nuevo a la enfundadora, de esta forma aseguramos que el sistema pueda ser extraído en caso de alguna emergencia.

Para los ejes del sistema se realizaron los respectivos diseños en inventor con la ayuda de las herramientas de este, mostrado en la Figura 3.7, para de esta forma realizar el mecanizado de los mismos con un proveedor externo y de esta manera poder colocarlo en las chumaceras que se encuentran sujetas a las bases del agrupador.

**Figura 3.7**

*Eje principal del sistema*



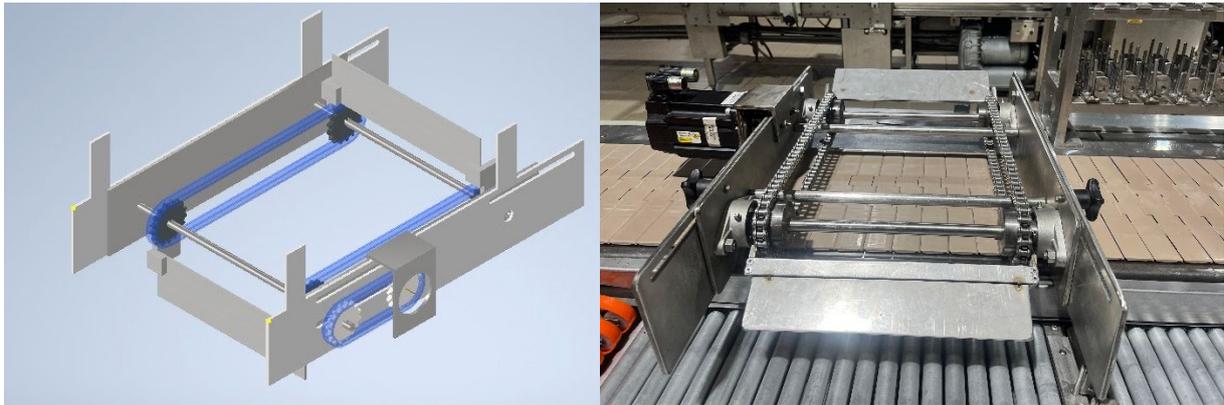
El eje principal cuenta con los tres piñones, el primero de 16 dientes que se encarga de transmitir la potencia y giro que el servomotor proporciona, de la misma manera los piñones donde irán las cadenas con las paletas que empujan el pan son de 17 dientes, asegurando de esta manera un mejor transporte del producto y mantenimiento del mismo.

Para el siguiente eje, se diseñará de manera similar al anterior, con la única diferencia de que tendrá una longitud más corta debido a que será conducido mediante una cadena de paso 40, por último tenemos en cuenta que esta cadena cuenta con unas paletas que están soldadas a un eslabón de la cadena para que por medio de las vichas de seguridad estas se mantengan sujetas y no se salgan

en el movimiento constante de la máquina de esta manera se puede ver el resultado final del sistema mecánico del agrupador de pan en la Figura 3.8.

**Figura 3.8**

*Sistema mecánico final*



### **3.1.2 Diseño eléctrico**

En la Figura 3.9 se puede observar el esquema eléctrico de las conexiones que se realizaron para alimentar los equipos que intervienen en el sistema mecatrónico, tal como el Kinetix 350 con el número de catalogo 2097-V34PR6-LM y el servomotor MPL-B420P-SJ72AA. El diagrama nos muestra los componentes nuevos que se usan para la implementación de este sistema, dado que también usa la salida del PLC que usa la enfundadora el cual es el SLC 5/03 que se encarga de correr la enfundadora.



Siguiendo el esquema eléctrico se procedió a integrar cada uno de los componentes, teniendo como sistema de comunicación el drive del servomotor. Este recibe las señales vía ethernet del PLC existente para ser sincronizadas con el nuevo PLC que contiene la programación del sistema desarrollado. Dado que se tiene un nuevo PLC como una unidad independiente, se estableció un conector de retroalimentación que funcione de forma paralela al componente previamente integrado.

### **3.1.3 Sistema de Control**

Para poder agrupar el pan de manera correcta, se necesitó sincronizar el movimiento del servomotor con el movimiento general de la enfundadora, ya que el agrupador consta con un PLC independiente y para poder establecer una comunicación se necesitó de tener en cuenta un par de salidas de la enfundadora hacia dos entradas del agrupador. Con esto podemos tener una referencia de cuando se debe enviar un pulso al servomotor para que entregue un buen producto final.

Se consideró un aspecto importante: cuando el operador ajusta la cantidad de paquetes por minuto, la velocidad del motor principal de la enfundadora se modifica. Esto implica que el pulso enviado a nuestro servomotor será más rápido. Para controlar este movimiento y sincronizar el tiempo necesario para que el pan sea colocado correctamente sobre la otra pila que llega por la banda de la enfundadora, se realizó un proceso de ajuste mediante pruebas y errores, llegando a establecer un promedio de 200 revoluciones por minuto que le enviamos al servomotor, de esta manera la paleta sigue la trayectoria y empuja el pan.

### **3.1.4 Programación**

Para la programación del sistema agrupador se necesitó primero integrar el servomotor por medio de las propiedades de Motion, en la Figura 3.10 se puede ver como se seleccionó del catálogo el servomotor MPL-B420P-SJ72AA donde automáticamente se muestra las características del mismo.

Figura 3.10

*Propiedades del eje del servomotor*

Axis Properties - Servo\_stacker

Categories:

- General
- Motor
  - Model
  - Motor Feedback
  - Scaling
  - Hookup Tests
  - Polarity
  - Autotune
- Load
  - Backlash
  - Compliance
  - Position Loop
  - Velocity Loop
  - Torque/Current Loop
  - Planner
  - Homing
  - Actions
  - Exceptions
  - Cyclic Parameters
  - Parameter List
  - Status
  - Faults & Alarms
  - Tag

**Motor Device Specification**

Data Source:

Catalog Number:

Motor Type:

Units:

**Nameplate / Datasheet - Phase to Phase parameters**

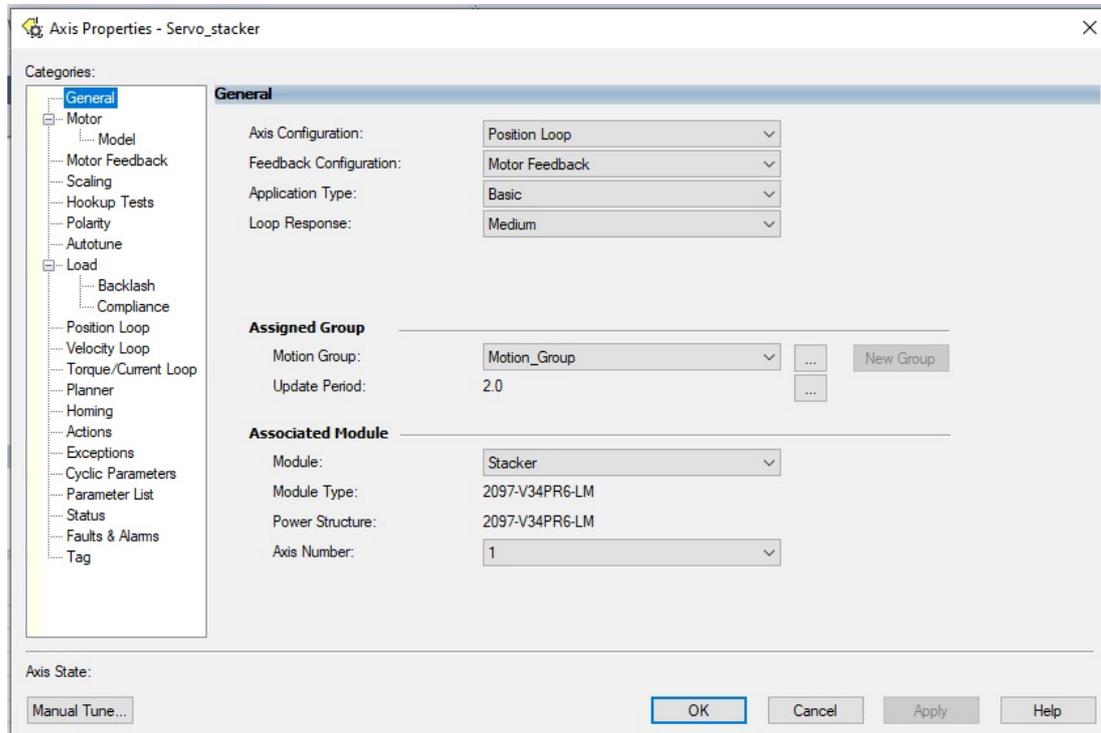
Rated Power:	<input type="text" value="1.9"/>	kW	Pole Count:	<input type="text" value="8"/>
Rated Voltage:	<input type="text" value="460.0"/>	Volts (RMS)		
Rated Speed:	<input type="text" value="5000.0"/>	RPM	Max Speed:	<input type="text" value="5000.0"/> RPM
Rated Current:	<input type="text" value="4.53"/>	Amps (RMS)	Peak Current:	<input type="text" value="15.56"/> Amps (RMS)
Rated Torque:	<input type="text" value="4.74"/>	N-m	Motor Overload Limit:	<input type="text" value="100.0"/> % Rated

