

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL EMPACADO DE  
CORBATAS METÁLICAS EN LA COMPAÑÍA FORSA S.A**



Monografía de práctica profesional

**Carlos Andrés Cuatindioy Ortiz**

Director: Msc. Martin Alonso Muñoz  
Codirector: PhD. Mariela Muñoz Añasco  
Asesor de la empresa: Ing. Julián Orlando Casas Salcedo.

**Universidad del Cauca  
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Ingeniería en Automática Industrial  
Popayán, 2023**

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	4
ÍNDICE DE TABLAS .....	6
INTRODUCCIÓN. ....	7
1.    CAPITULO I: DEFINICIONES. ....	8
1.1.    EL PROCESO DE DISEÑO INDUSTRIAL. ....	8
1.1.1.    DISEÑO CAD.....	8
1.1.2.    ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS. ....	9
1.2.    EL DISEÑO ABORDADO DESDE LA SEGURIDAD INDUSTRIAL. ....	11
2.    CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO. ....	13
2.1.    DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CORBATAS. ....	13
2.1.1.    DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CORBATAS. 13	
2.1.2.    DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PPC. ....	20
2.1.3.    DIAGNÓSTICO DEL PPC. ....	22
3.    CAPÍTULO III: DEFINICIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL EMPACADO DE CORBATAS. ....	29
3.1.    IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE.....	29
3.2.    ELABORACIÓN DE DISEÑOS BÁSICOS. ....	31
3.2.1.    DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL. ....	32
3.3.    ELABORACIÓN DE CONCEPTOS DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE EMPACADO DE CORBATAS.....	37
3.4.    EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE CONCEPTO.....	42
4.    CAPÍTULO IV: DISEÑO A NIVEL DE SISTEMA. ....	43
4.1.    CREACIÓN DEL ESQUEMA DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE EMPACADO DE CORBATAS METÁLICAS.....	43
4.2.    AGRUPACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL ESQUEMA. ....	45
4.3.    DISPOSICIÓN GEOMÉTRICA APROXIMADA DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE EMPACADO DE CORBATAS METÁLICAS.....	47
4.4.    IDENTIFICACIÓN DE INTERACCIONES FUNDAMENTALES E INCIDENTALS.....	48
5.    CAPÍTULO V: DISEÑO DE DETALLES. ....	50
5.1.    MECANISMO DE APILADO. ....	51

5.1.1.	CONTENEDOR DE CORBATAS.....	51
5.1.2.	POSICIONAR CONTENEDOR DE CORBATAS. ....	55
5.2.	MECANISMO DE CONTEO.....	59
5.3.	MECANISMO DE EXTRACCIÓN.....	60
5.3.1.	POSICIONAR EN EL EJE X MECANISMO DE EXTRACCIÓN.....	60
5.3.2.	POSICIONAR EN EL EJE Y EL MECANISMO DE EXTRACCIÓN.	61
5.4.	MECANISMO DE ENTREGA DE MATERIAL.....	62
5.5.	CARCASA.....	63
5.6.	CHASIS.....	63
5.6.1.	ANÁLISIS ESTÁTICO EN CHASIS.....	64
5.7.	PANEL INTERFAZ DE USUARIO.....	65
5.8.	CONTROLADOR LÓGICO. ....	66
5.9.	CABLE DE CORRIENTE Y CONEXIONES. ....	68
5.9.1.	ESQUEMA DE POTENCIA Y CONTROL DEL SERVOMOTOR. ....	69
5.10.	MODELO Y EXPLOSIONADO.....	69
5.11.	LISTA DE COMPONENTES. ....	72
6.	CAPÍTULO VI: SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	74
6.1.	ESTIMACIÓN DE COSTOS.....	74
7.	CONCLUSIONES.....	78
8.	TRABAJOS FUTUROS. ....	79
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplo de análisis mediante elemento finito. ....	10
Figura 2: Estructura de evaluación de riesgos. ....	12
Figura 3: Máquina de troquelado.....	14
Figura 4: Máquina de desenrollado y aplanado.....	15
Figura 5: Polipasto. ....	15
Figura 6: Desenrollador y aplanador ....	15
Figura 7: Alimentador. ....	16
Figura 8: Panel de control HMI.....	16
Figura 9: Troqueladora semiautomática. ....	17
Figura 10: Producto corbata y medidas relevantes. ....	17
Figura 11: Proceso de embalaje.....	20
Figura 12: Diagrama de flujo PPC.....	21
Figura 13: Nivel de esfuerzo físico del PPC. ....	23
Figura 14: Nivel de conocimiento del PPC. ....	24
Figura 15: Nivel de riesgos del PPC.....	24
Figura 16: Nivel de automatización del PPC. ....	26
Figura 17: Caja negra del sistema.....	32
Figura 18: Subfunciones del sistema automático para el empaclado de corbatas. 33	
Figura 19: Alternativas de unidad de control. ....	33
Figura 20: Alternativas tipo de sensor. ....	34
Figura 21: Alternativas método de extracción de corbatas.....	35
Figura 22: Alternativas método de empaque de corbatas. ....	36
Figura 23: Alternativa concepto 1.....	37
Figura 24: Alternativa concepto 2.....	38
Figura 25: Alternativa concepto 3.....	39
Figura 26: Etapa de conteo y apilado A. ....	40
Figura 27: Etapa de conteo y apilado B. ....	40
Figura 28: Alternativa de concepto 4.....	41
Figura 29: Esquema del sistema automático para el empaclado de corbatas. ....	44
Figura 30: Agrupación de elementos del esquema. ....	45
Figura 31: Disposición geométrica 3D del sistema.....	47
Figura 32: Disposición geométrica 2D del sistema.....	48
Figura 33: Diagrama de interacciones incidentales.....	49
Figura 34: Factor de seguridad por accesorio. ....	50
Figura 35: Contenedor de corbatas.....	51
Figura 36: Vista transparente contenedor de corbatas.....	52
Figura 37: Análisis de tensión máxima en contenedor adaptable (a), análisis de FoS del contenedor adaptable (b). ....	54
Figura 38: Elemento funcional para posicionar contenedor de corbatas compuesto de 1.disco, 2. brida, 3. acople de motor. ....	55

Figura 39: Análisis de tensión máxima en posicionador de contenedor (a), análisis de FoS de posicionador de contenedor (b). .....	56
Figura 40: Selección de motor.....	59
Figura 41: Sensor interruptor fotoeléctrico en soporte. ....	59
Figura 42: Elemento funcional de posicionar en eje X. ....	60
Figura 43: Análisis de tensión máxima en soporte de guía lineal (a), análisis de FoS de soporte de guía lineal (b). ....	61
Figura 44: Elemento funcional para posicionar en el eje Y el mecanismo de extracción.....	62
Figura 45: Mecanismo de entrega de material. ....	62
Figura 46: Carcasa de protección del sistema. ....	63
Figura 47: Chasis del sistema automático de empacado de corbatas. ....	63
Figura 48: Esquema de una bola de transferencia (a), bola de transferencia con anillo (b).....	64
Figura 49: Análisis de tensión máxima en mesa (a), análisis de FoS en chasis (b). .....	65
Figura 50: Modelo de interfaz de usuario. ....	66
Figura 51: Diagrama de operación del sistema automático para el empacado de corbatas.....	67
Figura 52: Diagrama de potencia y control para el servomotor principal.....	69
Figura 53: Vista isométrica del sistema automático para el empacado de corbatas. .....	70
Figura 54: Vista isométrica frontal del sistema automático para el empacado de corbatas.....	70
Figura 55: Vista isométrica explosionada del sistema automático para el empacado de corbatas.....	71
Figura 56: Vista isométrica explosionada posterior del sistema automático para el empacado de corbatas.....	71
Figura 57: Vista dimétrica de los componentes principales del sistema automático para el empacado de corbatas.....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Fabricación de corbatas sencillas.....	18
Tabla 2: Fabricación de corbata plus. ....	19
Tabla 3: Entradas y salidas del PPC.....	21
Tabla 4: Nivel de dificultad del PPC. ....	23
Tabla 5: Nivel de automatización de las fases del PPC. ....	25
Tabla 6: Necesidades y dificultades del PPC.....	27
Tabla 7: Clasificación de mejora según fases del PPC. ....	28
Tabla 8: Necesidades del cliente.....	30
Tabla 9: Nivel de importancia de las necesidades del cliente. ....	31
Tabla 10: Métricas del sistema automático para el empaqueo de corbatas. ....	31
Tabla 11: Evaluación de conceptos.....	42
Tabla 12: Calibración de distancia en contenedor para corbata sencilla.....	52
Tabla 13: Calibración de distancia en contenedor para corbata plus. ....	53
Tabla 14: Características de material por componente del ensamble contenedor de corbatas.....	53
Tabla 15: Resultado de simulación del análisis en contenedor adaptable. ....	54
Tabla 16: Características de material por componente del ensamble para posicionar el contenedor de corbatas.....	55
Tabla 17: Resultado de la simulación de análisis del posicionador de contenedor. ....	56
Tabla 18: Datos iniciales para el cálculo del motor. ....	57
Tabla 19: Resultados de la simulación de análisis del soporte para la guía lineal.	61
Tabla 20: Resultados de la simulación de análisis del chasis. ....	65
Tabla 21: Listado de componentes del sistema automático para el empaqueo de corbatas.....	73
Tabla 22: Estimación de costos del sistema automático para el empaqueo de corbatas.....	76

## INTRODUCCIÓN.

La tecnología actual ha permitido agilizar el proceso de diseño de diferentes productos como: máquinas, herramientas, infraestructura, modelos arquitectónicos, piezas dentales u otros, el proceso de diseño parte de la creación del prototipo que reúne las características suficientes para satisfacer a los clientes iniciales y busca obtener una retroalimentación de dichas características para mejorar en la etapa de fabricación y/o producción.

La creación de prototipos se hace con materiales de bajo costo, diferentes a los materiales del producto final, esto con el fin de agilizar el proceso de creación del prototipo. Actualmente existen múltiples herramientas computacionales para desarrollar prototipos representados en 3D y 2D, en el campo de la ingeniería es importante conocer las herramientas necesarias para el desarrollo de prototipos, estas herramientas facilitan la visualización de ensambles y subensambles, permiten simular diferentes comportamientos como movimientos, fuerzas, aplicaciones de carga, análisis de desempeño, además permiten realizar cambios sin involucrar otros procesos, reduciendo los errores de diseño antes de la etapa de producción.

En la industria, la creación de nuevas máquinas surge de la necesidad de facilitar el trabajo, aumentar la producción, optimizar la mano de obra, mejorar los tiempos de producción, el desarrollo o invención de la nueva maquinaria parte del diseño de un prototipo computacional que se pueda ajustar en el tiempo a las diferentes necesidades, esto como una estrategia para ser competidor e innovador en el mercado [1].

Actualmente la compañía FORSA S.A compite en la industria de la metalmecánica, y hace presencia en más de 30 países, ofreciendo soluciones integrales con diferentes sistemas de encofrados (cimbras, moldajes, formaletas y soluciones especiales de ingeniería para la construcción de edificaciones y obras de infraestructura. FORSA S.A fabrica diferentes piezas para implementar sus sistemas de encofrados, en FORSA S.A se fabrica una pieza de acero templado conocida como corbata, esta se usa para garantizar el espesor de los muros y evita el desbordamiento de los paneles muro cuando se enfrentan para crear el encofrado de muros y columnas. La producción de corbatas es alta y depende del requerimiento del cliente. Actualmente el proceso de embalado de corbatas se hace manual, lo que requiere tiempo y mano de obra seleccionado de otras estaciones de trabajo.

Por lo tanto, el presente trabajo se enfoca en el diseño de un sistema automático para el empacado de corbatas que complemente el proceso de fabricación de corbatas metálicas y cumpla con las necesidades de la compañía FORSA S.A.

# 1. CAPITULO I: DEFINICIONES.

## 1.1. EL PROCESO DE DISEÑO INDUSTRIAL.

El concepto de diseño se puede representar de diferentes formas como sectores comerciales existen, sin embargo, se alude al concepto presentado formalmente por el ICSID (por sus siglas en inglés: International Council of Societies of Industrial Design), donde se extrae lo esencial para conceptualizar el diseño industrial como una actividad creativa que busca establecer las capacidades multifacéticas de productos, procesos, objetos, servicios, convirtiendo al diseño en el factor central de la innovación de las tecnologías, además se menciona que cualquier “cosa” es susceptible a ser diseñada, solo basta con mirar la capacidad humana que ha diseñado el mundo circundante, creando significados en su mismo paso, convirtiéndolos en conceptos y formas diferentes de representar cualidades, situaciones y muchas veces al forma de sentir nuestra realidad [2].

Como se mencionó anteriormente el diseño es una actividad creativa, pero siempre existe la paradoja de poner o no límites a la creatividad, no confundir con la improvisación, la creatividad en cierta forma necesita constancia y método, aunque no sean absolutos, por el contrario, estos deben ser adaptados por cada situación y cada profesional de diseño en particular [3].

Existen diversos métodos de diseño, unos con más etapas que otros, pero en general se puede decir que un diseño se convierte en un proceso iterativo como el que se describe a continuación.

- A. **Requerimientos de diseño:** estética, ergonomía, funciones, limitaciones de diseño.
- B. **Creación:** alternativa o alternativas de solución.
- C. **Decisión:** cumple con los requerimientos de diseño (análisis); si cumple, entonces es una **solución**; sino cumple, entonces rediseña la **creación**.
- D. **Evaluación de desempeño:** ensayos y simulaciones para conocer el rendimiento del diseño

### 1.1.1. DISEÑO CAD.

Las siglas CAD traducen al español “Diseño Asistido por Computador” que se ha convertido en una disciplina que estudia los sistemas informáticos como herramienta que da soporte a los procesos que se llevan a cabo para la creación de un diseño, hoy en día es una herramienta indispensable en la industria para

enfrentar las necesidades de mejoramiento de la calidad, reducir los costos de diseño y producción [4].

El diseño asistido por computador facilita realizar las tareas de creación, modificación, análisis y optimización del diseño de un producto antes de ser aprobado para su fabricación, estas herramientas computacionales permiten realizar el análisis de tolerancias, cálculo de propiedades físicas como masa, volumen, momentos físicos, además estas herramientas en la etapa de modelado permiten realizar el análisis numérico mediante elementos finitos y ensamblado, su principal función es la definición de la geometría del diseño, piezas mecanizadas, arquitectura, circuito electrónico, ya que posterior a la definición de esta geometría se desarrollan las actividades subsecuentes para el ciclo de producción del producto diseñado [4].

### **1.1.2. ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.**

El análisis mediante elementos finitos FEA (por sus siglas en inglés Finite Element Analysis), es una técnica de simulación computacional que se entrelaza con el diseño CAD, el FEA es una técnica numérica aplicada a la geometría finita de una estructura, que se basa en la solución de un sistema de matrices, la geometría de la estructura es sometida a cargas y restricciones, para después ser dividida en un número finito de dominios conectados entre sí mediante nodos, a la unión de estos nodos se le conoce como mallado, lo que permite mejorar la precisión de los cálculos desarrollados por el software de simulación, aunque no se obtenga una solución exacta con esta metodología se presenta un valor aproximado de la solución real, esto varía si se aumenta o disminuye la cantidad de dominios en la malla [5].

Este método permite la solución y diagnóstico a problemas de deformaciones, desplazamientos y tensiones que pueden afectar la estructura de un objeto, además se puede aplicar los criterios de rigidez, fatiga o resistencia al material del cual se construya la estructura del objeto [6].

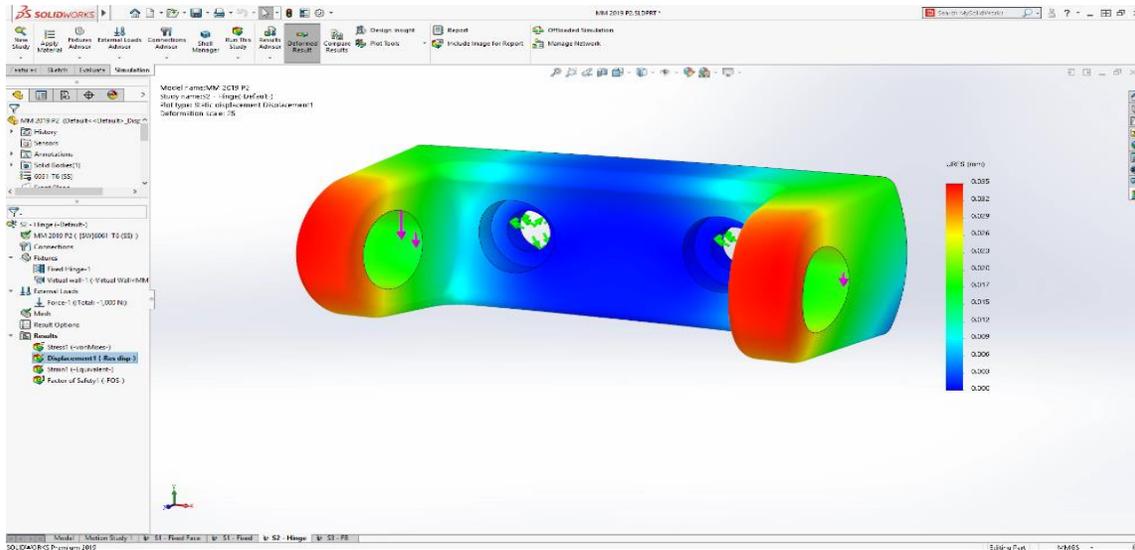


Figura 1: Ejemplo de análisis mediante elemento finito.