Axis State:

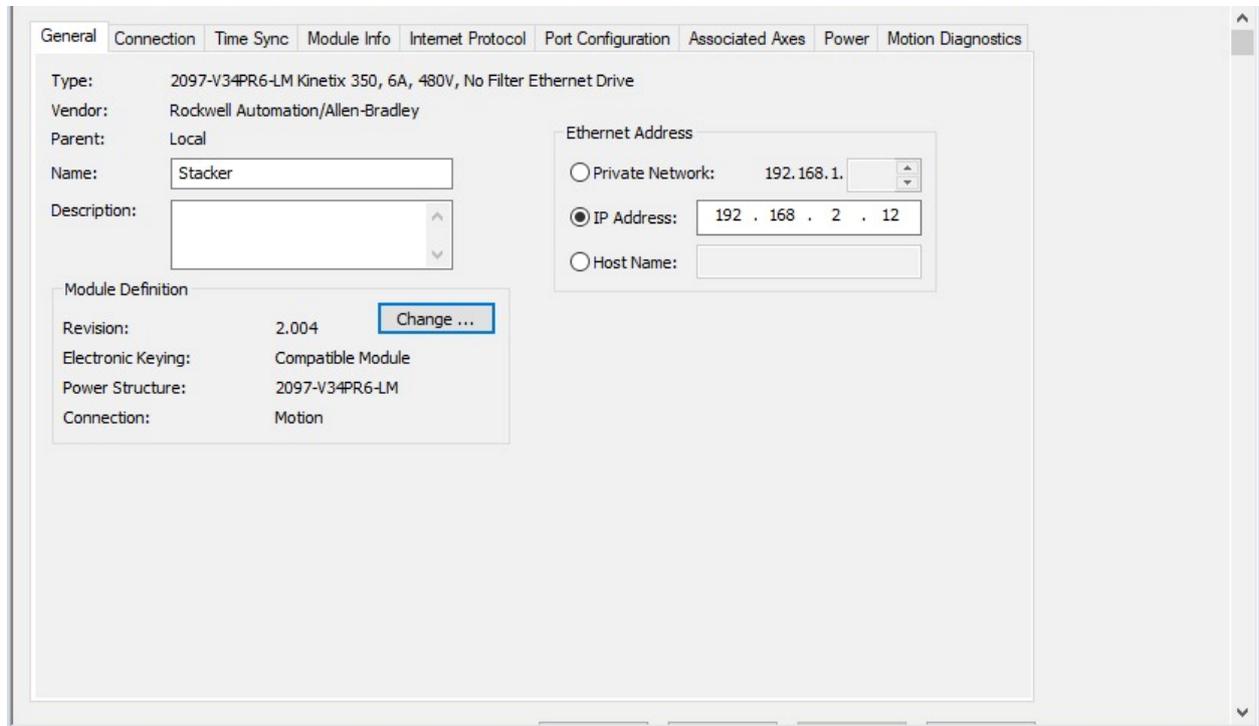
Asimismo, se integró el Servodrive el cual será el encargado de hacer funcionar el servomotor, la configuración del mismo se observa en la Figura 3.11 dichas configuraciones se hacen en base a las características y funciones que realizara nuestro servomotor en el sistema agrupador de pan.

Figura 3.11

*Configuración general del Servomotor*



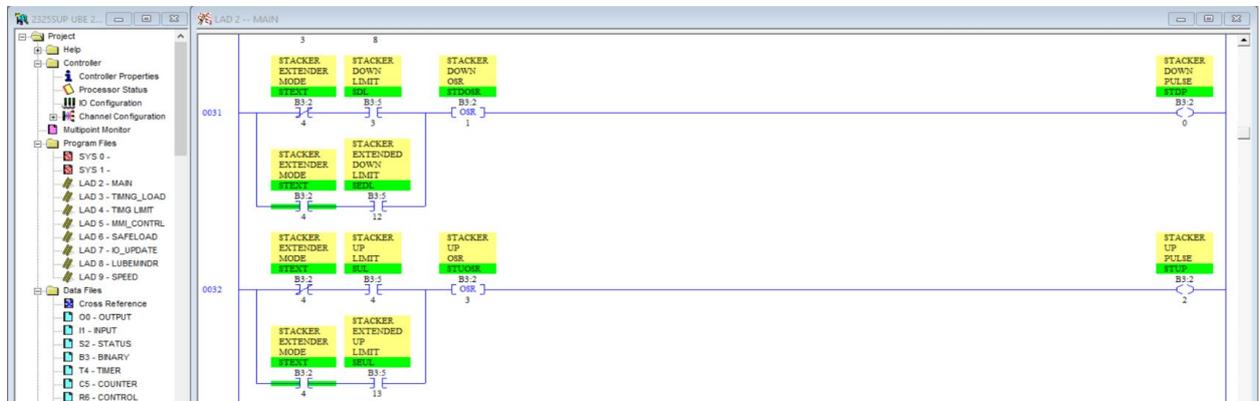
Para la comunicación del Servodrive con el PLC se configuró la IP del mismo para que así estén en la misma subred y puedan comunicarse efectivamente Figura 3.12 y realizar las acciones que se programaron en los renglones de programación.

**Figura 3.12***Configuración red IP del driver*

Para poder establecer una relación de comunicación entre la enfundadora con el nuevo sistema independiente que es el agrupador se usó una salida digital del PLC SLC 5/03 para así poder conectar hacia la entrada del Servodrive y de esta manera poder enviar un pulso al servomotor y así lograr mover el agrupador. Esta señal que envía el PLC 5/03 es mediante un encoder que nos da la posición de la enfundadora Figura 3.13 y en base a eso se escogió un valor promedio para condicionar que cuando entre a cierto rango de posición nos envíe una señal y por ende le mandamos un pulso al servomotor de esa manera se realiza un ciclo.

Figura 3.13

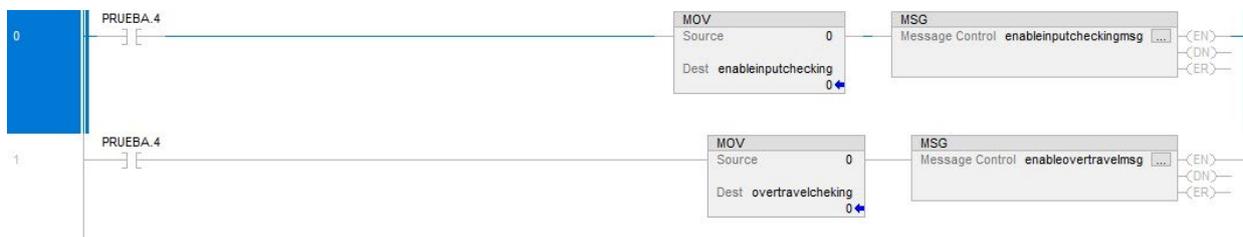
Señal que viene desde el PLC 5/03



Al momento de subir el programa al PLC y así poder correr el sistema, se nos presentó un inconveniente el cual era un error al momento de querer mover el servomotor, esto debido a que de fábrica nuestro Servodrive no venía con un módulo externo de salidas por lo que investigando en el manual se integraron regiones de programación que ignoren estos mensajes donde se usan variables internas llamadas “enableinputchecking” y el “overtravelchecking” donde por medio de un bloque MSG como se muestra en la Figura 3.14 se ignora estos errores para así poder correr el servomotor sin ningún inconveniente.

Figura 3.14

Bloque MSG para ignorar errores de inicialización

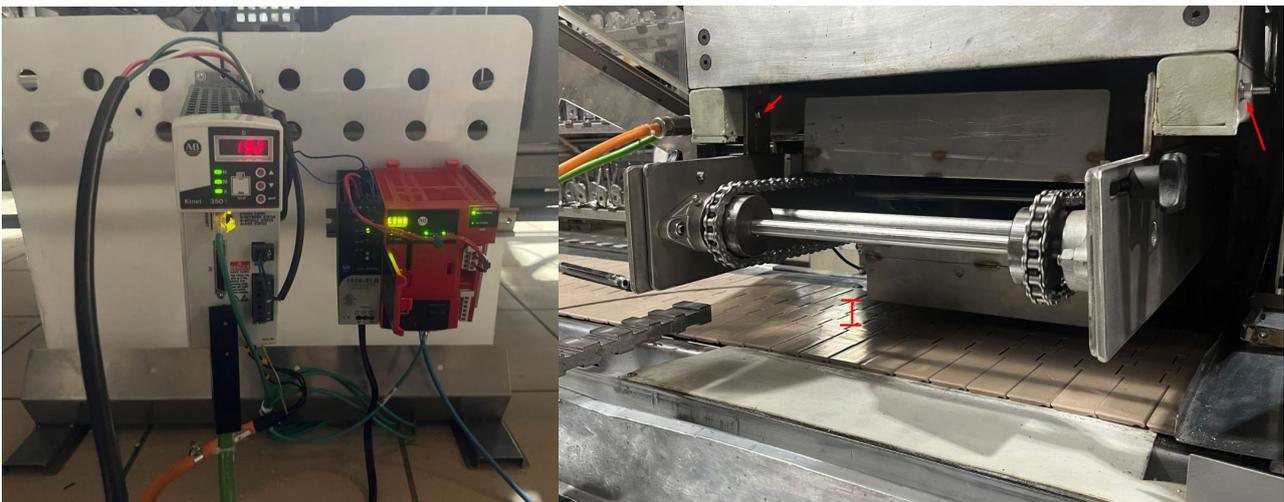


### 3.1.5 Resultados finales

El sistema agrupador de pan fue instalado y asegurado en su lugar. Es importante destacar que para llegar a este último paso fue necesario integrar todas las secciones relacionadas con el proyecto, a saber, el sistema mecánico, de control y eléctrico. En la Figura 3.15 se aprecia cómo el servomotor se encuentra conectado con los cables de fuerza y control al Servodrive. Además, el sistema mecánico queda ajustado de manera que no roza con la banda que transporta el pan hacia el agrupador.

**Figura 3.15**

*Resultado final del diseño e implementado en sitio.*



En la implementación y operación de nuestro proyecto, logramos una sincronización eficiente entre el agrupador y la enfundadora. Esto se debe a que nuestro cliente no disponía de espacio para ubicar el agrupador y realizar pruebas con el producto, lo que nos llevó a garantizar que el producto final no sufra daños. Gracias a la altura y separación de la paleta, podemos asegurar que el producto no colisionará con el agrupador, evitando pérdidas. Además, este sistema responde cada vez que se envía un pulso al servomotor, a diferencia del agrupador anterior, donde la transmisión siempre estaba en funcionamiento, provocando desgaste en las piezas.

## 3.2 Análisis

### 3.2.1 Análisis de costos

En la Tabla 3.1 se muestran los componentes que fueron usados para el diseño e implementación del proyecto, además se detallan por secciones, es decir la parte correspondiente al diseño mecánico, control y detalles adicionales.

**Tabla 3.1**

*Cotización de componentes usados en el proyecto*

Rubro	Descripción	Costo	Cantidad	Costo
		Unitario		Total
		(USD)		(USD)
	Mecanizado de eje	120	2	240
	Elaboración de estructura del agrupador	300	1	300
Parte Mecánica	Chumaceras pared dos huecos ½ pulgada	33,97	4	135,88
	Piñones de 17 dientes	25	4	100
	Piñones 16 dientes	25	2	50
	Cadena paso 40	69,12	6 metros	69,12
Parte Electrónica	PLC GuardLogix 5380	6.980,00	1	6.980,00
	Servomotor MPL-B420P- SJ72AA	1.480,00	1	1.480,00
Otros	Tablero eléctrico y materiales	500,00	1	500,00
TOTAL				9855,00

Según los valores proporcionados por el cliente, se observa que la parte del sistema correspondiente al control electrónico fue la más destacada. Esto se debe a que mejorar el sistema mediante la incorporación de un servomotor implica el uso de un controlador adecuado capaz de soportar las librerías necesarias para el funcionamiento del mencionado servomotor. Además, nuestro cliente ya contaba con los materiales almacenados en bodega. Por lo tanto, la mecanización de los ejes y la estructura se llevó a cabo con la colaboración de un externo. Por último, se dispone de una sección denominada "otros", donde se agrega un valor aproximado en caso de que sea necesario ubicar todos estos componentes en un tablero eléctrico independiente.

## 4. Capítulo 4

## 4.1 Conclusiones y recomendaciones

### 4.1.1 Conclusiones

- Se optimizó el recorrido del producto final con la implementación de un servomotor en el sistema agrupador, mismo que se sincronizó a la velocidad de la etapa anterior, es decir, presenta un deslizamiento más amplio gracias al diseño de las paletas, el cual da tiempo suficiente para el agrupamiento y desplazar el producto a la siguiente etapa.
- El sistema de transmisión de cadenas realizada en el sistema agrupador que reemplazó al sistema de aire y piezas mecánicas presenta un movimiento más suave y constante dando como resultado un transporte del producto en buenas condiciones, en comparación con el sistema anterior que causaba vibraciones. Además, cuenta con un mecanismo deslizable facilitando el montaje y mantenimiento del mismo.
- La programación realizada requirió implementar un nuevo controlador lógico programable, pero permitió un control externo del sistema agrupador manteniéndolo como una unidad independiente, efectuando una comunicación mediante las salidas del PLC existente.
- Se desarrollaron los planos técnicos correspondientes a las modificaciones del equipo, con el fin de tener una guía a futuras modificaciones, obtención de repuestos que permitan una mejor planificación sobre el mantenimiento del equipo.

#### 4.1.2 Recomendaciones

- En un principio se tenía la idea de usar correas que iban sujetas a piñones especiales y además las paletas irían sujetas a las correas mediante un material de silicón, se recomienda verificar la viabilidad de los materiales, así como los tiempos de espera.
- Se recomienda realizar un plan de mantenimiento para el sistema mecánico, como el uso de la grasa adecuada para los rodamientos de las chumaceras y la lubricación para las cadenas, para de esta manera garantizar un tiempo de vida útil en los elementos del sistema.
- En el caso de que en un futuro el cliente desee implementar más características al sistema, se recomienda un PLC de mayor gama que contenga los módulos necesarios para realizar de manera correcta tareas avanzadas y así también garantizar una migración exitosa para la enfundadora.