Fuente: <https://blogs.solidworks.com>

### 1.1.2.1. Factor de seguridad.

En un proyecto de diseño mecánico es vital calcular el coeficiente de seguridad, este coeficiente o factor de seguridad FoS (Factor of Safety) es importante para minimizar los riesgos de un estructura o pieza y sirve para que los diseñadores y empresas puedan garantizar la seguridad y la longevidad de sus piezas y diseños, ofreciendo un producto al cliente final de mayor calidad y con un alto nivel de seguridad, las consecuencias un mal cálculo del diseño mecánico puede incurrir en el fallo o fractura en una estructura y ocasionar la pérdida de vidas, lesiones físicas y pérdida de material.

El FoS hace referencia a la relación existente entre el esfuerzo permitido y el esfuerzo generado por cargas a la que es sometida una pieza o estructura, según [7] el FoS se define matemáticamente cómo:

$$FoS = \frac{\sigma_{M\acute{a}xima}}{\sigma_{Admisible}} \quad (1)$$

Para interpretar la ecuación anterior se puede asumir el esfuerzo máximo cómo el límite elástico del material y el esfuerzo admisible cómo el esfuerzo de diseño: el límite elástico es el valor de la máxima tensión aplicada en Mpa sobre un material sin que se produzcan deformaciones permanentes en el mismo, esta característica es diferente en cada material. El esfuerzo de diseño es la tensión en Mpa que puede desarrollarse en un material o estructura asegurando que esta soporta una carga,

tal valor puede mejorarse en un diseño mecánico cambiando el espesor de los materiales o mejorando la robustez de una estructura, el valor del esfuerzo de diseño tiene que ser igual al límite elástico para obtener como mínimo un FoS de 1 al realizar la división y menor para obtener un valor mayor de FoS.

Algunos factores de seguridad generales típicos: calderas FoS entre 3.5 y 6; pernos de 8.5, ruedas de hierro fundido 20; componentes del motor entre 6 y 8, eje de alta resistencia entre 10 y 12

El FoS debe ser mayor o igual a 1, para asegurar la resistencia de la pieza o estructura según la carga aplicada, de lo contrario el producto no sería funcional y fallaría ante cualquier escenario, es decir, el FoS indica que la estructura o pieza puede soportar una carga para la que fue diseñada multiplicada un número de veces más de lo que realmente admite. Mientras más alto sea el valor del FoS en un proyecto de diseño mecánico la probabilidad de que se produzca una ruptura o deformación será menor.

## **1.2. EL DISEÑO ABORDADO DESDE LA SEGURIDAD INDUSTRIAL.**

Además de definir un FoS satisfactorio para el diseño mecánico, es necesario abordar el diseño de máquinas bajo los criterios de la seguridad laboral y los riesgos a los que se expone una persona cuando realiza la operación de esta. Por lo tanto, el diseño de máquinas debe incorporar la seguridad mediante el diseño adecuado, evaluando y reduciendo los riesgos. Para llevar a finalidad lo propuesto anteriormente se presenta como guía la norma internacional ISO 12100:2010 que proporciona un marco general para la toma de decisiones durante el desarrollo de maquinaria apuntando a un diseño seguro para su uso previsto. Esta norma especifica la terminología básica, los principios y la metodología para lograr la seguridad en el diseño de máquinas, basándose en la experiencia del diseño, uso, incidentes, accidentes y riesgos para la evaluación y reducción de riesgos o eliminación de peligros [8].

Primero han de analizarse todos los peligros existentes en la máquina y evaluar los riesgos asociados a estos peligros. Cuando estos riesgos sobrepasan un riesgo tolerable, se deben aplicar medidas para eliminar o reducir estos riesgos, con el fin de proteger al usuario de los posibles daños a su salud e integridad física.

Aplicar la norma ISO 12100 como guía durante el proceso de fabricación de una máquina permite evaluar si la máquina en cuestión es segura para su uso previsto, el procedimiento estructurado se describe en la figura 2.

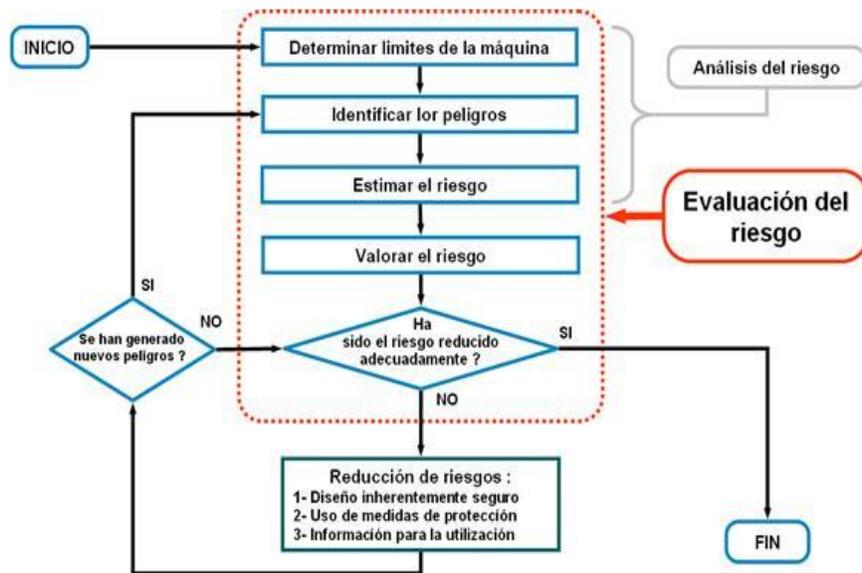


Figura 2: Estructura de evaluación de riesgos.

Fuente: <https://www.prevencion.ntegral.com>

Primero se debe determinar los límites de una máquina, incluyendo el uso previsto y su mal uso razonablemente previsible, al determinar los límites se puede identificar fácilmente las fuentes de peligros que puede generar la máquina y las correspondientes situaciones peligrosas. Estimar los riesgos teniendo en cuenta la gravedad de las posibles lesiones o daños para la salud y la probabilidad de que se produzcan, valoración los riesgos con el objetivo de determinar si se requiere una reducción de estos y finalmente plantear la una solución para la eliminación o mitigación de los peligros o reducir los riesgos derivados de dichos peligros. Los peligros que se consideran en la norma ISO 12100:2010 son: peligros mecánicos, eléctricos, térmicos, por ruido, derivados de vibraciones, derivados de radiaciones, derivados de materiales y sustancias, derivados de la omisión de principios ergonómicos en el diseño de máquinas [8].

Aplicando la norma ISO 12100 cómo guía para el diseño seguro de máquinas se puede lograr prever riesgos y equipar al diseñador con las herramientas necesarias para fabricar máquinas seguras reduciendo al mínimo las posibilidades de accidentes, además de realizar una evaluación continua de los riesgos a lo largo de la vida útil de la máquina.

## **2. CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.**

FORSA S.A nace en 1995 por la unión de un grupo de ingenieros y empresarios colombianos, con la idea de revolucionar el método tradicional de la construcción de viviendas para hacerla más rentable y práctica, la compañía está ubicada en la zona franca del Cauca vía a Guachené, FORSA S.A ofrece soluciones integrales con diferentes sistemas de encofrados (cimbras, moldajes, formaletas), sistemas de andamios multidireccionales y soluciones especiales de ingeniería para la construcción de edificaciones y obras de infraestructura.

La compañía cuenta con dos plantas de fabricación: la planta de aluminio y la planta de acero, en esta última mediante el proceso de troquelado se fabrica una pieza de acero templado conocida como corbata, esta se usa en los sistemas de encofrado para garantizar el espesor de los muros y evita el desbordamiento de los paneles muro cuando se enfrentan para crear el encofrado de muros y columnas. En la planta acero se tiene la línea de fabricación de corbatas que maneja una demanda alta de producción y está sujeta al requerimiento del cliente, dado que los proyectos en el campo de la construcción son variados.

En los párrafos siguientes se describe el proceso de producción de corbatas metálicas, donde se resaltan y se analizan diferentes aspectos, además se describe el proceso del diseño como una metodología para la construcción de los equipos necesarios dentro del sistema automático para el empaqueo de corbatas.

### **2.1. DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CORBATAS.**

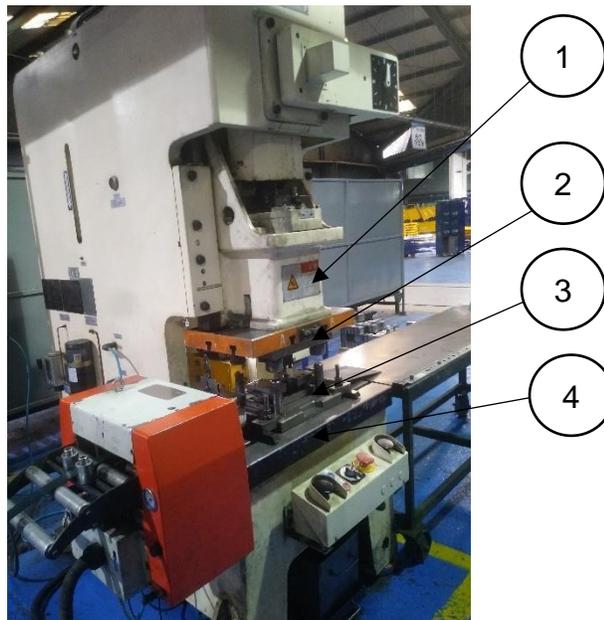
En el proceso de producción intervienen diferentes aspectos, como la mano de obra, las herramientas, la maquinaria y el tiempo de fabricación, la descripción del proceso de producción de corbatas se hace evaluando los diferentes aspectos esto con el fin de tomar decisiones que impacten el proceso, a continuación se describe de forma general el proceso de producción de corbatas (PPC) se propone el diagrama de flujo del proceso, se realiza el diagnóstico de la línea de fabricación de corbatas y se presenta el análisis general de la línea de producción de corbatas.

#### **2.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CORBATAS.**

El PPC cuenta con diferentes operaciones, unas son manuales y en otras se tiene la intervención de maquinaria, para llegar al producto final que se describe más adelante, el PPC se divide en dos subprocesos troquelado y embalaje.

### 2.1.1.1. Subproceso de troquelado.

La operación de troquelado consiste en cortar lámina o platina mediante una máquina conocida como troqueladora (1), en la cual se monta un herramental denominado troquel que consta de un macho (2) y una hembra (3) con el diseño o forma a cortar, el macho cuenta con punzones o cuchillas que facilitan el corte del material. La máquina de troquelado ejerce presión sobre el macho y penetra en la hembra que está anclada a la mesa de trabajo (4) de la máquina troqueladora [9], como lo muestra la figura 3.



*Figura 3: Máquina de troquelado.*

*Fuente: FORSA S.A*

#### **a) Des bobinado.**

Desde el área de almacén se recibe un pallet de rollos de cinta de acero templado, cada rollo de cinta oscila entre los 1875 Kg y 2046 Kg. El rollo de cinta se monta en la máquina de desenrollado y aplanado (figura 4) haciendo uso de un polipasto que sirve para levantar cargas pesadas, luego de montar la cinta de acero templado en el eje del desenrollador y aplanador se procede a insertar el extremo de la cinta en el aplanador para enderezar la cinta y evitar el atascamiento en el troquel.



*Figura 4: Máquina de desenrollado y aplanado.*

*Fuente: FORSA S.A*

Se realizan dos operaciones: 1) montaje de la cinta de acero templado, para lo cual se usa un polipasto (figura 5); 2) desenrollado y aplanado de la cinta de acero, en equipo un des bobinado con plancha (figura 6).



*Figura 5: Polipasto.*

*Fuente: FORSA S.A.*



*Figura 6: Desenrollador y aplanador*

*Fuente: FORSA S.A.*

## **b) Montaje de la cinta de acero templado en el alimentador.**

Se introduce la cinta de acero templado en el alimentador, este cuenta con un sistema de nivelación de punto fijo que se ajusta de forma manual para lograr que la altura del alimentador coincida con la altura de la mesa de trabajo de la máquina de troquelado. A través del panel de control (HMI) se

ajusta en milímetros la medida de recorrido de la cinta de acero templado y la velocidad de salida hacia la máquina troqueladora, esta medida se convierte en el recorrido que debe realizar el alimentador para que la cinta de acero templado ingrese en la misma medida a la máquina troqueladora.

Se realizan dos operaciones: 1) inserción de cinta de acero templado en el alimentador, que es un equipo de caja y motor que se alimenta a 120v ac (figura 7); 2) configuración de parámetros de velocidad y recorrido de cinta de acero templado que se realiza en un panel de control (HMI) (figura 8).



*Figura 7: Alimentador.*

*Fuente: Manual de operación.*



*Figura 8: Panel de control HMI.*

*Fuente: Manual de operación.*

### **c) Corte de corbatas o troquelado.**

La sincronización de la velocidad de troquelado y la velocidad del avance de la cinta en el alimentador se inicia manualmente, después de generar el primer corte (corbata) se verifican las medidas según el plan de control de calidad y se revisa que no existan imperfecciones en el corte, luego se procede a configurar el conjunto de máquinas en modo automático (figura 9), realizando autoinspecciones cada 20 corbatas, finalmente, las corbatas caen a una caja de madera donde se acumulan para luego ser embaladas. Durante este proceso se obtiene entre 1000 y 5000 unidades según el tipo de corbata a fabricar.



Figura 9: Troqueladora semiautomática.

Fuente: FORSA S.A.

Las corbatas que se fabrican en la línea son de medidas variables, cambia la longitud y la distancia de las perforaciones, a continuación, se presentan algunas definiciones.

#### d) Definición del producto corbata.

Una corbata es un accesorio metálico similar a una regla, sus extremos son redondeados y presenta perforaciones en cada uno de ellos, como se muestra en la figura 10, la función de este accesorio es restringir el grosor del muro y unir dos paneles que se enfrentan para crear el encofrado, este accesorio define el grosor del muro, por lo tanto, sus dimensiones varían según el proyecto de construcción al que se designen. La figura 10 presenta algunas medidas de relevancia que se deben considerar para el diseño del sistema de empacado de corbatas.

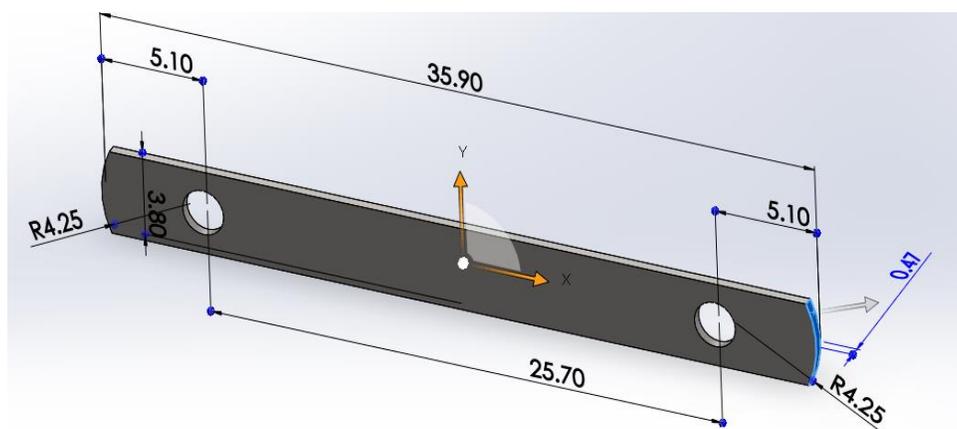


Figura 10: Producto corbata y medidas relevantes.

Fuente: FORSA S.A.

Es necesario tener en cuenta que la medida de grosor de muro no define la medida total de la corbata, esta medida puede aumentar o disminuir dependiendo del proyecto de ingeniería de construcción a satisfacer, la medida que se debe tener en cuenta para el diseño del sistema de empacado es la medida de longitud total.