## Referencias

- [1] «Advanced Technology Services,» [En línea]. Available: [https://www.advancedtech.com/blog/the-increasing-use-of-technology-in-the-manufacturing-industry/..](https://www.advancedtech.com/blog/the-increasing-use-of-technology-in-the-manufacturing-industry/)
- [2] «Universidad Siglo 21,» 21 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://21.edu.ar/identidad21/que-es-la-tecnologia-de-los-alimentos-y-por-que-es-importante>.
- [3] «Alimentos,» 5 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.revistaialimentos.com/es/informacion-comercial/una-maquina-llenadora-para-cada-necesidad>.
- [4] «Revista Líderes - Negocios, Empresas, Emprendimientos Ecuador,» [En línea]. Available: <https://www.revistalideres.ec/lideres/industria-panificadora-crecimiento-ecuador-produccion.html>.
- [5] «CORMAQ,» [En línea]. Available: <http://cormaq.com.bo/industria/productos/agrupadora-envolvedora-automatica-sistema-continua-barras/>.
- [6] Universidad Tecnológica del Valle, «gestiopolis,» 7 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <https://www.gestiopolis.com/descripcion-del-sistema-de-produccion-del-pan-blanco-bimbo/>. [Último acceso: 30 Octubre 2023].
- [7] United Bakery Equipment Company, «UBE MANUAL,» Kansas, 2008.
- [8] «Morrison Container Handling Solutions,» [En línea]. Available: <https://morrisonchs.com/case-study-turn-and-group-spam-containers>.
- [9] «Morrison Container Handling Solutions,» [En línea]. Available: <https://morrisonchs.com/case-study-divide-stack-group>.

- [10] «ULMA Packaging,» [En línea]. Available: <https://www.ulmapackaging.com/en/events/virtual-showroom-bakery-biscuits-and-confectionery>.
- [11] «CANKEY Packaging Machine Manufacturer-Wrapping Machine, Filling Machine, Packaging Materials,» [En línea]. Available: <https://www.cankey-tech.com/blog/packaging-process-of-bread.html>.
- [12] SKF, SKF Transmission chains.
- [13] G. Bavaresco, «GABP Ingeniería,» [En línea]. Available: [https://gabpingenieria.weebly.com/uploads/2/0/1/6/20162823/diseo\\_de\\_ejes.pdf](https://gabpingenieria.weebly.com/uploads/2/0/1/6/20162823/diseo_de_ejes.pdf).
- [14] R. Mott, E. Vavrek y J. Wang, Machine Elements in Mechanical Design, Pearson.
- [15] Rockwell Automation, Kinetix Rotary and Linear Motion Cable Specifications, 2023.
- [16] Rockwell Automation, Servovariadores Ethernet/IP de un solo eje Kinetix 5300, 2020.

## **Apéndices**

## **Apéndice A**

**Información referente para la sección de cálculo de sistema de transmisión**

**Tabla A1**

*Parámetros de operación del enfundado*

		LÍNEA DE BOLLERÍA				CÓDIGO	
		FORMATO CONDICIONES DE OPERACIÓN: ENFUNDADO				PSM-LAC-BECG-F-266	
						VERSIÓN:	PÁG:
						01	1/1
Fecha de actualización: 31 de agosto del 2023							
Equipo	Productos	Tipo de Rebanado	Unidades por paquete	Distribución por funda	Velocidades de máquina de enfundado (±3) Hz	Paquetes por minutos totales (+/-2)	Tiempo de enfriamiento (min)
# 1 UBE # 2 UBE	Pansol Briollo 230g - 8u	No Rebanado	8	4 panes arriba y 4 panes abajo	58-60	75	30
	Supán Largo Gigante 600g - 8u	3/4 de Profundidad	8	4 panes arriba y 4 panes abajo	45	45	
	Supán Largo 320g - 8u	3/4 de Profundidad	8	4 panes arriba y 4 panes abajo	52	45	
	Bimbo Bimdog 320g - 8u	No Rebanado	8	4 panes arriba y 4 panes abajo	52-55	45	
	Bimbo Hamburguesa Mega Gigante 570g - 6u	3/4 de Profundidad	6	3 panes arriba y 3 panes abajo	38	57	
	Supán Redondo 400g - 8u	3/4 de Profundidad	8	4 panes arriba y 4 panes abajo	52-55	72	
	Supán Redondo Gigante 520g - 8u	3/4 de Profundidad	8	4 panes arriba y 4 panes abajo	45	57	
	Rey Pan Súper Hamburguesa 800g - 12u	No Rebanado	12	6 panes arriba y 6 panes abajo	44-45	38	
	Supán Redondo Jumbo 1140g - 12u	No Rebanado	12	6 panes arriba y 6 panes abajo	38	30	
	Bimbo Megabimdog Parrillero 450g - 6u	3/4 de Profundidad	6	3 panes arriba y 3 panes abajo	45	45	
	Pan hamburguesa Tahonera 230g - 4u	No Rebanado	4	2 panes arriba y 2 panes abajo	52	68	
	Bimbo artesano de mesa 240g - 4u	No Rebanado	4	2 panes arriba y 2 panes abajo	62	68	
	Bimbo Bimburger 230g - 4u	3/4 de Profundidad	4	2 panes arriba y 2 panes abajo	52	68	
	Supan Pan Dulce 260g - 6u	No Rebanado	6	3 panes arriba y 3 panes abajo	64	64	
	Hot Dog Tahonera 160g - 4u	No Rebanado	4	2 panes arriba y 2 panes abajo	52-55	84	

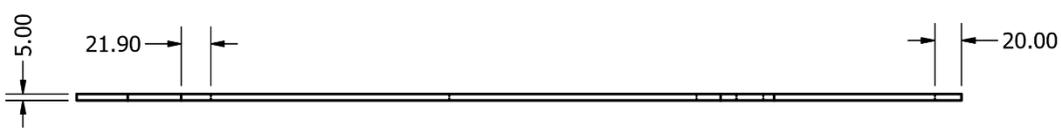
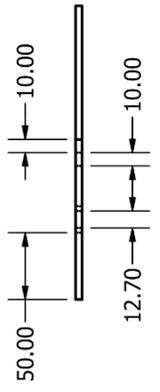
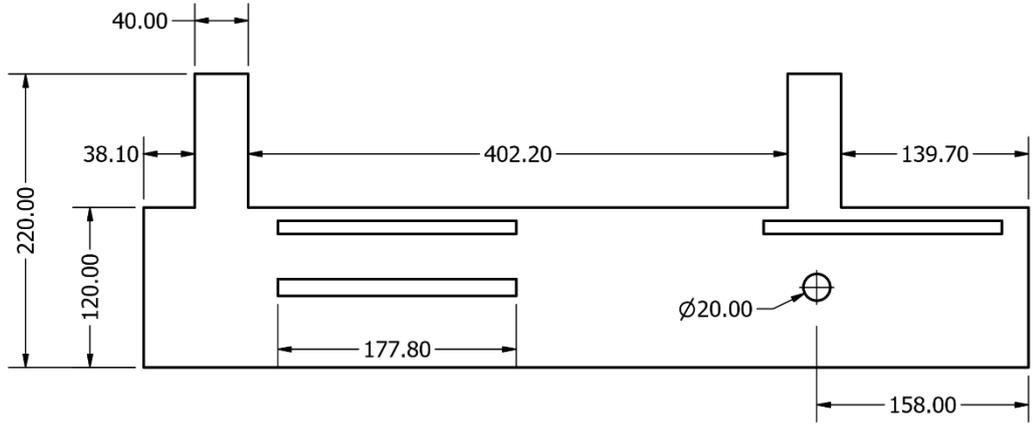
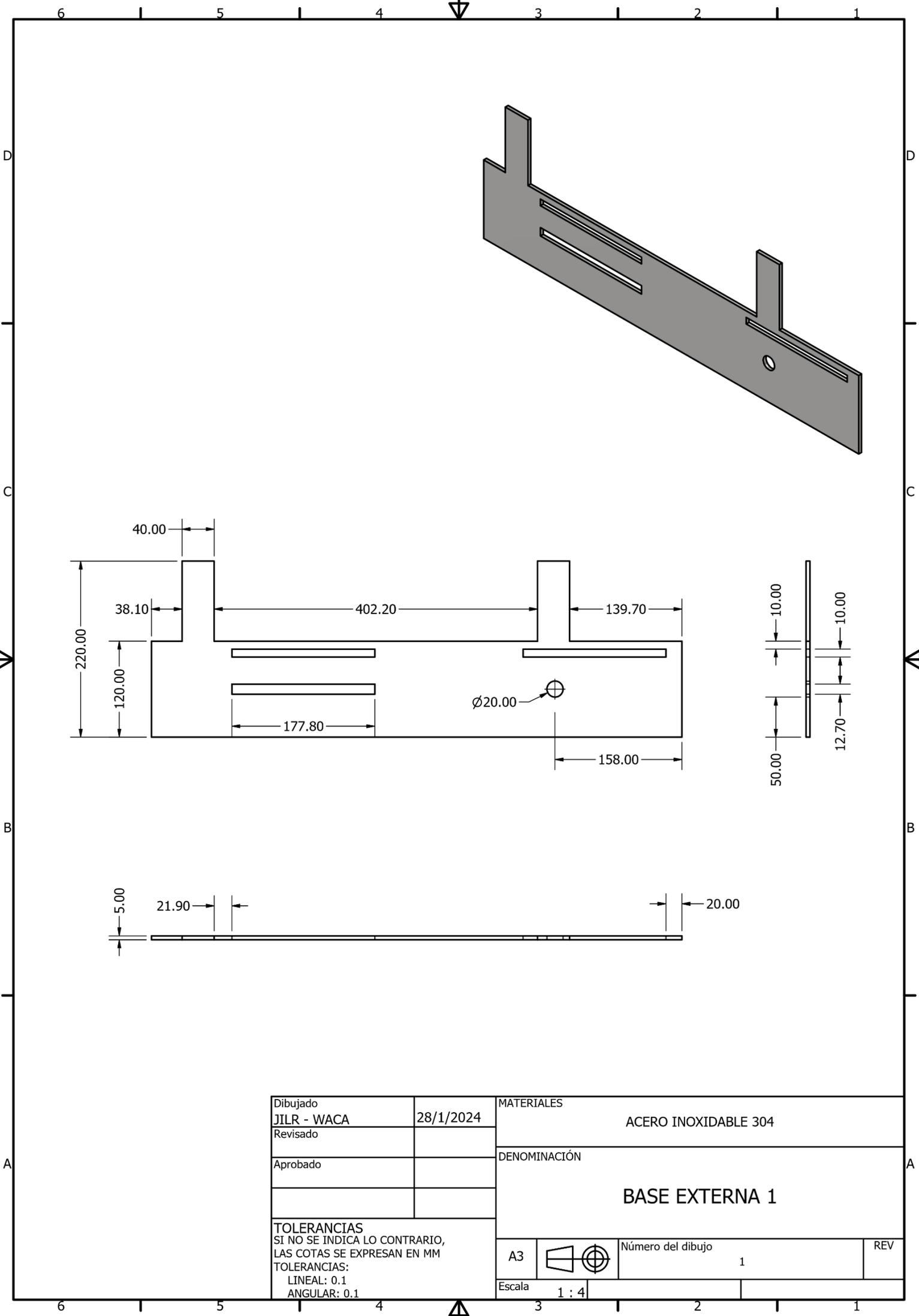
**Tabla A2**