La línea de fabricación de corbatas produce 2 tipos de corbatas: sencilla y plus; aunque con diferentes medidas, en la tabla 1 se muestran las referencias existentes para la corbata sencilla y la tabla 2 muestra las referencias para la corbata plus.

<b>ESPESOR DE MURO (cm)</b>	<b>DIM. "A" +/- 0,1 cm</b>	<b>LONGITUD TOTAL CORBATA cm</b>
5	10,7	15,7
6	11,7	16,7
7	12,7	17,7
8	13,7	18,7
9	14,7	19,7
10	15,7	20,7
11	16,7	21,7
12	17,7	22,7
13	18,7	23,7
14	19,7	24,7
15	20,7	25,7
20	25,7	30,7
25	30,7	35,7
30	35,7	40,7
35	40,7	45,7
40	45,7	50,7
45	50,7	55,7
50	55,7	60,7
55	60,7	65,7
60	65,7	70,7
65	70,7	75,7
70	75,7	80,7
75	80,7	85,7
80	85,7	90,7
85	90,7	95,7
90	95,7	100,7
95	100,7	105,7
100	105,7	110,7

*Tabla 1: Fabricación de corbatas sencillas.*

*Fuente: FORSA S.A.*

<b>ESPESOR DE MURO (cm)</b>	<b>DIM. "A" +/- 0,1 cm</b>	<b>LONGITUD TOTAL CORBATA cm</b>
5	10,7	20,9
6	11,7	21,9
7	12,7	22,9
8	13,7	23,9
9	14,7	24,9
10	15,7	25,9
11	16,7	26,9
12	17,7	27,9
13	18,7	28,9
14	19,7	29,9
15	20,7	30,9
20	25,7	35,9
25	30,7	40,9
30	35,7	45,9
35	40,7	50,9
40	45,7	55,9
45	50,7	60,9
50	55,7	65,9
55	60,7	70,9
60	65,7	75,9
65	70,7	80,9
70	75,7	85,9
75	80,7	90,9
80	85,7	95,9
85	90,7	100,9
90	95,7	105,9
95	100,7	110,9
100	105,7	115,9
105	110,7	120,9
110	115,7	125,9
115	120,7	130,9
120	125,7	135,9

*Tabla 2: Fabricación de corbata plus.*

*Fuente: FORSA S.A.*

Según los planos de fabricación de la corbata sencilla y plus, la principal diferencia radica en la distancia del centro de las perforaciones al extremo puntal de la corbata,

para la corbata sencilla la distancia es de 2,5 cm y para la corbata Plus la distancia es de 5,1 cm en cada extremo.

### **2.1.1.2. Subproceso de embalaje.**

El operario recibe un rollo de cinta stretch de 36cm de longitud, este se fracciona en 4 partes, luego este debe agacharse y recoger de una caja de madera (huaca) las corbatas y formar pilas de 25 corbatas las cuales se organizan en una mesa metálica, cuando se completa una fila de paquetes de 25 corbatas, se toman 2 paquetes de corbatas y en cada extremo se enrolla cinta stretch, dando 17 vueltas aproximadamente, al finalizar este proceso se ubican los nuevos paquetes en una estiba, este proceso se realiza hasta finalizar el embalaje de todas las unidades, la operación de embalaje tarda 1 hora y 8 minutos, tiempo observado que se midió ocupando 2 operarios para embalar 5000 unidades de corbatas.

Se realizan dos operaciones: 1) contar y armar paquetes de 25 corbatas, para esto se ocupa un operador y se realiza de forma manual; 2) unir 2 paquetes de 25 corbatas, se juntan y en cada extremo se envuelve con cinta stretch, para este proceso se ocupa un operario (figura 11).



*Figura 11: Proceso de embalaje.*

*Fuente: FORSA S.A.*

### **2.1.2. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PPC.**

El diagrama de flujo de proceso (PFD) representa de forma esquemática la transformación de la materia prima a lo largo de un proceso de producción, sin ahondar en detalles para hacer más breve su interpretación, el PFD presentado en la figura 12 muestra las entradas y las salidas del flujo de los materiales en las

operaciones del PPC descritas anteriormente, a continuación, la tabla 3 lista las entradas y salidas de las diferentes operaciones identificadas mediante observación.

ENTRADA	OPERACIÓN	SALIDA
Cinta de acero templado	Troquelado	Corbatas (Pieza metálica)
Corbatas (pieza metálica)	Embalaje	Corbatas empacadas

Tabla 3: Entradas y salidas del PPC.

Fuente: Elaboración propia.

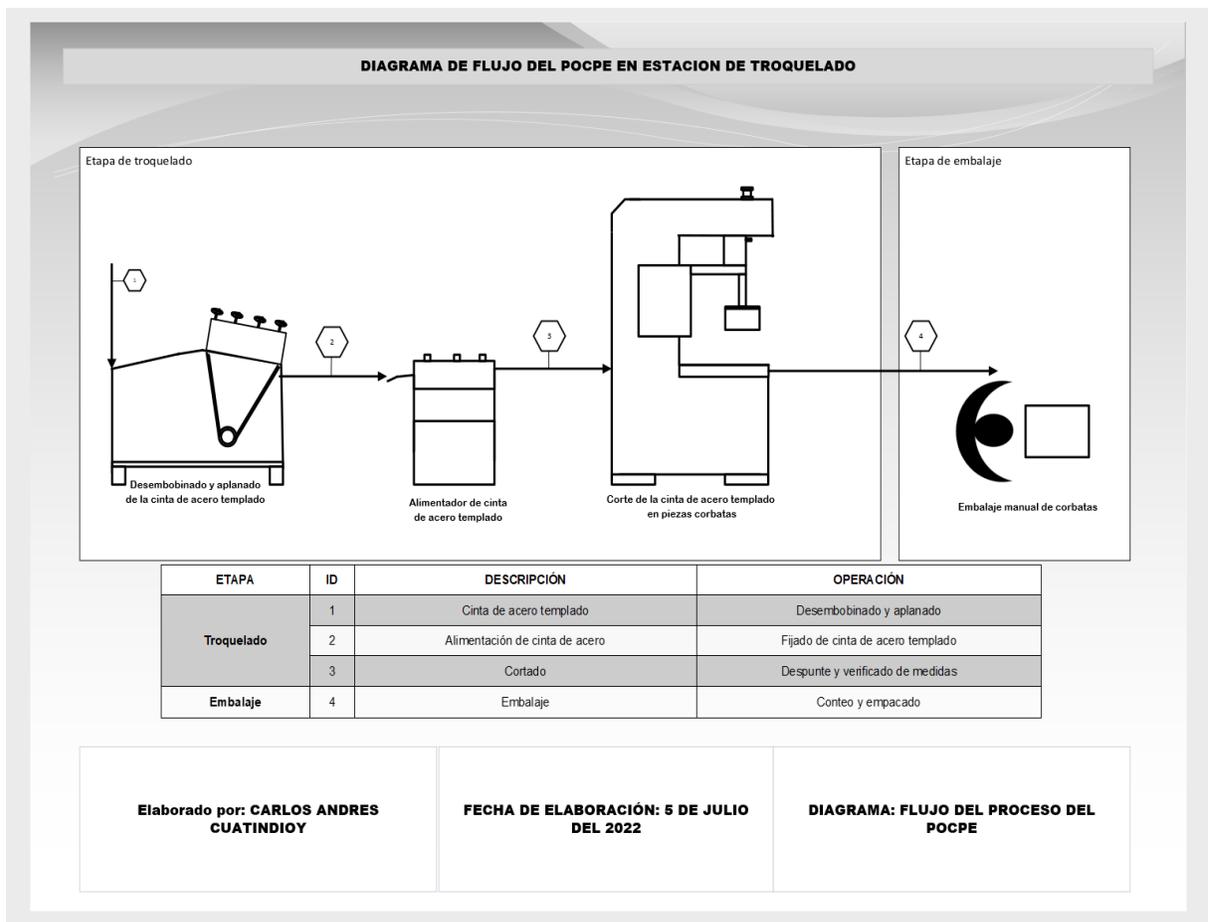


Figura 12: Diagrama de flujo PPC.

Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.3. DIAGNÓSTICO DEL PPC.

En el diagnóstico del PPC se identifican las fases y se determina el nivel de dificultad de estas, además es necesario evaluar el nivel de automatización del proceso, que brinda un fuerte criterio para clasificar el PPC y comparar el estado actual de la línea de corbatas con el diseño del sistema de empacado que resulte de este trabajo. Mediante el proceso de observación se identifican las fases que se ejecutan en cada proceso para la fabricación de corbatas.

#### 2.1.3.1. Evaluación del nivel de dificultad en la ejecución de las fases del PPC.

Para conocer el nivel de dificultad en la ejecución de las fases del PPC (Proceso de Producción de Corbatas), se realiza la tabla 4 con cada uno de los procesos y sus fases. Estas fueron calificadas por los operarios y líderes de proceso, en una escala de dificultad (Bajo(B), Medio(M), Alto(A)) que mide tres criterios: esfuerzo físico que realiza el operario; conocimiento que debe tener el operario para realizar las fases; riesgos del operario al realizar las fases, obteniendo los siguientes resultados.

Procedimiento	Fase	Nivel de dificultad según criterios								
		Esfuerzo físico			Conocimiento			Riesgos		
		B	M	A	B	M	A	B	M	A
Troquelado	Recibir la cinta de acero templado	X			X			X		
	Desmontar el mandril del desenrollador y aplanador		X				X		X	
	Levantar la cinta de acero templado	X					X			X
	Transportar la cinta de acero templado hasta el mango del desenrollador y aplanador		X			X				X
	Ajustar el mandril		X				X	X		
	Retirar los seguros de la cinta de acero templado		X			X				X
	Fijar la cinta en la entrada del aplanador	X					X	X		
	Verificar el ajuste de la cinta de acero templado en el aplanador	X				X		X		
	Ingresar la cinta de acero templado en el alimentador		X				X		X	
	Nivelar el alimentador		X			X		X		

	Verificar el ajuste de la cinta en el alimentador	X					X	X		
	Verificar el nivel del alimentador y la máquina de prensado	X					X	X		
	Fijar la velocidad del alimentador	X					X	X		
	Fijar la medida de corte	X					X	X		
	Realizar el despunte de cinta de acero templado	X					X			X
	Verificar las medidas de la pieza cortada.	X					X	X		
	Verificar estado de la pieza cortada (Corbata)	X					X	X		
<b>Embalaje</b>	Contar las corbatas en grupos de 25 unidades			X		X				X
	Armar paquetes de 2 grupos			X		X				X
	Fijar cinta stretch en los extremos de cada paquete			X		X				X
	Transportar paquete a la estiba			X		X				X
	<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>8</b>

Tabla 4: Nivel de dificultad del PPC.

Fuente: Elaboración propia.

#### a) Análisis del esfuerzo físico.

El nivel de dificultad del PPC en términos generales se clasificó como bajo, aunque existe un porcentaje de dificultad alta identificada en el procedimiento de embalaje, esto se debe a las diferentes fases manuales que se realizan de forma repetitiva.

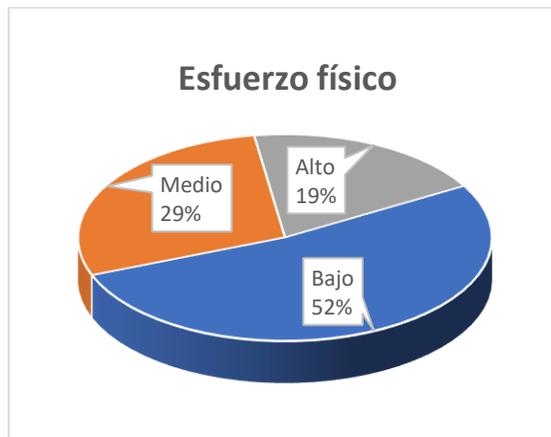


Figura 13: Nivel de esfuerzo físico del PPC.

Fuente: Elaboración propia.

## b) Análisis del nivel de conocimiento.

El nivel de conocimiento para operar el PPC se considera alto, ya que para operar el procedimiento de troquelado se requiere estar certificado y evaluado por el grupo de entrenamiento de la compañía FORSA S.A.

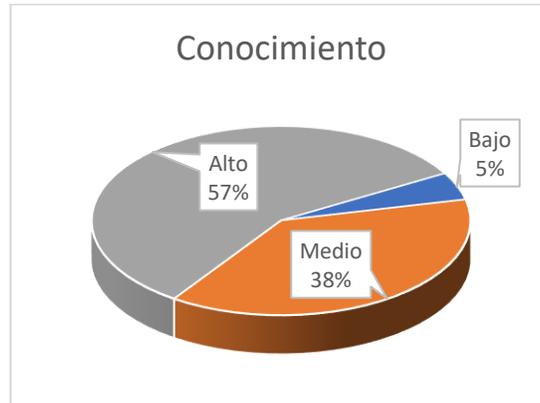


Figura 14: Nivel de conocimiento del PPC.

Fuente: Elaboración propia.

## c) Análisis del nivel de riesgos.

Las operaciones manuales representan diferentes riesgos, en el PPC no se clasificaron los riesgos a los que se expone el operario, según los datos obtenidos el 38% se consideran riesgos altos ligados a las operaciones manuales y repetitivas que se realizan en el procedimiento de embalaje, estos riesgos se asocian posturas de trabajo inadecuadas y/o riesgos biomecánicos. El riesgo bajo ocupa el 52% del PPC y se asocian a lesiones como, atrapamientos, riesgos eléctricos y/o riesgos mecánicos.

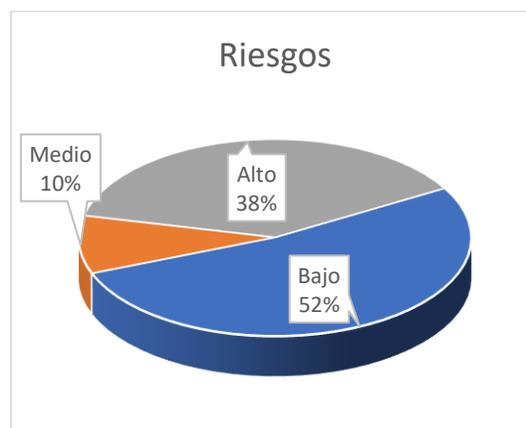


Figura 15: Nivel de riesgos del PPC.

Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.3.2. Nivel de automatización de las fases del PPC.

El nivel de automatización se establece teniendo en cuenta las fases del proceso que se ejecutan de forma manual (acciones que realiza el operario sobre la materia), semiautomáticas (acciones que realiza el operario sobre la materia haciendo uso de herramientas mecánicas, eléctricas, etc.) o automáticos (acciones que realizan los equipo mecánicos, eléctricos, neumáticos, etc., sin la intromisión del operario) [10]. A continuación, se evalúa el nivel de automatización obtenido mediante observación del PPC (tabla 5).

Procedimiento	Fase	Nivel de automatización
Troquelado	Recibir la cinta de acero templado	Manual
	Desmontar el mandril del desenrollador y aplanador	Manual
	Levantar la cinta de acero templado	Semiautomático
	Transportar la cinta de acero templado hasta el mango del desenrollador y aplanador	Semiautomático
	Ajustar el mandril	Manual
	Retirar los seguros de la cinta de acero templado	Manual
	Fijar la cinta en la entrada del aplanador	Manual
	Verificar el ajuste de la cinta de acero templado en el aplanador	Manual
	Ingresar la cinta de acero templado en el alimentador	Manual
	Nivelar el alimentador	Manual
	Verificar el ajuste de la cinta en el alimentador	Manual
	Verificar el nivel del alimentador y la máquina de prensado	Manual
	Fijar la velocidad del alimentador	Manual
	Fijar la medida de corte	Manual
	Realizar el despunte de cinta de acero templado	Semiautomático
	Verificar las medidas de la pieza cortada.	Manual
Verificar estado de la pieza cortada (Corbata)	Manual	
Embalaje	Contar las corbatas en grupos de 25 unidades	Manual
	Armar paquetes de 2 grupos	Manual
	Fijar cinta stretch en los extremos de cada paquete	Manual
	Transportar paquete a la estiba	Manual

Tabla 5: Nivel de automatización de las fases del PPC.

Fuente: Elaboración propia.

El nivel de automatización del PPC se establece como semiautomático, ya que varias fases de los procesos se realizan con ayuda del operario.

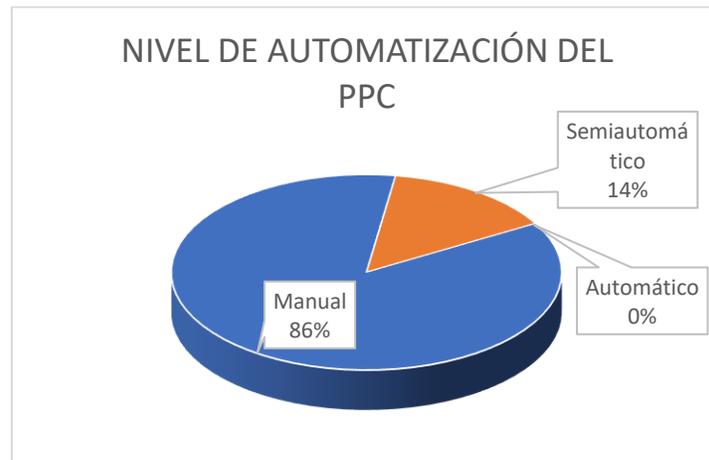


Figura 16: Nivel de automatización del PPC.

Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.3.3. Análisis del PPC en general.

Según la información recolectada, se realizó el análisis general del PPC por etapas, donde algunas operaciones requieren una mirada crítica.

#### **Etapas de proceso embalaje.**

En la fase de contar se recibe una caja que contiene aproximadamente 5000 piezas (corbatas), donde el operario debe agacharse y tomar grupos de 25 corbatas, para luego apilarlas en una mesa metálica a una altura de 90cm, esta operación requiere mucho esfuerzo físico y toma bastante tiempo para ser completada, ya que es una labor repetitiva puede acarrear riesgos biomecánicos en la postura del operario afectando su salud.

En la fase de empacado se debe tomar 2 grupos de 25 corbatas y encintar con cinta stretch en sus dos extremos, realizando aproximadamente 17 vueltas en cada extremo, esta operación de proceso es manual, consume mucho tiempo y es repetitiva, donde el operario adopta una postura inadecuada.

En la operación de proceso "apilado" los paquetes son llevados por el operario a una estiba de madera que se encuentra a 1.5m de distancia aproximadamente de la mesa donde se realiza la operación de proceso "empacado", organizando en filas sucesivas los paquetes, esta operación de proceso requiere esfuerzo físico medio y genera agotamiento al operario.

Lo anterior permitió identificar una serie de necesidades y dificultades inmersas en el PPC que se muestran en la tabla 6.

Prioridad	Necesidad / dificultad
Alta	Necesidad de reducir el tiempo del proceso de empackado.
Media	Necesidad de aumentar la producción de corbatas.
Media	Necesidad de reducir la carga del operario.
Media	La altura de trabajo para el operario es menor a las medidas ergonómicas para trabajar de pie.
Alta	Al operario se le dificulta contar y armar paquetes de corbatas.
Alta	Dificultad del operario para atar los paquetes de corbatas.

Tabla 6: Necesidades y dificultades del PPC.

Fuente: Elaboración propia.

Después del análisis del grado de dificultad del proceso y nivel de automatización se realizó la entrevista con los operarios y líderes del proceso para determinar la mejora en las fases del PPC donde se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 7.

Procedimiento	Fase	Mejora	
		SI	NO
Troquelado	Recibir la cinta de acero templado		X
	Desmontar el mandril del desenrollador y aplanador		X
	Levantar la cinta de acero templado		X
	Transportar la cinta de acero templado hasta el mango del desenrollador y aplanador		X
	Ajustar el mandril		X
	Retirar los seguros de la cinta de acero templado		X
	Fijar la cinta en la entrada del aplanador		X
	Verificar el ajuste de la cinta de acero templado en el aplanador		X
	Ingresar la cinta de acero templado en el alimentador		X
	Nivelar el alimentador		X
	Verificar el ajuste de la cinta en el alimentador		X
Verificar el nivel del alimentador y la máquina de prensado		X	

	Fijar la velocidad del alimentador		X
	Fijar la medida de corte		X
	Realizar el despunte de cinta de acero templado		X
	Verificar las medidas de la pieza cortada.		X
	Verificar estado de la pieza cortada (Corbata)		X
<b>Embalaje</b>	Contar las corbatas en grupos de 25 unidades	X	
	Armar paquetes de 2 grupos	X	
	Fijar cinta stretch en los extremos de cada paquete	X	
	Transportar paquete a la estiba		X

*Tabla 7: Clasificación de mejora según fases del PPC.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3. CAPÍTULO III: DEFINICIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL EMPACADO DE CORBATAS.

Dentro de los diversos métodos para el proceso de diseño industrial que existen, es fundamental determinar las necesidades, expectativas y gustos del cliente, sin alejarse de la finalidad del producto como se menciona en [11]. Es importante resaltar que dentro de este proceso de diseño se considera cliente a un conjunto de personas que participan en el proceso de producción de corbatas (operario, líder de producción, programador, jefe de planta, personal de mantenimiento), esta primera etapa surte los datos que se transforman más adelante dentro del proceso de diseño en los requerimientos funcionales y características deseadas del producto.

#### 3.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS NECESIDADES DEL CLIENTE.

Anteriormente se mencionó que algunas de las etapas del PPC pueden generar un cuello de botella y aumentar la ocupación del personal de planta en este proceso, sin contar que desarrollar esta actividad se hace dificultosa para el personal designado, ya que debe de realizar movimientos repetitivos y/o adoptar posturas inadecuadas, para determinar de forma puntual y aterrizada las necesidades del PPC se realizó una entrevista de forma individual con los involucrados del proceso (clientes).

NECESIDADES DEL CLIENTE	
Planteamiento del cliente	Planteamiento de la necesidad
Que reduzca el tiempo del proceso de empacado.	El sistema de empacado disminuye el tiempo empleado en el proceso de empacado.
Que reduzca la carga de trabajo del operario.	El sistema de empacado permite menor intervención del operario en el proceso de empacado de corbatas.
Que sea segura y mejore los problemas de ergonomía que afectan al operario.	El sistema de empacado reduce la posibilidad de que el operario desarrolle enfermedades evitando las acciones repetitivas y malas posturas.
Que sea capaz de contar y apilar paquetes de corbatas	El sistema de empacado cuenta con un subsistema de conteo y apilado de corbatas.
Que entregue el producto empacado en grupos de 25 unidades.	El sistema de empacado entrega paquetes de corbatas empacadas en grupos de 25 unidades.

Que sea capaz de manejar las diferentes medidas de mayor producción en la línea de corbatas	El sistema de empackado es capaz de empackar corbatas de diferente longitud.
Que el producto mantenga la misma orientación en todos los empaques.	El sistema empacka de forma ordenada y manteniendo siempre la misma orientación.
Que el costo de la máquina no sea elevado.	El sistema de empackado es de bajo costo
Que sea fácil de usar para el operario y de fácil encendido.	El sistema cuenta con indicaciones de uso operativo.
Que el mantenimiento no sea complejo y que pueda ser realizado por los operarios.	Bajo costo de mantenimiento. Fácil calibración Fácil mantenimiento

*Tabla 8: Necesidades del cliente.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Finalmente se establece la importancia de cada necesidad (tabla 9), esto permite definir el orden en que se deben satisfacer y además se fijan las especificaciones que debe contar el sistema automático de empackado. Para establecer la importancia de las necesidades se usó una escala de puntuación donde: 10 es muy importante; 5 es importante; 1 es poco importante.

<b>Ítem</b>	<b>Planteamiento de la necesidad</b>	<b>Importancia</b>
1	El sistema de empackado disminuye el tiempo empleado en el proceso de empackado.	10
2	El sistema de empackado permite disminuir el número de intervenciones del operario en el proceso de empackado de corbatas.	10
3	El sistema de empackado reduce la posibilidad de que el operario desarrolle enfermedades evitando las acciones repetitivas y malas posturas.	5
4	El sistema de empackado controla adecuadamente el proceso de contar y apilar.	10
5	El sistema de empackado entrega paquetes de corbatas en grupos de 25 unidades.	10
6	El sistema de empackado es capaz de empackar corbatas de diferente longitud.	10
7	El sistema empacka de forma ordenada y manteniendo siempre la misma orientación.	5
8	El sistema de empackado es de bajo costo	1

9	El sistema cuenta con indicaciones de uso operativo y arranque fácil	5
10	Bajo costo de mantenimiento (calibración, ajuste de repuestos, lubricación) de forma sencilla.	5

*Tabla 9: Nivel de importancia de las necesidades del cliente.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Una vez finalizado el proceso de identificación y habiendo establecido la jerarquización de las necesidades se procede a fijar las métricas o especificaciones técnicas que permitirán comprobar y cuantificar los requerimientos funcionales del sistema de empacado de corbatas de forma correcta y cumplir con las expectativas de funcionamiento del sistema como se muestra en la tabla 10.

Ítem métrica	Ítem necesidad	Métrica	Importancia Métrica	Unidades
1	1	Tiempo de proceso	10	Min
2	2	Número de intervenciones que realiza el operario para empacar 200 paquetes de 25 unidades.	10	#
3	4	Precisión del subsistema de conteo y apilado	10	Paquetes exitosos/ Paquetes totales
4	5	Éxito de Paquete	10	Corbata en paquete / 25
5	6	Flexibilidad en el sistema	10	Min. Requeridos para hacer cambios
6	9	Tiempo requerido para el inicio del proceso	5	Min.
7	10	Tiempo de mantenimiento	5	Min

*Tabla 10: Métricas del sistema automático para el empacado de corbatas.*

*Fuente: Elaboración propia.*

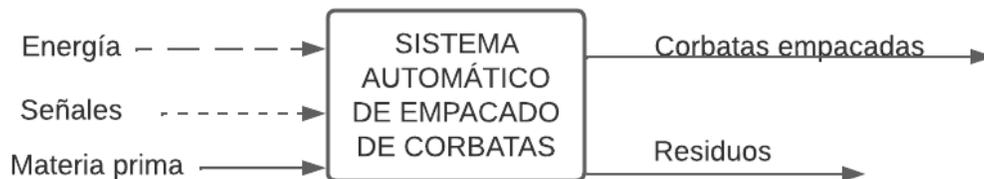
### **3.2. ELABORACIÓN DE DISEÑOS BÁSICOS.**

Para continuar con el proceso de diseño se opta por seguir la metodología de diseño de productos planteada por K. Ulrich and Steven Eppinger en [11], finalizada la etapa de levantamiento de las necesidades del cliente (involucrados del PPC), se

continúa con: elaboración de diseños básicos; elaboración de piezas en la herramienta CAD, evaluación del desempeño funcional.

### 3.2.1. DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL.

Es necesario considerar el sistema automático para el de empaqueo de corbatas como un sistema de caja negra (figura 17), con el fin de diferenciar los subsistemas necesarios a diseñar.



*Figura 17: Caja negra del sistema.*

*Fuente: Elaboración propia.*

La figura 18 representa los elementos externos que interactúan con el sistema de empaqueo de corbatas, entradas y salidas.

**Energía:** para el funcionamiento del sistema se debe alimentar a la red de corriente alterna (120 VAC estándar nacional), o si es necesario a la red neumática con la que cuenta la planta de acero.

**Señales:** entradas al sistema generadas por el operario (arranque del sistema, parada de emergencia, etc.) o por los sensores que se puedan disponer en el sistema.

**Materia prima:** el sistema consume algún tipo de empaque (plástico, cartón, etc.) y se debe surtir de corbatas metálicas para alimentar el sistema de empaqueo de corbatas.

**Salida de corbatas empaçadas:** el sistema debe cumplir con entregar paquetes de 25 corbatas y ser capaz de manejar diferentes medidas de corbatas.

**Salida de residuos:** el proceso de empaqueo genera algún residuo

Determinación de las subfunciones del sistema automático de empaqueo de corbatas.

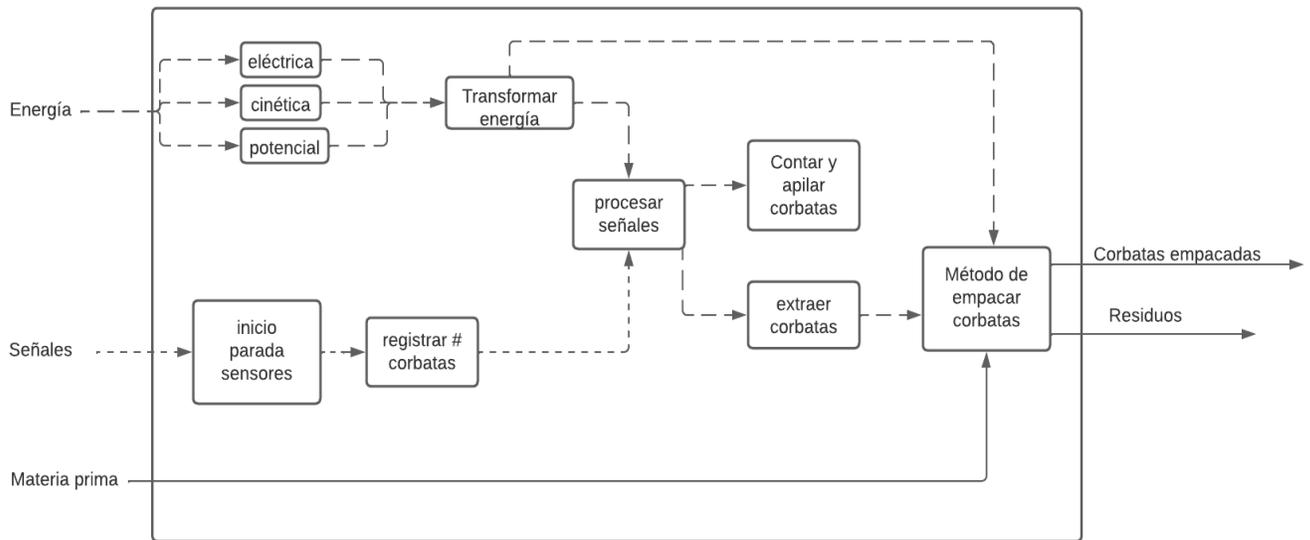


Figura 18: Subfunciones del sistema automático para el empaquetado de corbatas.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.1.1. Función crítica unidad de control.

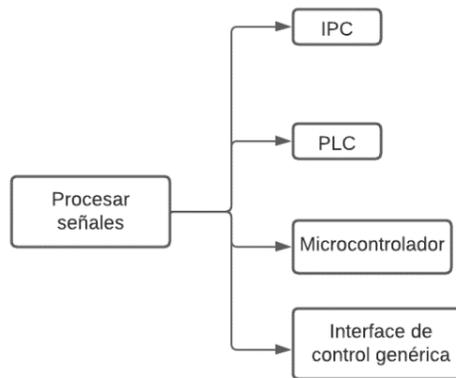


Figura 19: Alternativas de unidad de control.

Fuente: Elaboración propia.

- **IPC:** son computadores robustos diseñados para ambientes hostiles (lugares húmedos, calurosos, polvorientos), estos computadores cuentan con características mayores a los computadores convencionales, tienen mayor robustez mecánica y eléctrica, protección ante factores externos, cuenta con mejores capacidades de almacenamiento, procesamiento y normalmente no

cuenta con una pantalla, son usados para procesos de control y supervisión de procesos.

- **PLC:** es un control lógico programable, se usa en la industria para dar un salto significativo en la automatización de procesos, es prácticamente una computadora aunque de exigencias menores, este dispositivo permite la lectura de entrada y grabación, es decir, permite conocer el estado de los terminales de salida 1 o 0, permite la lectura y realización de algún programa lógico almacenado en la memoria y se ejecutará ininidad de veces, además el programa de ejecución se puede cambiar por cualquier otro dependiendo la necesidad de la empresa, esto lo hace muy versátil y en el mercado se pueden conseguir diferentes modelos y marcas de PLC.
- **Microcontrolador:** es un circuito integrado que permite ejecutar operaciones lógicas para lograr un objetivo, su capacidad de almacenamiento es muy baja y su programación mantiene un nivel de dificultad alto.
- **Interface de control genérica (Arduino, RaspberryPi):** es una placa que cuenta con un procesador, además tiene pines, que se pueden programar como entradas o salidas, su programación es relativamente sencilla y se puede realizar mediante una interface visual, estos dispositivos son muy pequeños y versátiles para dar manejo a diferentes señales de sensores de cualquier clase, es óptimo para ejecutar tareas simples y su versatilidad permite realizar montajes de prototipos para la presentación de proyectos.

### 3.2.1.2. Función crítica del sensor.

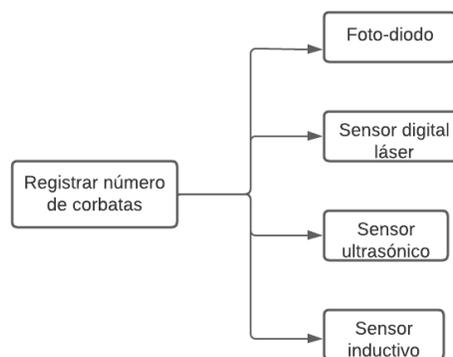


Figura 20: Alternativas tipo de sensor.