*Factor K*

Z <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub>	K	Z <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub>	K	Z <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub>	K	Z <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub>	K	Z <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub>	K	Z <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub>	K	Z <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub>	K
1	0,0	11,00	3,06	21,00	11,17	31,00	24,34	41,00	42,58	51,00	65,88	61	94,25
2	0,1	12,00	3,65	22,00	12,26	32,00	25,94	42,00	44,68	52,00	68,49	62	97,37
3	0,2	13,00	4,28	23,00	13,40	33,00	27,58	43,00	46,84	53,00	71,15	63	100,54
4	0,4	14,00	4,96	24,00	14,59	34,00	29,28	44,00	49,04	54,00	73,86	64	103,75
5	0,6	15,00	5,70	25,00	15,83	35,00	31,03	45,00	51,29	55,00	76,62	65	107,02
6	0,9	16,00	6,48	26,00	17,12	36,00	32,83	46,00	53,60	56,00	79,44	66	110,34
7	1,2	17,00	7,32	27,00	18,47	37,00	34,68	47,00	55,95	57,00	82,30	67	113,71
8	1,6	18,00	8,21	28,00	19,86	38,00	36,58	48,00	58,36	58,00	85,21	68	117,13
9	2,1	19,00	9,14	29,00	21,30	39,00	38,53	49,00	60,82	59,00	88,17	69	120,6
10	2,5	20,00	10,13	30,00	22,80	40,00	40,53	50,00	63,33	60,00	91,19	70	124,12
71	127,7	81,00	166,19	91,00	209,76	101,00	258,39	111,00	312,09	121,00	370,86	131	434,69
72	131,3	82,00	170,32	92,00	214,40	102,00	263,54	112,00	317,74	122,00	377,02	132	441,36
73	135,0	83,00	174,50	93,00	219,08	103,00	268,73	113,00	323,44	123,00	383,22	133	448,07
74	138,7	84,00	178,73	94,00	223,82	104,00	273,97	114,00	329,19	124,00	389,48	134	454,83
75	142,5	85,00	183,01	95,00	228,61	105,00	279,27	115,00	334,99	125,00	395,79	135	461,64
76	146,3	86,00	187,34	96,00	233,44	106,00	284,67	116,00	340,84	126,00	402,14	136	468,51
77	150,2	87,00	191,73	97,00	238,33	107,00	290,01	117,00	346,75	127,00	408,55	137	475,42
78	154,1	88,00	196,16	98,00	243,27	108,00	295,45	118,00	352,70	128,00	415,01	138	482,39
79	158,1	89,00	200,64	99,00	248,26	109,00	300,95	119,00	358,70	129,00	421,52	139	489,41
80	162,1	90,00	205,18	100,00	253,30	110,00	306,50	120,00	364,76	130,00	428,08	140	496,47

## **Apéndice B**

### **Planos mecánicos y Modelado de los sistemas (lista de partes)**



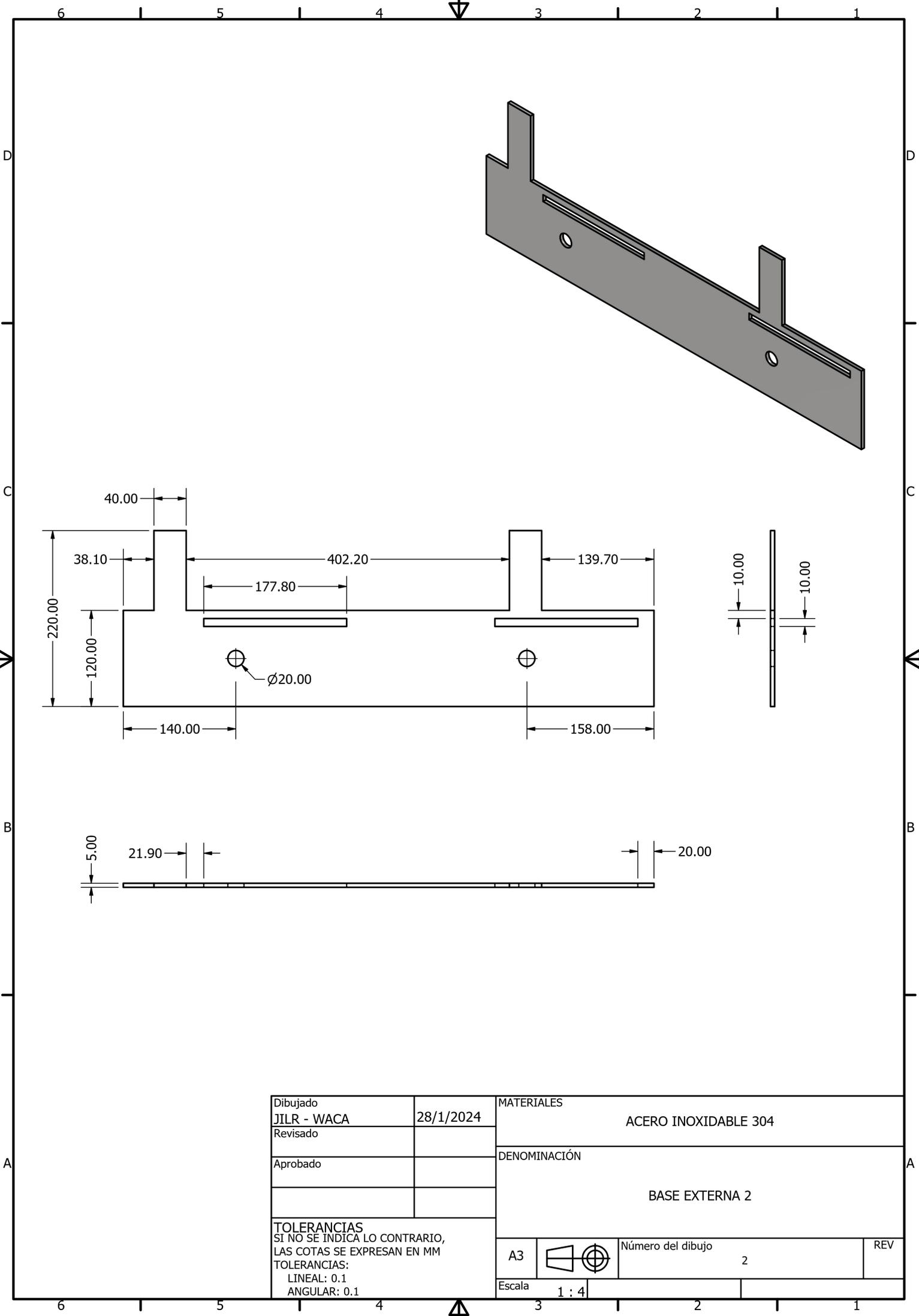
Dibujado	JILR - WACA	28/1/2024
Revisado		
Aprobado		