Fuente: Elaboración propia.

- **Fotodiodo:** es un dispositivo de foto-uni3n del tipo PN, que al ser expuesto a la luz tiene la capacidad de conducir o no corriente el3ctrica, ya que el material de su construcci3n puede cambiar la resistividad al ser expuesto a

la luz, su tiempo de respuesta es muy alta, suele tardar varios segundos para cambiar de estado, normalmente se encuentra en pares, un diodo que emite luz y el fotodiodo que cambia de estado al ser interrumpido el haz de luz.

- **Sensor digital láser:** este es un dispositivo que usa un láser para emitir un haz de luz en línea recta, esto permite que su posicionamiento sea muy fácil, su funcionamiento es muy sencillo, el dispositivo cuenta con un emisor de láser que es recibido por un receptor de luz que se encuentra en el mismo dispositivo y es capaz de percibir la luz reflejada por el objeto con el que incide, cuenta con diferentes modos de configuración, como modo reflectivo, modo barrera y modo retroreflectivo, cada configuración depende de la necesidad y objeto a censar.
- **Sensor ultrasónico:** este tipo de sensores usan unas ondas ultrasónicas disparadas por un cabezal y reciben la onda reflejada que retorna desde el objeto, el cálculo de la distancia se basa en el tiempo que se demora la onda en regresar al dispositivo, estos dispositivos pueden detectar objetos transparentes, son resistentes a la niebla y lugares con alta densidad de partículas, es capaz de detectar la presencia mallas, resortes, elementos delgados, haciendo de este un sensor muy estable.
- **Sensor inductivo:** estos sensores sólo pueden detectar objetos metálicos, su funcionamiento se basa en crear un campo magnético en la superficie circular de sensor que al ser acercado a un objeto metálico este campo se debilita, la distancia de medición de estos dispositivos está entre los 0.5mm y 5mm.

### 3.2.1.3. Función crítica extracción de paquetes de corbatas.

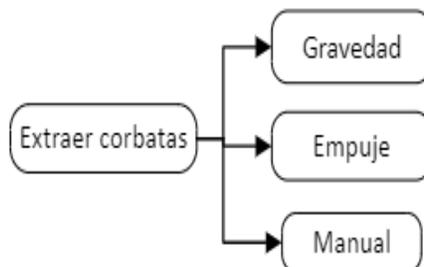


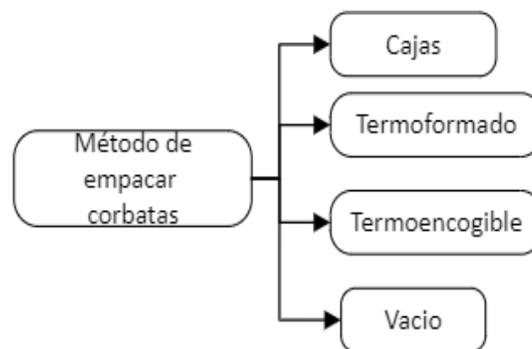
Figura 21: Alternativas método de extracción de corbatas.

Fuente: Elaboración propia.

- **Gravedad:** si se apilan paquetes de corbatas se pueden dejar caer mediante gravedad a otro proceso para continuar con el manejo de estos.

- **Empuje:** la extracción de los paquetes sucede después de que estén apilados y contados una forma para extraerlos de ese proceso es mediante un mecanismo que lo empuje en sentido horizontal y permite enviarlos al proceso siguiente.
- **Manual:** se realiza mediante la intervención del operario donde debe tomar los paquetes de la etapa de apilado y llevarlos hasta la etapa de sellado.

#### 3.2.1.4. Función crítica método de empaque.



*Figura 22: Alternativas método de empaque de corbatas.*

*Fuente: Elaboración propia.*

- **Cajas:** Consiste en introducir productos en cajas, tratando de ocupar la mayor cantidad de espacio, el uso de estas en un proceso aumenta los costos.
- **Termoformado:** este método de empaçar consiste en aplicar una capa de plástico caliente usando presión o vacío sobre el producto para que este se adhiera a la forma del producto, usualmente se usa materiales plásticos como el ABS, poliestireno, policarbonato, PTEG.
- **Termoencogible:** este método consiste en el uso de películas plásticas que al ser sometidas a una fuente de calor se contraen, su uso es muy versátil y se implemente como seguro para el transporte de pacas de productos, como por ejemplo el transporte de pacas de gaseosa.
- **Vacío:** este método consiste en extraer el aire del empaque donde se almacena el producto, usualmente se usa en la industria alimentaria para aumentar la duración del producto.

### 3.3. ELABORACIÓN DE CONCEPTOS DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE EMPACADO DE CORBATAS.

Un concepto es la representación mental y la posterior plasmación de dicho concepto en una forma visual, después de agrupar y analizar las subfunciones del sistema automático para el empacado de corbatas, se plantean soluciones de bajo detalle del sistema, con el propósito de seleccionar o desembocar en un diseño acertado, viable y que cumpla con los requerimientos del cliente.

Para facilitar el diseño del sistema automático de empacado de corbatas, se restringe el uso del sistema para corbatas sencilla y plus cuyo espesor de muro esté entre 8 cm y 25 cm como se presentó en el capítulo 1 en las tablas 1 y 2, además dentro de este rango se encuentran las referencias de mayor demanda.

#### a) Concepto 1.

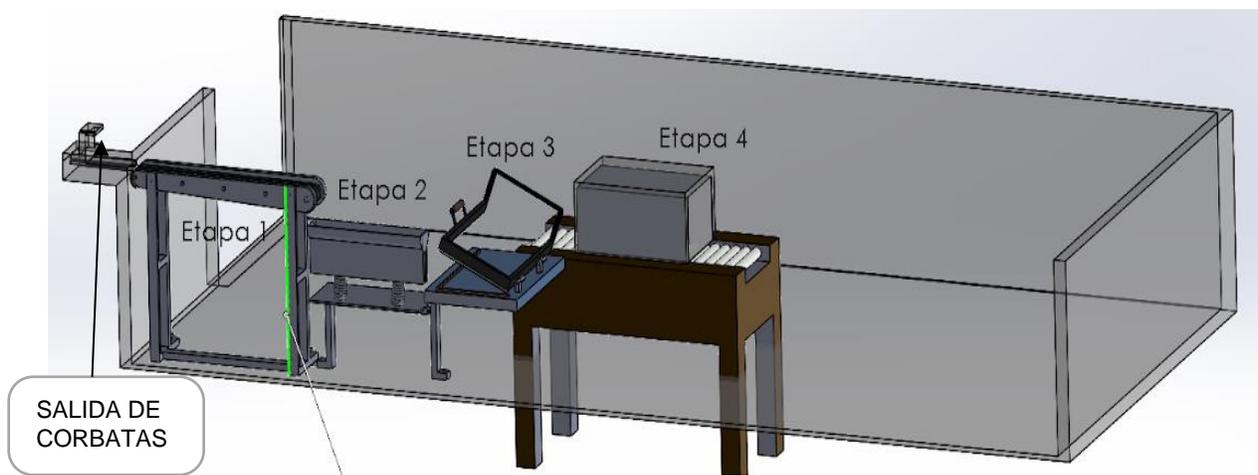


Figura 23: Alternativa concepto 1.

Fuente: Elaboración propia.

**Etapa 1 de transporte:** la máquina de troquelado expulsa las corbatas cerca y su manejo se dificulta, por este motivo se pensó en incluir una banda transportadora que llevará de forma ordenada las corbatas hasta la siguiente etapa.

**Etapa 2 de conteo y apilado:** mediante un sensor se realiza el conteo de corbatas, la tolva de esta etapa cuenta con un motor vibrador que apila las corbatas una sobre otra, luego son extraídas usando un pistón que empuja el paquete a la siguiente estación.

**Etapa 3 de sellado (Atar):** para mantener el paquete de corbatas juntas se propone usar una máquina de sellado manual que usa plástico termoencogible, el paquete es introducido en el condón de termoencogible y luego usando calor generado por

el voltaje aplicado a una resistencia metálica se sellan los extremos del paquete y se pasan de forma manual a la etapa de empaclado.

**Etapa 4 de empaclado:** en esta etapa se implementa un túnel de termoencogido que al ingresar el paquete reduce el tamaño del plástico, para luego ser ubicado de forma manual en una estiba de madera.

#### Problemas identificados en el concepto 1:

- Como la máquina de troquelado de corbatas trabaja a una velocidad de 25 corbatas en 34s, se puede presentar un cuello de botella en la etapa de conteo y apilado, generando atascamiento en el pistón de empuje, además esto obliga a aumentar la velocidad de trabajo de los demás equipos y las operaciones manuales.
- La altura para el trabajo manual es inadecuada, por diseños de ergonomía para trabajos de pie la mesa debe estar entre 90cm y 95cm.

#### b) Concepto 2.

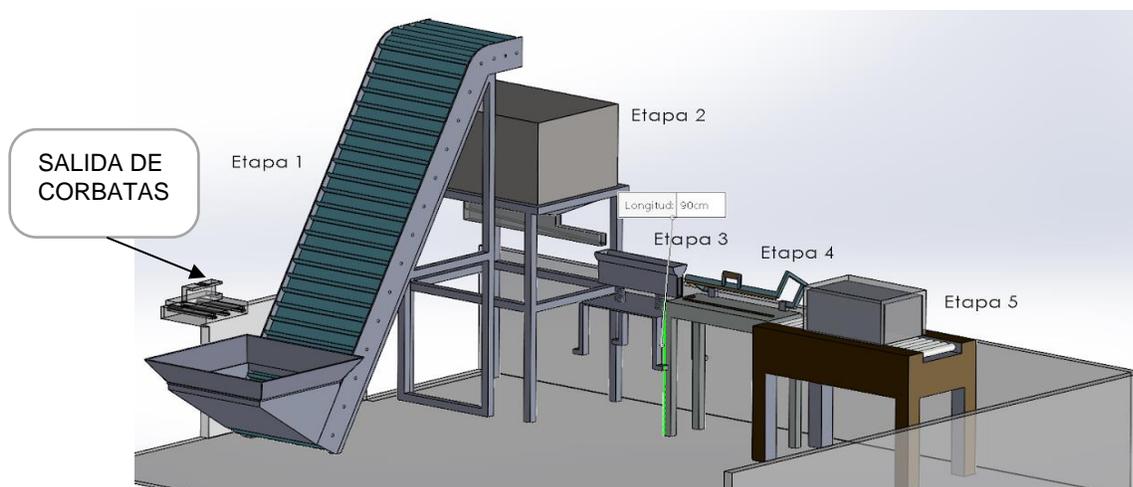


Figura 24: Alternativa concepto 2.

Fuente: Elaboración propia.

**Etapa 1 de transporte:** la etapa de transporte se modifica como una banda transportadora elevadora, esto permite cambiar la altura de trabajo para las siguientes etapas.

**Etapa 2 de dosificación:** en esta etapa se implementa una dosificadora de corbatas que funciona como un pulmón, su función es almacenar las corbatas y entregar una a una a la siguiente etapa, la etapa 2 permite un mayor tiempo para el manejo del producto en las siguientes etapas del sistema.

**Etapa 3 conteo y apilado:** el proceso en esta etapa se mantiene igual a la versión 1.

**Etapa 4 de sellado (atar):** el proceso en esta etapa se mantiene igual a la versión 1, aunque se puede evidenciar que el cambio de altura para el proceso manual.

**Etapa 5 de empackado:** el proceso en esta etapa se mantiene igual a la versión 1.

### Problemas identificados en el concepto 2:

- El costo de fabricación de la banda transportadora elevadora es bastante alto según las cotizaciones realizadas a diferentes proveedores, en este tipo de banda se debe dar buen manejo a las diferentes medidas de corbatas que se producen, garantizar la fluidez del producto, la posición de caída hacia la dosificadora.
- La dosificadora debe contar con un mecanismo para recibir las corbatas en la misma posición como las entrega la etapa de transporte y un mecanismo para entregar las corbatas, se propone usar un motor vibrador facilite el desplazamiento de las corbatas hasta la etapa de conteo y apilado, en este diseño se evidencia que puede existir atascamiento de las corbatas al momento de salir, este método no garantiza que las corbatas puedan salir de una en una.
- El diseño propuesto es muy grande y en la estación de troquelado solo se cuenta con un espacio de 4m x 5m, lo que hace que el sistema de empackado sea difícil de implementar.

### c) Concepto 3.

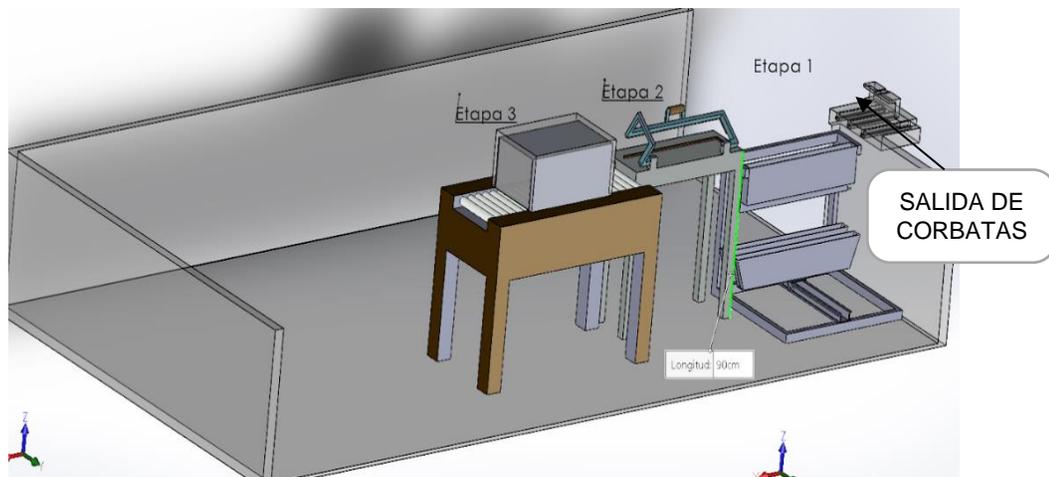


Figura 25: Alternativa concepto 3.

Fuente: Elaboración propia.

**Etapa 1 de conteo y apilado:** para mejorar el tiempo de manejo de los paquetes de corbatas se propone un subsistema que cuenta con un sensor que se encarga

de registrar el número de corbatas, cuando la cantidad de corbatas es igual a 25, un pistón abre una compuerta ubicada en la parte inferior de la canastilla, el paquete de corbatas cae a un contenedor sobre un sistema de rieles, la compuerta se cierra rápidamente, el operario ubica el segundo contenedor en el tope de los rieles quedando debajo de la canastilla para recibir el segundo paquete, mientras se completa el siguiente paquete de corbatas el operario y transporta de forma manual el paquete hacia la etapa siguiente.

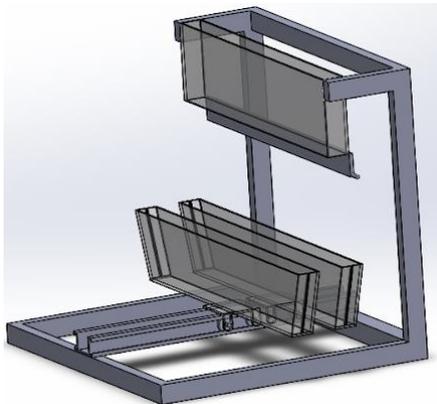


Figura 26: Etapa de conteo y apilado A.

Fuente: Elaboración propia.

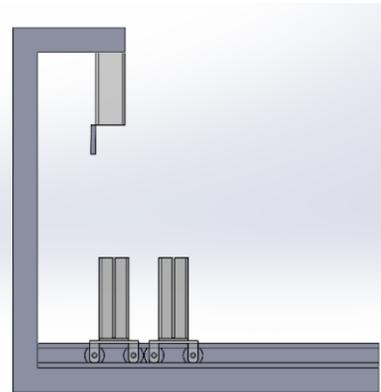


Figura 27: Etapa de conteo y apilado B.

Fuente: Elaboración propia.

**Etapa 2 se sellado (Atar):** el proceso de sellado se mantiene manual, la altura de operación para trabajos de pie es adecuada.