MATERIALES  
ACERO INOXIDABLE 304

DENOMINACIÓN  
BASE EXTERNA 1

TOLERANCIAS  
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO,  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
TOLERANCIAS:  
LINEAL: 0.1  
ANGULAR: 0.1

A3		Número del dibujo	1	REV
Escala	1 : 4			



Dibujado	JILR - WACA	28/1/2024
Revisado		
Aprobado		

MATERIALES  
ACERO INOXIDABLE 304

DENOMINACIÓN  
BASE EXTERNA 2

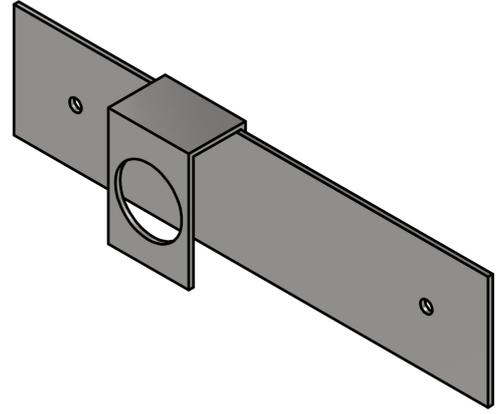
TOLERANCIAS  
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO,  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
TOLERANCIAS:  
LINEAL: 0.1  
ANGULAR: 0.1

A3		Número del dibujo	2	REV
Escala	1 : 4			

6 5 4 3 2 1

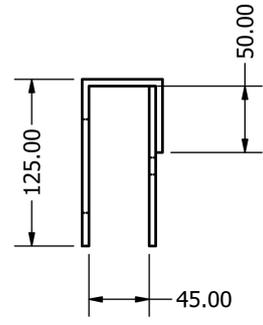
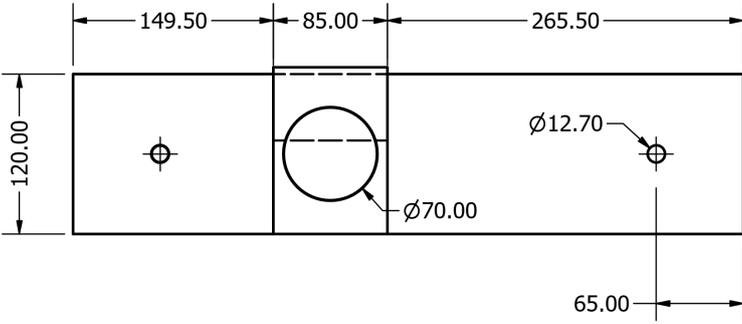
D

D



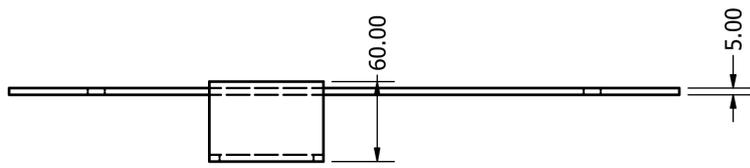
C

C



B

B



A

A

Dibujado	JILR - WACA	28/1/2024
Revisado		
Aprobado		

MATERIALES  
ACERO INOXIDABLE 304

DENOMINACIÓN  
BASE INTERNA 1

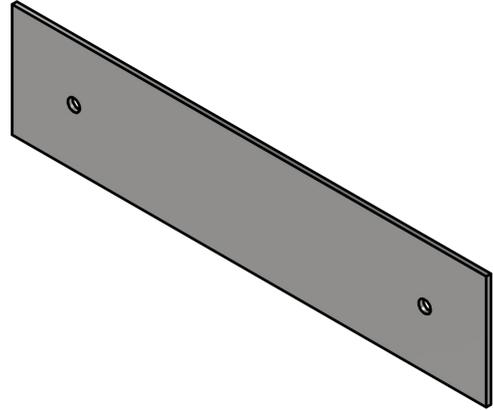
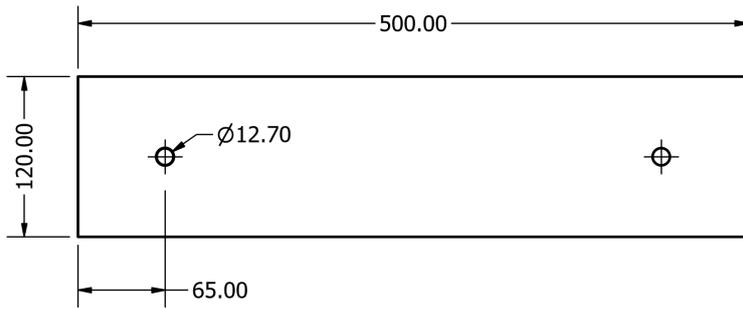
TOLERANCIAS  
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO,  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
TOLERANCIAS:  
LINEAL: 0.1  
ANGULAR: 0.1

A3		Número del dibujo	3	REV
----	--	-------------------	---	-----

Escala 1 : 4

6 5 4 3 2 1





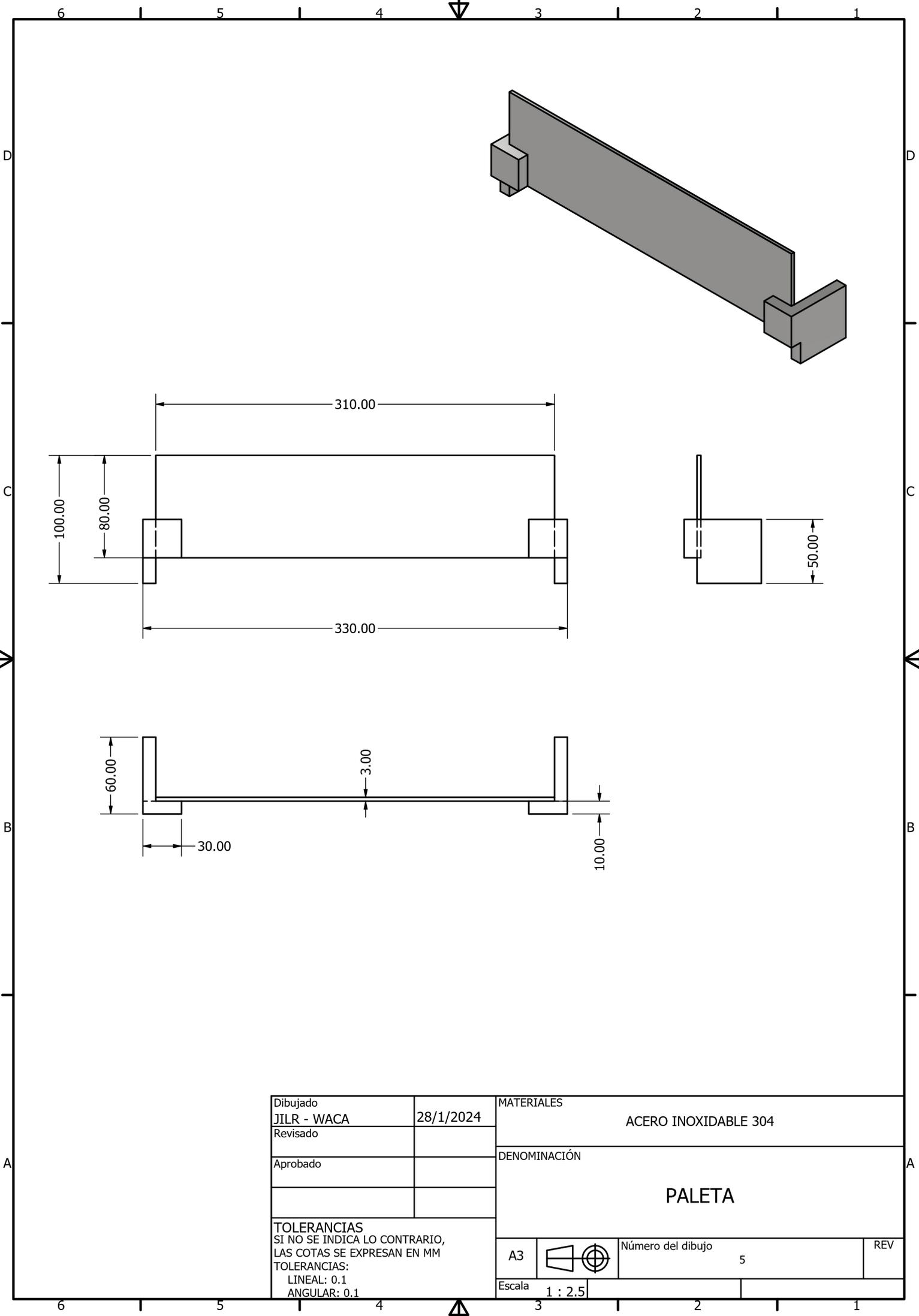
Dibujado	JILR - WACA	28/1/2024
Revisado		
Aprobado		

MATERIALES	ACERO INOXIDABLE 304
------------	----------------------

DENOMINACIÓN	BASE INTERNA 2
--------------	----------------

TOLERANCIAS  
 SI NO SE INDICA LO CONTRARIO,  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL: 0.1  
 ANGULAR: 0.1

A3		Número del dibujo	4	REV
Escala	1 : 4			



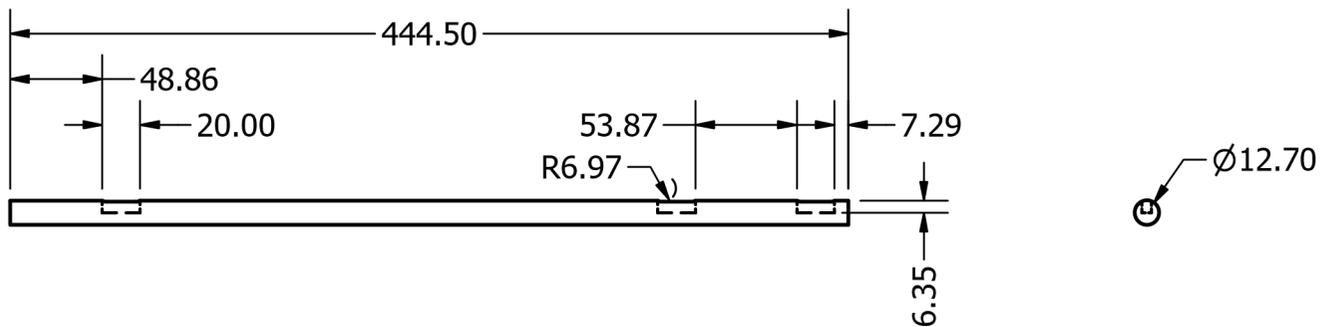
Dibujado	JILR - WACA	28/1/2024
Revisado		
Aprobado		

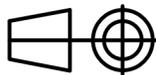
MATERIALES  
ACERO INOXIDABLE 304

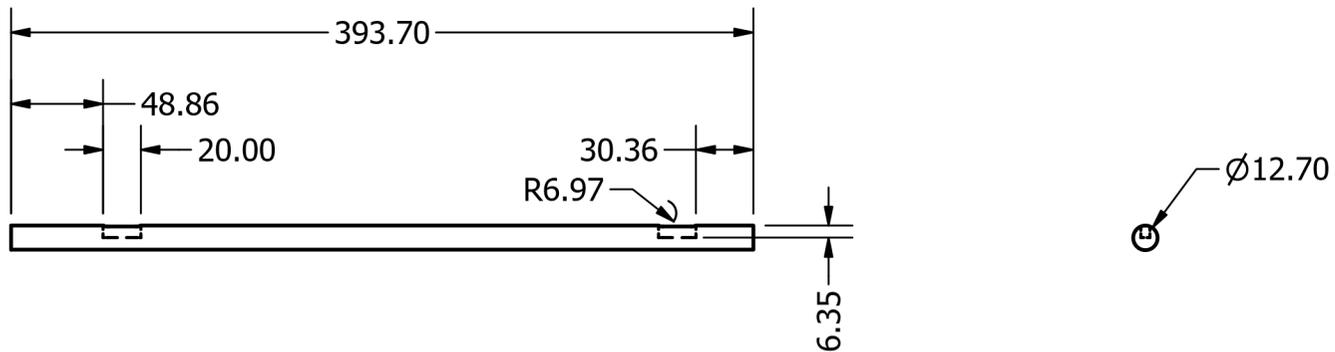
DENOMINACIÓN  
PALETA

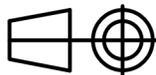
TOLERANCIAS  
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO,  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
TOLERANCIAS:  
LINEAL: 0.1  
ANGULAR: 0.1

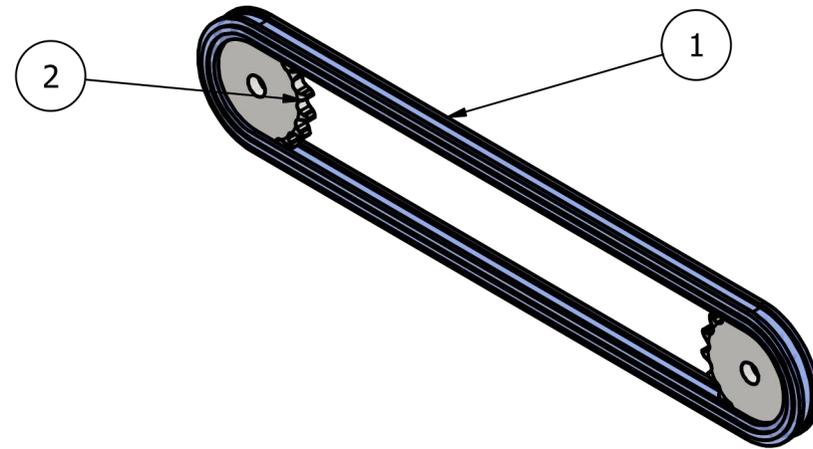
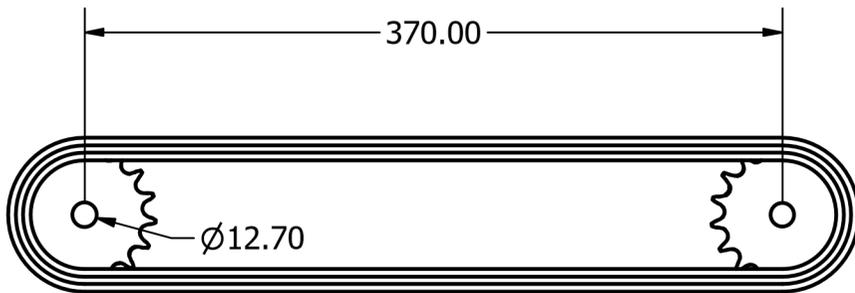
A3		Número del dibujo	5	REV
Escala	1 : 2.5			