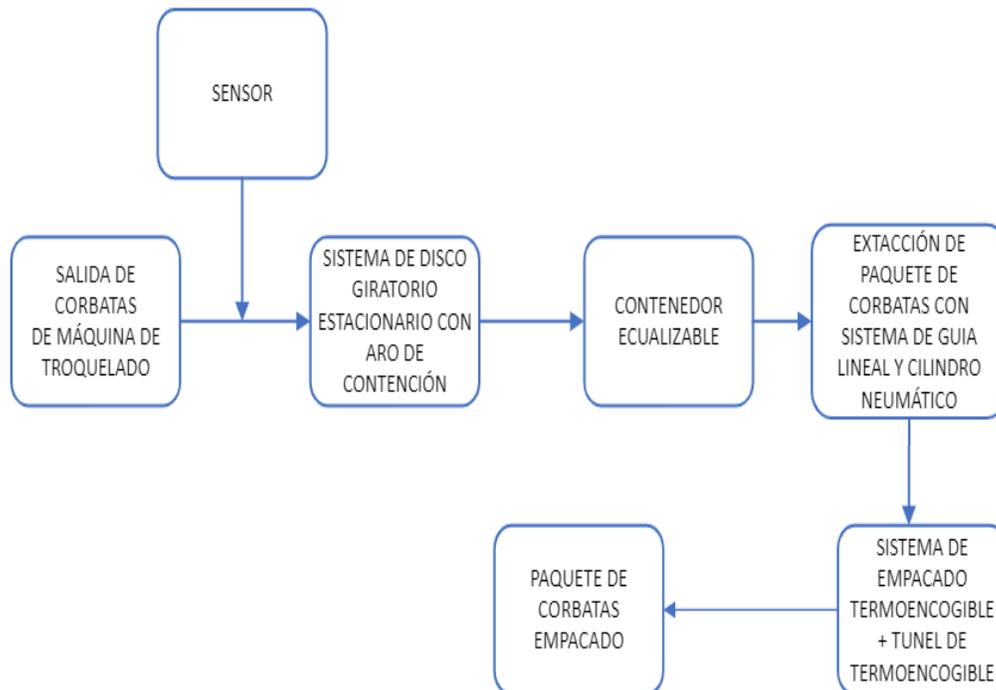
**Etapa 3 de empacado:** el proceso de empacado se mantiene igual a la versión 1.

### Problemas identificados en el concepto 3:

- El operario se ve obligado a realizar la acción repetitiva de agacharse por el paquete de corbatas lo que afecta de forma negativa el requerimiento de mejorar la carga del operario y evitar afecciones a su salud por acciones repetitivas.
- El mecanismo para extraer el paquete de corbatas del contenedor es manual y puede causar daños al operario al momento de realizar esta actividad.
- La velocidad de trabajo aumenta para el operario, dando como resultado.
- El diseño de la canastilla debe mejorar para recibir en forma ordenada los paquetes de corbatas.

- La canastilla y los contenedores deben ajustarse a las diferentes medidas de longitud de las corbatas.

**d) Concepto 4.**



*Figura 28: Alternativa de concepto 4.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Partiendo del diagrama de subfunciones, se plantea el concepto 4 presentado en la figura 28, donde el conteo de corbatas se realiza mediante la señal de un sensor, las corbatas por gravedad caen a un sistema de disco giratorio rodeado por un aro de contención, sobre el disco se ubican los contenedores adaptativos (acepta medidas diferentes de corbatas) separados a ciertos grados, cuando la señal del sensor mide que la capacidad del contenedor llegó a su máximo, el sistema de disco gira, para ubicar el siguiente contenedor y esperar el llenado de corbatas. En una sección del aro existe una abertura que servirá para extraer el paquete de corbatas, haciendo uso de una guía lineal ubicada de forma horizontal que sobrepasa la medida del contenedor adaptativo, sobre la guía lineal se fija un cilindro neumático que servirá como órgano para extraer por arrastre el paquete de corbatas que finalmente queda dispuesto para el empaquetado en cualquier otro módulo o equipo comercial.

### 3.4. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE CONCEPTO.

En la tabla 11 se presenta la evaluación cualitativa de cada concepto presentado anteriormente, se utilizó la escala de calificación donde: 10 es muy aceptable; 5 es aceptable; 1 es poco aceptable, buscando identificar cuál de los conceptos satisface en su mayoría las necesidades planteadas por el cliente, dicho esto, se seleccionó el concepto 4, los resultados se presentan a continuación.

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	CONCEPTO			
	1	2	3	4
Tiempo de proceso	5	1	5	5
Número de intervenciones que realiza el operario para empacar 200 paquetes de 25 unidades.	5	5	1	5
Precisión del subsistema de conteo y apilado	1	1	5	10
Éxito de Paquete	5	1	5	10
Flexibilidad en el sistema	1	1	1	5
Tiempo requerido para el inicio del proceso	5	5	5	5
Tiempo de mantenimiento	1	1	5	5
<b>Continua S/N</b>	<b>N</b>	<b>N</b>	<b>N</b>	<b>S</b>

*Tabla 11: Evaluación de conceptos.*

*Fuente: Elaboración propia.*

## **4. CAPÍTULO IV: DISEÑO A NIVEL DE SISTEMA.**

Anteriormente se definieron las necesidades del cliente y así mismo los conceptos que podrían ser solución a dichas necesidades, luego de la evaluación y selección del concepto viable bajo el criterio de las funciones específicas que debe cumplir. Durante el desarrollo del concepto no se da importancia a la arquitectura que conforma el producto, el concepto se enfoca en las funciones críticas que son el resultado de las necesidades del cliente a satisfacer, dichas funciones críticas se definen en este capítulo como elementos funcionales (acciones) que se relacionan estrechamente con elementos físicos y en conjunto forman la arquitectura del producto. En este capítulo se aborda la arquitectura del producto desde una visión panorámica a nivel de sistema, es decir, definir diferentes aspectos como los elementos funcionales, disposición de los elementos físicos dentro del sistema y las relaciones entre los diferentes elementos, para de lograr un diseño estético y funcional del sistema automático para el empaqueo de corbatas.

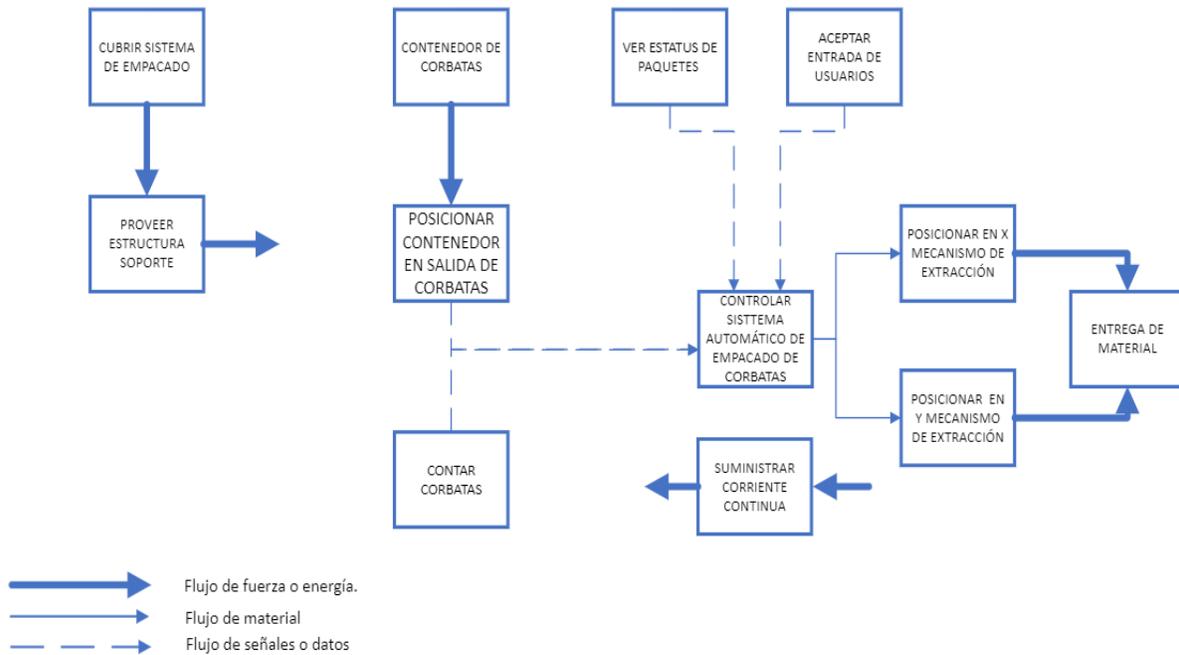
Un elemento funcional de un producto es la operación individual que contribuye al rendimiento general del producto, por otro lado, el elemento físico es la parte, componente o subcomponente que en última instancia pone en práctica la función del producto. La arquitectura del producto es una de las decisiones que repercuten en la capacidad del producto para lograr la estandarización de componentes, variedad del producto, rendimiento del producto, capacidad de ser manufacturado, lo que convierte la arquitectura del producto en un elemento central del desarrollo del concepto.

Para abordar la definición de la arquitectura del producto se desarrollarán cuatro pasos propuestos en la metodología de diseño y desarrollo de productos de Ulrich [11], el resultado final de esta actividad es la disposición geométrica aproximada y el diagrama de interacciones de los componentes del sistema automático de empaqueo de corbatas metálicas.

### **4.1. CREACIÓN DEL ESQUEMA DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE EMPAQUEO DE CORBATAS METÁLICAS.**

El esquema es un diagrama que representa la idea que se tiene del sistema y de los elementos constitutivos que lo conforman. Al final de la fase de desarrollo del concepto, algunos de los elementos del esquema son elementos físicos (entrada/salida de materia prima), otros son elementos críticos que se afinan del resultado del capítulo anterior, no obstante algunos elementos continúan descritos sólo funcionalmente, son elementos funcionales que no han sido reducidos a conceptos o componentes físicos, como por ejemplo registrar el número de corbatas empaquadas, ya que no está decidido el método de pantalla y registro. Los elementos

que han sido definidos como conceptos o componentes son de importancia esencial para el concepto básico del sistema propuesto en este documento, los elementos que continúan sin especificar como el ejemplo anterior se convierten en funciones auxiliares del sistema.



*Figura 29: Esquema del sistema automático para el empacado de corbatas.*

*Fuente: Elaboración propia.*

En la figura 29 se muestra el esquema planteado del sistema automático para el empacado de corbatas, algunos de los elementos que conforman tal sistema se asociará a elementos físicos más adelante cómo: cubrir el sistema de empacado, proveer estructura de soporte, contenedor de corbatas, posicionar contenedor, contar corbatas, posicionar mecanismo de extracción en eje X, posicionar mecanismo de extracción en eje Y, los elementos auxiliares del sistema como ver estatus de paquetes o aceptar entradas de usuario no son imprescindibles para el funcionamiento del sistema y se pueden describir sin ser reducidos a conceptos o componentes físicos, además se muestran las diferentes relaciones como el flujo de material, flujo de energía o fuerza y flujo de señales, estas últimas se transmiten desde los diferentes elementos del sistema hacia un controlador que interpreta dichas señales y retorna señales de salida que accionan elementos físicos que ejecutan tales acciones dentro del sistema. El esquema refleja la mejor idea del estado del producto, aunque no abarca todos los detalles, ya que el objetivo es esquematizar las funciones críticas del sistema y permite quedar abierto a ajustes necesarios a lo largo del desarrollo del sistema o producto. El esquema creado no

es único, pero es la transformación y mejora de un esquema inicial y define parcialmente la arquitectura del sistema.

#### 4.2. AGRUPACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL ESQUEMA.

Para lograr una agrupación de elementos del esquema es necesario saber que los elementos físicos de un producto se organizan de manera específica en varios elementos de construcción más grandes, que se llaman trozos. Un trozo entonces está compuesto por un conjunto de componentes que ponen en práctica las funciones del producto. Quizás la característica más importante de la arquitectura de un producto sea la modularidad, una arquitectura modular tiene las dos propiedades siguientes: los trozos activan uno o pocos elementos funcionales en su totalidad; la interacción entre trozos está bien definida y son generalmente fundamentales para las funciones primarias del producto.

Una arquitectura totalmente modular que puede haber es donde cada elemento funcional del producto es activado por un trozo físico exactamente, este tipo de arquitectura facilita que una actualización de diseño se aplique a un trozo sin afectar o requerir cambios en otros trozos.

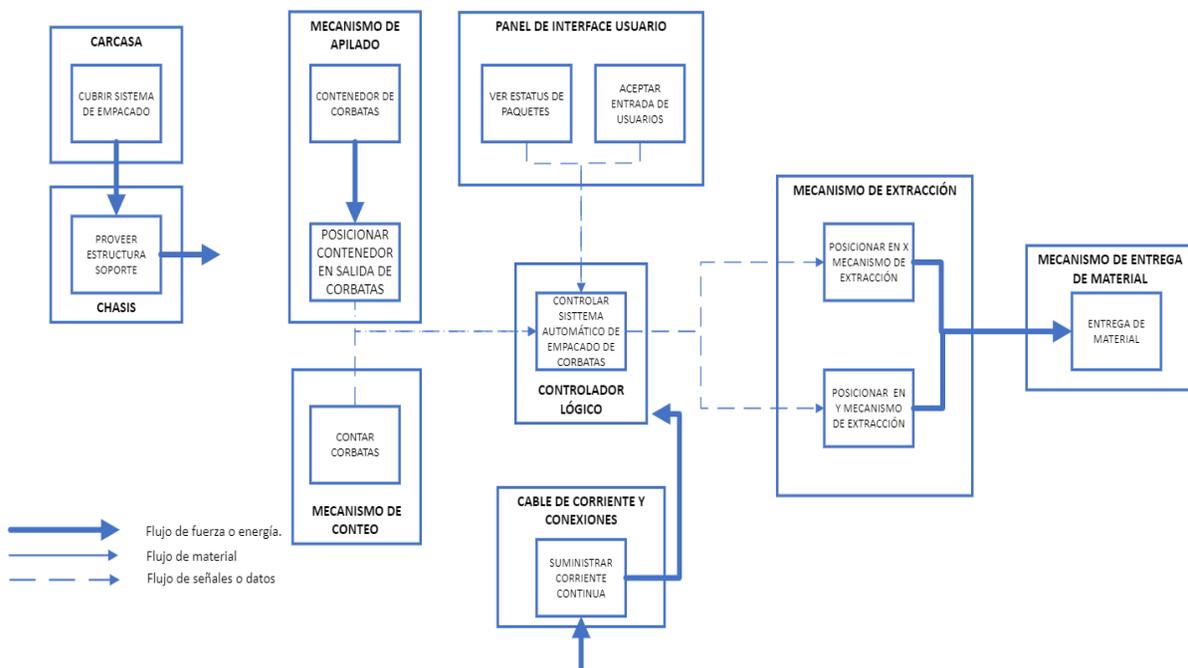


Figura 30: Agrupación de elementos del esquema.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 30, se asignan los elementos del esquema a un trozo, se puede asignar un elemento a un único trozo o diferentes elementos a un trozo, la agrupación realizada para el trozo chasis contiene el elemento “cubrir sistema de empaquetado” y el trozo “mecanismo de apilado” contiene dos elementos “contenedor de corbatas y posicionar contenedor”, la agrupación establecida permite mejorar la coordinación durante el desarrollo del producto, cambiar o modificar el diseño sin afectar otros trozos, además permite visualizar una posible distribución física de los elementos dentro del sistema. La agrupación de elementos desarrollada muestra 9 trozos, un caso extremo a esta agrupación sería asignar todos los elementos funcionales a un solo trozo y tratar de integrar físicamente todos los elementos del producto, el caso contrario sería asignar un trozo a cada elemento del esquema y agrupar elementos donde sea ventajoso, para determinar cuándo una agrupación es ventajosa se consideran los siguientes factores:

**Integración geométrica y precisión:** los elementos que requieran una ubicación precisa pueden ser mejor diseñados si son parte de un mismo trozo.

**Función compartida:** Cuando un componente físico puede implementar varios elementos funcionales del producto, estos elementos se pueden agrupar.

**Similitud de tecnología de diseño o producción:** cuando dos o más elementos funcionales se activan usando la misma tecnología de diseño y/o producción, entonces se pueden incorporar estos elementos a un mismo trozo, buscando que el costo de producción sea más bajo.

**Localización del cambio:** anticipar muchos cambios en algún elemento, hace pertinente aislar tal elemento en un solo trozo, para que los cambios necesarios no afecten otros trozos.

**Agrupar para la variedad:** pensado en modificar el producto de modo que tenga valor para los clientes; ejemplo, interfaz para conexión a 120V Ac / 240v Ac.