Dibujado JILR - WACA	28/1/2024	MATERIALES ACERO INOXIDABLE 304		
Revisado		DENOMINACIÓN EJE MAYOR		
Aprobado				
TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: 0.1 ANGULAR: 0.1		A4		Número del dibujo 6
		Escala 1 : 4		REV



Dibujado JILR - WACA	28/1/2024	MATERIALES ACERO INOXIDABLE 304		
Revisado		DENOMINACIÓN EJE MENOR		
Aprobado				
TOLERANCIAS SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: 0.1 ANGULAR: 0.1		A4		Número del dibujo 7
		Escala 1 : 4		REV



LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Cadena paso 40
2	2	Piñon 17 dientes

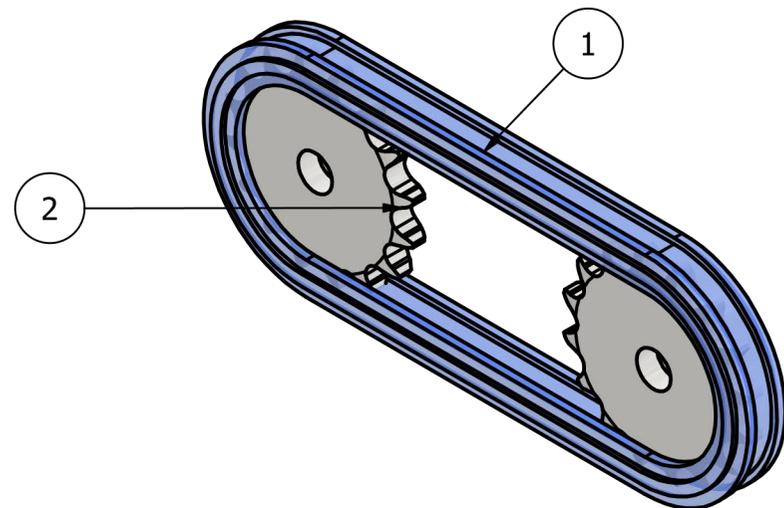
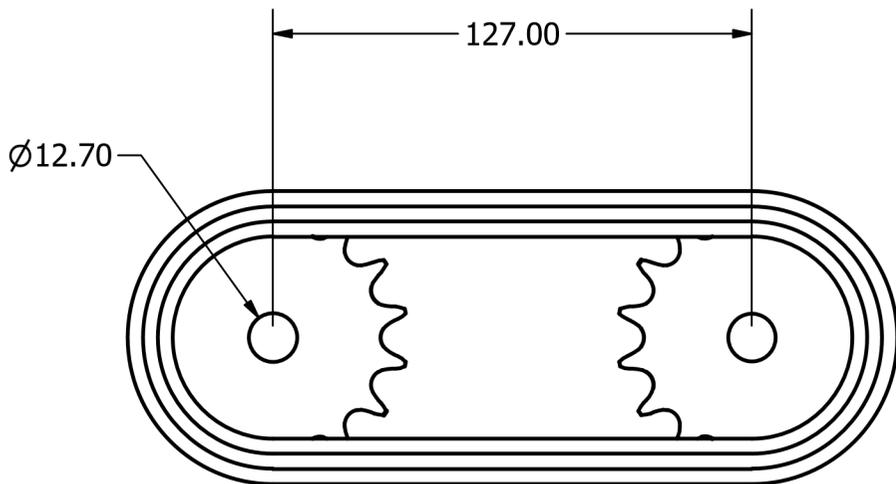
Dibujado	JILR - WACA	28/1/2024
Revisado		
Aprobado		

MATERIALES  
ACERO INOXIDABLE 304

DENOMINACIÓN  
**SISTEMA 1 DE CADENA Y PIÑONES**

TOLERANCIAS  
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO,  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
TOLERANCIAS:  
LINEAL: 0.1  
ANGULAR: 0.1

A4		Número del dibujo	8	REV
Escala	1 : 4			



LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Cadena paso 40
2	2	Piñon 16 dientes

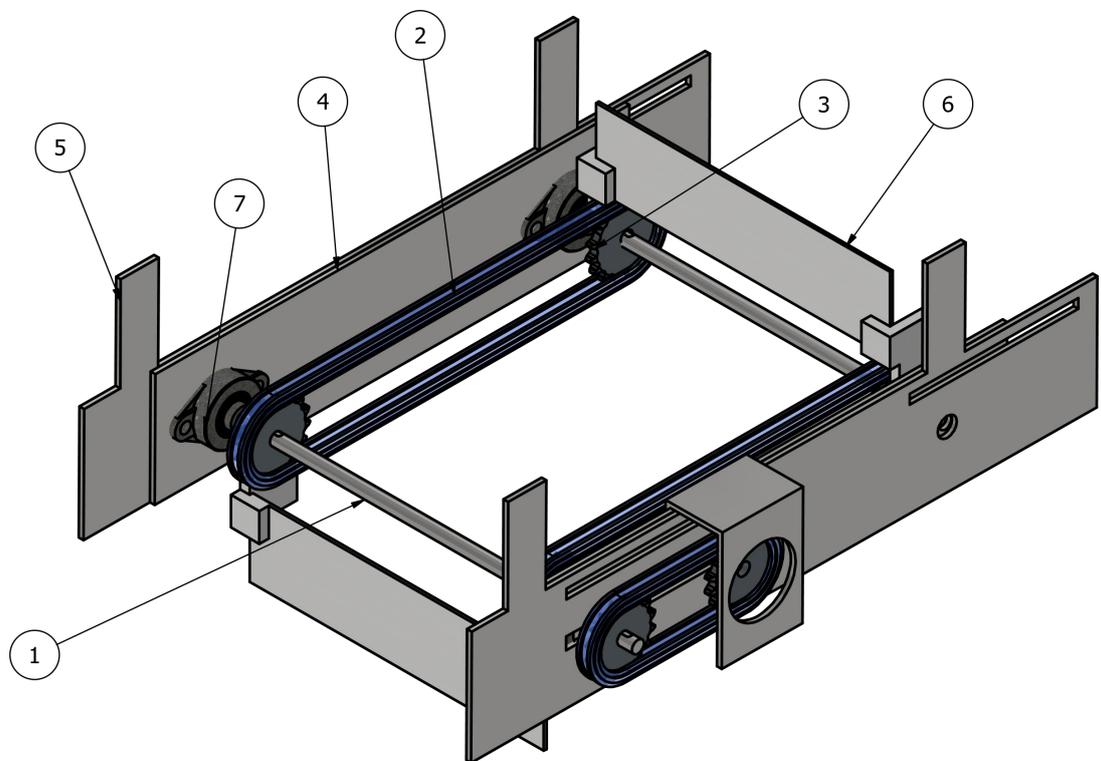
Dibujado	JILR - WACA	28/1/2024
Revisado		
Aprobado		

MATERIALES	
ACERO INOXIDABLE 304	

DENOMINACIÓN	
SISTEMA 2 DE CADENA Y PIÑONES	

TOLERANCIAS  
 SI NO SE INDICA LO CONTRARIO,  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL: 0.1  
 ANGULAR: 0.1

A4		Número del dibujo	9	REV
Escala	1 : 2			



LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	DESCRIPCIÓN
1	2	Ejes
2	3	Cadenas paso 40
3	6	Piñones: 4 de 17 dientes, 2 de 16 dientes
4	2	Bases internas
5	2	Bases externas
6	2	Paletas
7	4	Chumaceras

Dibujado	28/1/2024
JILR - WACA	
Revisado	
Aprobado	

MATERIALES  
ACERO INOXIDABLE 304

DENOMINACIÓN  
**SISTEMA AGRUPADOR**

TOLERANCIAS  
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO,  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
TOLERANCIAS:  
LINEAL: 0.1  
ANGULAR: 0.1

A3		Número del dibujo	10	REV
Escala		1 : 4		