**Permitir estandarización:** si un conjunto de elementos va a ser útil en otros productos, estos deben de agruparse, facilitando su producción a gran escala. Considerando el diagrama de la figura 29, el mecanismo de apilado que contiene dos elementos, están estrechamente relacionados, ya que el contenedor de corbatas y el elemento posicionar contenedor, se pueden diseñar pensando en que el elemento posicionar contenedor contenga 2, 3, 4 o hasta más contenedores de corbatas, dicho esto, tales elementos deberán disponer de algunas características estándar en su fabricación que faciliten el ensamble o cambio dentro del mismo trozo.

#### 4.3. DISPOSICIÓN GEOMÉTRICA APROXIMADA DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE EMPACADO DE CORBATAS METÁLICAS.

El desarrollo del esquema y la agrupación de elementos, dan paso a crear la disposición geométrica del sistema, esta disposición geométrica brinda un primer acercamiento del diseño que se puede lograr. La disposición geométrica se representa mediante un dibujo en 2D o 3D, en las figuras 31 y 32, se aprecia la posición de los trozos principales. Una ventaja de la disposición geométrica es considerar si las interfaces geométricas entre los trozos son factibles, además permite una visión amplia de las posibles medidas y ocupación. El resultado de esta disposición es la evolución de diferentes alternativas.

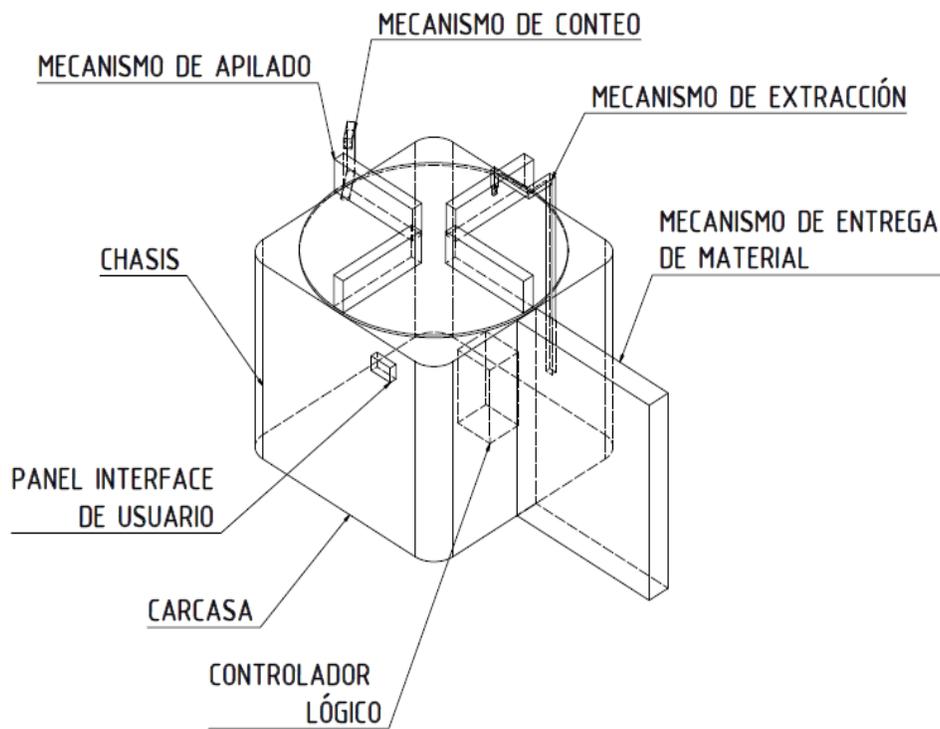


Figura 31: Disposición geométrica 3D del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

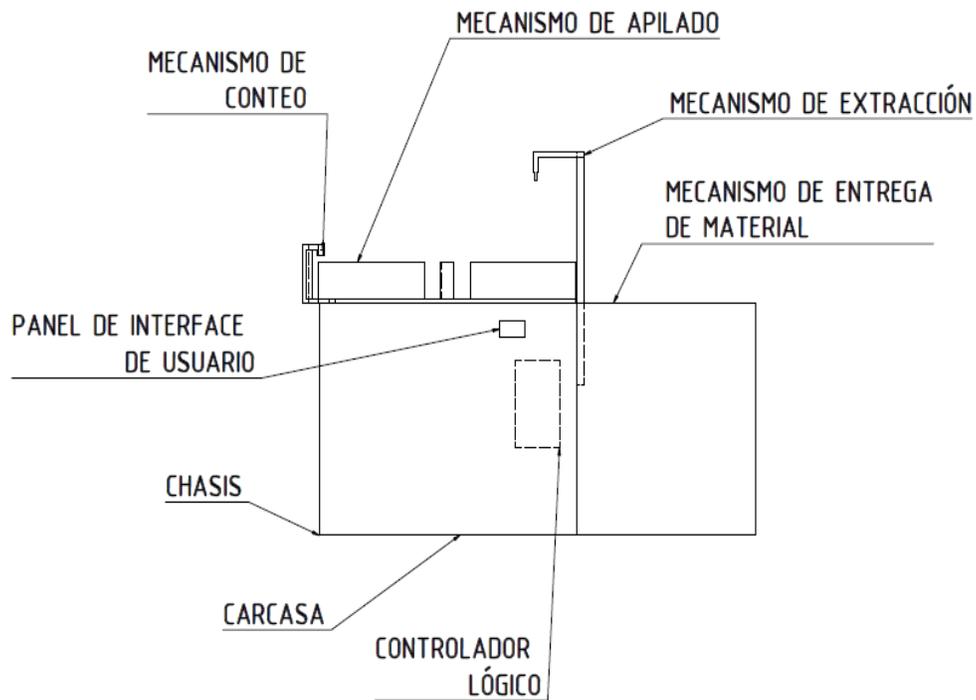


Figura 32: Disposición geométrica 2D del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4. IDENTIFICACIÓN DE INTERACCIONES FUNDAMENTALES E INCIDENTALES.

Debido a que cada trozo interactúa con uno o más trozos es importante identificar las interacciones durante la fase de diseño a nivel de sistema. Las interacciones entre trozos pueden ser de dos tipos: interacciones fundamentales que son planeadas incluso desde el primer esquema, ya que son fundamentales para el funcionamiento del sistema, como por ejemplo que una corbata metálica pueda ser registrada o contada por el mecanismo de conteo; las interacciones incidentales que resultan de la activación o ejecución de la función de un trozo según la disposición geométrica que se le dé dentro del sistema, por ejemplo las vibraciones del mecanismo de apilado podrían afectar las señales del mecanismo de conteo, aunque el sistema no se haya diseñado para vibrar.

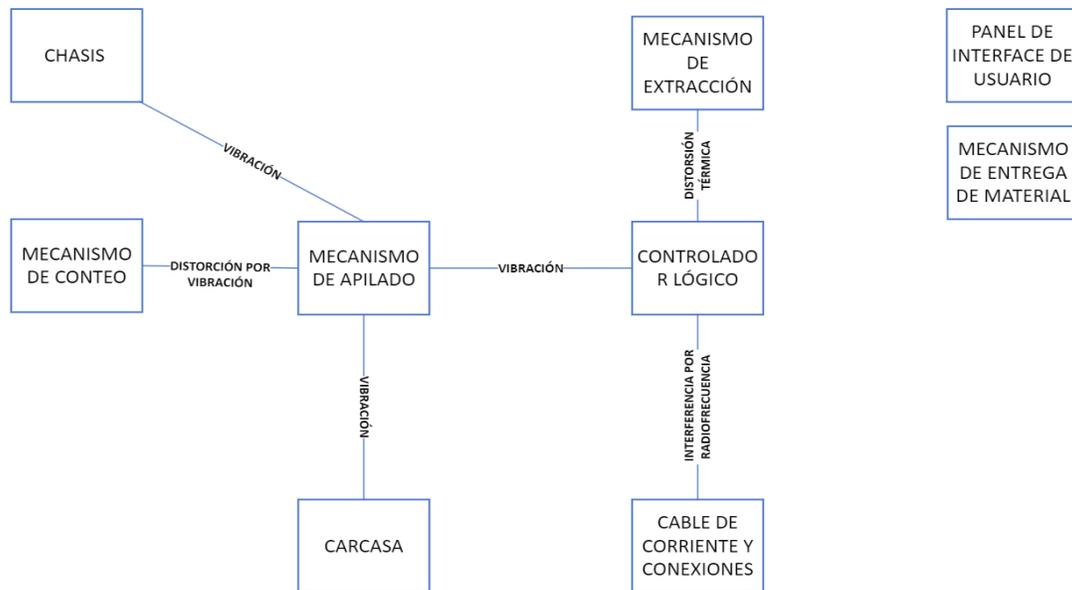


Figura 33: Diagrama de interacciones incidentales.

Fuente: Elaboración propia.

En el diagrama de interacciones de la figura 33 se sugiere que la vibración y la distorsión térmica son interacciones incidentales entre trozos que crean calor y movimiento al activar dichos trozos, definir claramente las interacciones entre trozos permite una mejor coordinación para el desarrollo y logra un diseño con mínimas interacciones incidentales. La subdivisión del sistema en trozos facilita el proceso de desarrollo y análisis de diseño. Cada componente o subcomponente puede abordarse en el diseño de forma individual, mientras que la red de interacciones, denominada arquitectura del producto contribuye a una comprensión más profunda del funcionamiento integral del sistema.

Cabe mencionar que, en el proceso de diseño es importante plantear la construcción del sistema automático para el empacado de corbatas, siguiendo los criterios de seguridad delineados por la compañía FORSA S.A. Esto cobra especial importancia debido a que la compañía opera en la industria metalúrgica, especialista en fabricar sistemas de encofrado y sistemas de seguridad. Las soluciones que ofrece FORSA S.A al mercado se fabrican sobre factor de seguridad (FoS) entre 2 y 3, haciendo referencia a la relación entre la carga que puede soportar un accesorio y la carga máxima que realmente admite. Se debe pensar en un diseño donde se minimicen los riesgos laborales (mecánicos, eléctricos, ergonómicos, ambientales, etc.), por lo tanto, para llevar a cabo el desarrollo del diseño contando con el factor de riesgos y seguridad se considera la norma ISO 12100:2010, que es una guía aplicable durante el proceso de fabricación de máquinas, estableciendo procedimientos específicos orientados a la seguridad en el diseño de máquinas en términos de evaluación y reducción de riesgos.

## 5. CAPÍTULO V: DISEÑO DE DETALLES.

El diseño de detalle del sistema afina y describe en términos de forma, material y función, los diferentes elementos y trozos identificados en el capítulo anterior. Estos se pueden representar usando planos, esquemas o modelos 3D, proporcionando información que hacen factible su fabricación y ensamble. El uso de herramientas software CAD y CAE como SolidWorks® agilizan el proceso de diseño y optimizan el proceso de ingeniería, facilitando el análisis de diferentes factores (fuerzas estáticas), que intervienen sobre cada elemento del sistema para garantizar su correcto funcionamiento. Estructurando y simplificando la comprensión del análisis del diseño a nivel de detalle, se propone presentar primero la descripción de cada trozo, seguido de la función que cumple, los cálculos de subcomponentes si es necesario, el material de fabricación, análisis de cargas y esfuerzos, descripción del posible proceso de fabricación, optimización de material y selección de subcomponentes en caso de ser necesario.

Cabe mencionar que en la compañía FORSA los sistemas de encofrado, seguridad y andamios, cumplen con un FoS que se rige bajo las normas de seguridad de cada país a donde se exportan los sistemas FORSA y según las necesidades de cada cliente. Aunque internamente se han establecido algunos valores para el FoS según el accesorio a fabricar y el tipo de construcción, como se muestra en la figura 34.

Accessory	Safety factor	Type of construction
Form tie	2.0	All applications
Form anchor	2.0	Formwork supporting form weight and concrete pressures only
	3.0	Formwork supporting weight of forms, concrete, construction live loads, and impact
Form hangers	2.0	All applications
Anchoring inserts used as form ties	2.0	Precast-concrete panels when used as formwork

*Figura 34: Factor de seguridad por accesorio.*

*Fuente: FORSA S.A.*

Para las corbatas se maneja un FoS de 2, aunque este se considera alto debido al tipo de material del que está fabricado y el tratamiento de temple que se le aplique, además se conoce que para la fabricación de formaletas para encofrados se cumplen las normas NBR 15696, UNE 180201 y ACI 347-01 según el país de exportación. Usando aluminio estructural AL 6061-T6, se puede soportar una carga máxima de vaciado de 60 KPa y obtener un FoS mínimo de 2, esto debido al alto módulo de elasticidad del material. Como especificación de FoS, la compañía

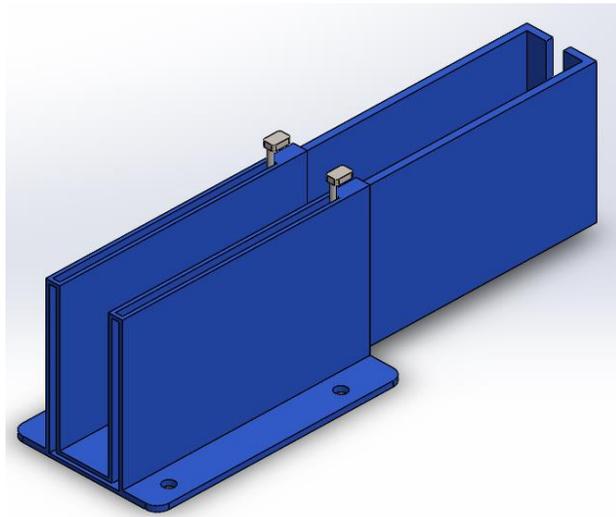
sugiere que el FoS mínimo del diseño mecánico propuesto en este documento esté cerca de los valores de las memorias de cálculo que se manejan internamente, FoS entre 2 y 3.

## 5.1. MECANISMO DE APILADO.

Se define este trozo como el conjunto de dos elementos funcionales para realizar el apilado de corbatas metálicas, este mecanismo debe ser capaz de contener diferentes medidas de corbatas y además el mecanismo debe ser capaz de posicionarse justo en la salida de material de la troqueladora del PPC.

### 5.1.1. CONTENEDOR DE CORBATAS.

Este elemento funcional debe ser capaz de ajustarse a las dimensiones de las diferentes corbatas metálicas, para ello se pensó en ecualizar el contenedor haciendo uso de una cremallera y un pin que facilita el bloqueo de la medida a contener, tal como se muestra en la figura 35 – 36.



*Figura 35: Contenedor de corbatas.*

*Fuente: Elaboración propia.*

El mecanismo para ajustar la medida según el tipo de corbata se basa en un sistema de pin-resorte que bloquea y desbloquea el avance del macho mediante una cremallera posicionada al interior de la hembra, su proceso de fabricación es mediante laminación y soldadura en la base de platina.

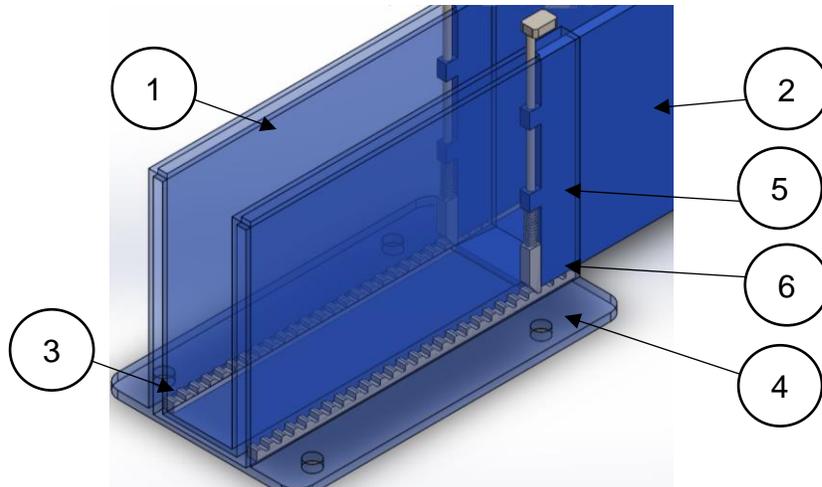


Figura 36: Vista transparente contenedor de corbatas.

Fuente: Elaboración propia.

- |           |              |                 |
|-----------|--------------|-----------------|
| 1. Hembra | 3. Dentado   | 5. Tornillo pin |
| 2. Macho  | 4. Pin reten | 6. Resorte      |

Las tablas 12 y 13 muestran la calibración de la medida de abertura del contenedor para las corbatas sencilla y plus, tomando en cuenta las diferentes dimensiones de corbata a fabricar según el espesor del muro. Para las corbatas sencillas la capacidad de almacenamiento dimensional está entre M8 y M25, en contraste la capacidad de almacenamiento dimensional para las corbatas plus está entre M8 y M20.

CORBATA SENCILLA				
ESPESOR DE MURO (cm)	LONGITUD TOTAL cm	MASA EN Kg	DISTANCIA EN CONTENEDOR	DIFERENCIA U HOLGURA
8	18.7	0.165	22.9	4.2
9	19.7	0.173	22.9	3.2
10	20.7	0.182	22.9	2.2
11	21.7	0.196	22.9	1.2
12	22.7	0.21	22.9	0.2
13	23.7	0.222	23.7	0
14	24.7	0.227	25.3	0.6
15	25.7	0.234	26.1	0.4
20	30.7	0.268	30.9	0.2
25	35.7	0.314	35.7	0

Tabla 12: Calibración de distancia en contenedor para corbata sencilla.

Fuente: Elaboración propia.

CORBATA PLUS				
ESPESOR DE MURO (cm)	LONGITUD TOTAL cm	MASA EN Kg	DISTANCIA EN CONTENEDOR	DIFERENCIA U HOLGURA
8	23.9	0.308	24.5	0.6
9	24.9	0.322	25.3	0.4
10	25.9	0.336	26.1	0.2
11	26.9	0.35	26.9	0
12	27.9	0.364	28.5	0.6
13	28.9	0.379	29.3	0.4
14	29.9	0.393	30.1	0.2
15	30.9	0.407	30.9	0
20	35.9	0.477	36.5	0.6

Tabla 13: Calibración de distancia en contenedor para corbata plus.

Fuente: Elaboración propia.

Las tablas anteriores establecen la capacidad de contención dimensional y holgura para el mecanismo de apilado del sistema.

#### 5.1.1.1. Análisis estático en contenedor de corbatas.

Para realizar el análisis de estático sobre el elemento funcional se estableció el material y mediante el software SolidWorks® se calculó la masa y el límite elástico de cada elemento, esta información es importante para realizar el cálculo del factor de seguridad y la tensión máxima soportada.

Nº	COMPONENTE	MATERIAL	CANT.	LÍMITE ELÁSTICO N/mm <sup>2</sup> (Mpa)	MASA EN KG
1	HEMBRA	1020 CHAPA DE ACERO AL CARBONO (SS)	1	282.685049	3.72
2	MACHO	AISI 321 ACERO INOXIDABLE RECOCIDO (SS)	1	234.421748	3.15
3	DENTADO	AISI 316 BARRA DE ACERO INOXIDABLE RECOCIDO (SS)	2	137.8951459	0.04627
4	PIN RETEN	AISI 316 BARRA DE ACERO INOXIDABLE RECOCIDO (SS)	2	137.8951459	0.00809
5	TORNILLO PIN	AISI 316 BARRA DE ACERO INOXIDABLE RECOCIDO (SS)	2	137.8951459	0.01878
6	RESORTE	AISI 1045 ACERO ESTIRADO EN FRIO	2	530	0.00059
				<b>MASA TOTAL</b>	<b>7.022</b>

Tabla 14: Características de material por componente del ensamble contenedor de corbatas.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez establecidas las características del material del elemento funcional se realiza la simulación, estableciendo a (S1) cómo componente de sujeción y

aplicando la fuerza de 25 corbatas plus M20 en (F1) cómo el caso extremo de carga máxima, conociendo que el funcionamiento normal el contenedor es recibir corbatas una a una hasta llegar a las 25 unidades.

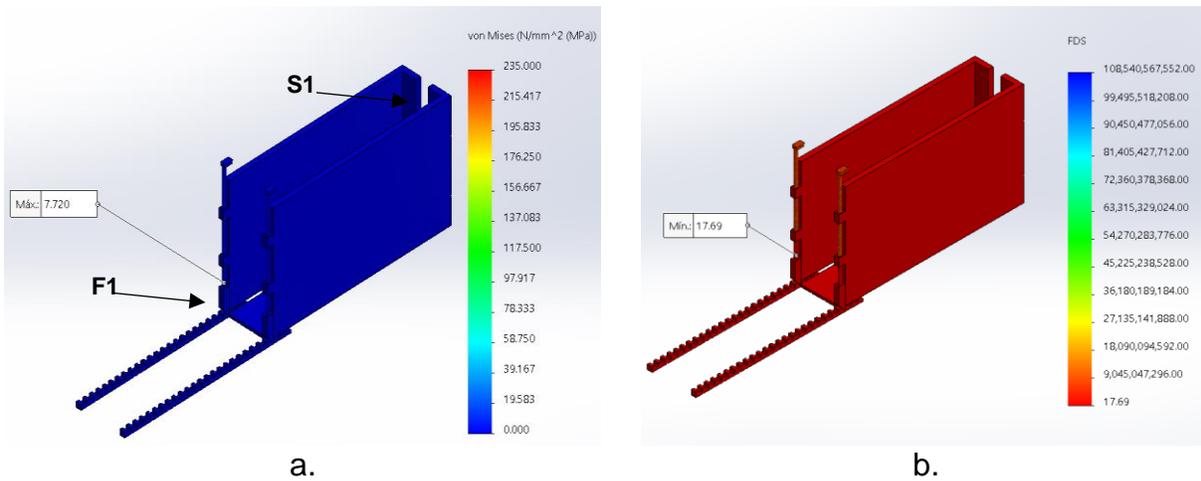


Figura 37: Análisis de tensión máxima en contenedor adaptable (a), análisis de FoS del contenedor adaptable (b).

Fuente: Elaboración propia.

SUJECCIÓN	FUERZA APLICADA EN F1 (N)	TENSIÓN RESULTANTE MÁX Mpa	FACTOR DE SEGURIDAD MIN
S1	116,865	7,72	18,00

Tabla 15: Resultado de simulación del análisis en contenedor adaptable.

Fuente: Elaboración propia.

La fuerza aplicada en F1 se calcula de la multiplicación de la masa de la corbata plus M20 por la gravedad y por 25 unidades, para simular el caso máximo de carga, como lo muestra la ecuación (2).

$$F1 = m * g * 25 \quad (2)$$

De la tabla 15, se conoce que mediante la simulación de la fuerza máxima aplicada se obtiene la tensión máxima de 7,72 Mpa y un FoS mínimo de 18, que es alto en comparación a los valores mínimos establecidos.

### 5.1.2. POSICIONAR CONTENEDOR DE CORBATAS.

Este elemento funcional, en conjunto con un servomotor debe ser capaz de posicionar el contenedor de corbatas en la salida de corbatas de la máquina de troquelado y soportar el peso máximo de carga. Este elemento funcional se conforma de una brida, un disco y un acople para el eje del servomotor. El disco cuenta con perforaciones para anclar los contenedores adaptables y tiene una capacidad para 6 contenedores de corbatas. El proceso para la fabricación del disco es la fundición, mientras que para otros componentes se pueden obtener mediante maquinado.

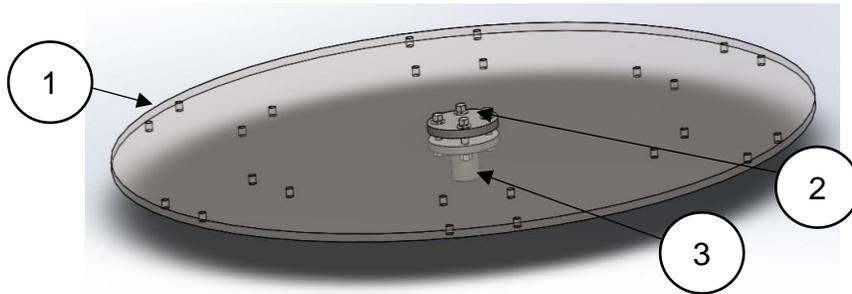


Figura 38: Elemento funcional para posicionar contenedor de corbatas compuesto de 1.disco, 2. brida, 3. acople de motor.

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.1.2.1. Análisis estático posicionador de contenedor.

Para realizar el análisis estático del elemento funcional, se define el material de fabricación y las características fundamentales para el análisis cómo se muestra en la tabla 16.

N°	COMPONENTE	MATERIAL	LÍMITE ELÁSTICO N/mm <sup>2</sup> (Mpa)	MASA EN KG
1	DISCO CONTENEDOR	AISI 1020	351.571	31.28755
2	BRIDA	ASTM A36 ACERO	250	0.59188
3	ACOPLE MOTOR	ASTM A36 ACERO	250	0.73241
			<b>MASA TOTAL</b>	<b>32.61184</b>

Tabla 16: Características de material por componente del ensamble para posicionar el contenedor de corbatas.

Fuente: Elaboración propia.

Se define (S2) como componente de sujeción y se aplica la fuerza máxima de carga (F2) sobre el elemento funcional en la cara del disco, simulando el caso extremo de carga máxima. Esta fuerza considera la ejercida por 6 contenedores cargados cada uno con 25 corbatas plus M20.

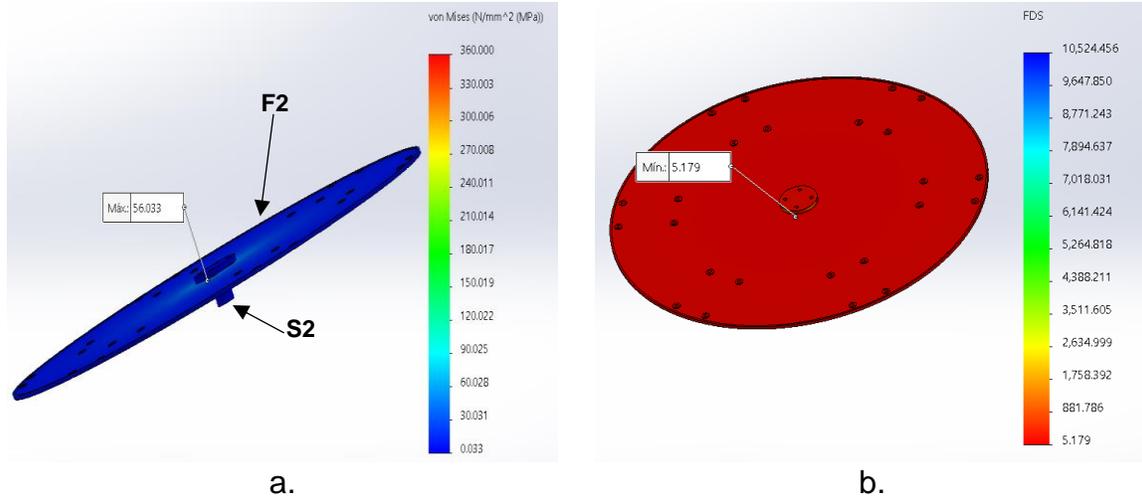


Figura 39: Análisis de tensión máxima en posicionador de contenedor (a), análisis de FoS de posicionador de contenedor (b).

Fuente: Elaboración propia.

SUJECCIÓN	FUERZA APLICADA EN F2 (N)	TENSIÓN RESULTANTE MÁX Mpa	FACTOR DE SEGURIDAD MIN
S2	1113,461	56,033	5,17

Tabla 17: Resultado de la simulación de análisis del posicionador de contenedor.

Fuente: Elaboración propia.

La fuerza aplicada en F2 se obtiene de la suma de la fuerza ejercida por 6 contenedores y la fuerza que ejercen 6 paquetes de corbatas, como lo muestra la ecuación (3).

$$F2 = (mc * 9.8 * 6) + (F1 * 6) \quad (3)$$

Donde mc es la masa del contenedor adaptable y F1 es la fuerza ejercida por un paquete de 25 corbatas.

Según los resultados presentados en la tabla 17, la fuerza máxima aplicada genera una tensión máxima de 56,033 Mpa y un FoS mínimo de 5,17 por encima de los valores mínimos establecidos.

### 5.1.2.2. Cálculo del motor requerido.

El motor requerido debe de generar un movimiento discontinuo y su sentido de giro debe ser en una sola dirección, es necesario recordar que el posicionador del contenedor tendrá 1.5s para cambiar de posición (tiempo de fabricación promedio de una corbata) y la carga máxima estimada del sistema será de 147 Kg, por lo tanto, el torque, la potencia y la velocidad del motor son factores importantes en la selección del mismo, para vencer el momento de inercia y mover el sistema automático para el empacado de corbatas. Primero es necesario hallar la aceleración y la velocidad angulares del sistema, estableciendo los siguientes valores.

$\alpha = 60^\circ$	Ángulo por recorrer
$t_s = 1.5 \text{ s}$	Tiempo de estabilización
$f_i = 1433,05 \text{ N}$	Fuerza o peso por vencer
$d = 1\text{m}$	Diámetro del disco
$r = 0.5\text{m}$	Radio del disco

Tabla 18: Datos iniciales para el cálculo del motor.

Fuente: Elaboración propia.

El ángulo por recorrer  $\alpha$ , se obtiene de la división de  $360^\circ$  entre los 6 contenedores posicionados sobre el disco, por otro lado, la fuerza de inercia  $f_i$  se obtiene de la ecuación (4).

$$f_i = F2 + mPc * g \quad (4)$$

Donde  $F2$  es la fuerza aplicada sobre el disco,  $mPc$  es la masa del posicionador de contenedor y  $g$  es la gravedad.

Cálculo de la aceleración angular  $\alpha$ , se despeja de la ecuación de MCVU donde se considera la aceleración constante y la velocidad variable;  $\theta$  en radianes.

$$\theta = \omega_0 t + \frac{\alpha * t_s^2}{2} \quad (5)$$

Entonces se tiene que, la velocidad inicial  $\omega_0$  es 0, por lo tanto:

$$\frac{2 * (\theta - \omega_0 t)}{t_s^2} = \alpha \quad (6)$$
$$\alpha = 0.93 \text{ rad/s}^2$$

Conociendo el valor de la aceleración, se calcula la velocidad angular final  $\omega_f$  del movimiento circular.

$$\begin{aligned}\omega_f &= \omega_0 + \alpha t \\ \omega_f &= 1.395 \text{ rad/s}\end{aligned}\quad (7)$$

Por lo tanto, la velocidad tangencial es:

$$\begin{aligned}v &= \omega_f * R \\ v &= 0,7\end{aligned}\quad (8)$$

Entonces, la potencia máxima instantánea se define por:

$$\begin{aligned}P &= f_i * v \\ P &= 1 \text{ Kw} = 1,34 \text{ Hp} \\ P_g &\approx 1.5 \text{ Hp}\end{aligned}\quad (9)$$

Para el cálculo del torque es necesario convertir la velocidad angular a rpm, entonces:

$$1.395 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ vuelta}}{2\pi \text{ rad}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 13.32 \text{ RPM}\quad (10)$$

Con la aceleración angular hallada, se calcula el torque requerido para mover el eje de rotación, así:

$$\begin{aligned}T_g &= \frac{P_g}{\omega_f} * 746 \\ T_g &= 805 \text{ Nm}\end{aligned}\quad (11)$$

Una vez calculado el torque del eje se aplica la ecuación (12) para conocer la potencia mecánica del motor eléctrico definida normalmente en kilovatios (Kw) o caballos de fuerza (Hp).

$$\begin{aligned}P(w) &= T_g * \omega_f \\ P(w) &= 1122,9 \text{ W} \approx 1.5 \text{ Hp}\end{aligned}\quad (12)$$

Una vez hallados los valores necesarios para la selección del motor (torque y potencia), se selecciona un motorreductor capaz de generar el torque necesario para mover el sistema, el motorreductor de la marca SUMITOMO modelo CNHM3-6100YA-8 cumple con las características requeridas y se adecua a la necesidad del sistema. Los motorreductores proporcionan menor velocidad y mayor carga útil que

otros motores, además la retroalimentación de posición garantiza mayor control del movimiento.

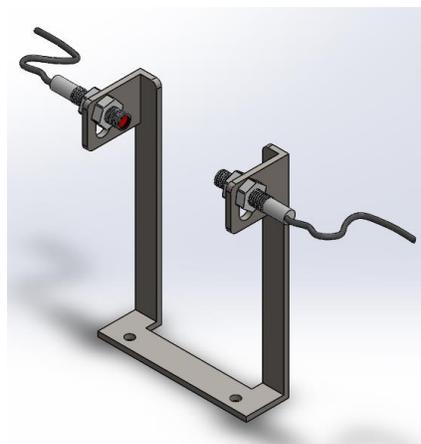
Alimentacion	230/460vca 3/60Hz
Relacion	8:1
RPM	219
HP	3
F.S.	1.07 l
Torque	807

*Figura 40: Selección de motor.*

*Fuente: <https://latam.sumitomodrive.com>*

## **5.2. MECANISMO DE CONTEO.**

Para realizar el conteo de corbatas se selecciona un interruptor fotoeléctrico CHBG J12-T, con dimensión de rosca M12 y alcance de 20m, distancia mínima de detección de 3mm y tiempo de respuesta de 1 milisegundo. La seguridad IP67 del interruptor es adecuada debido a la polución y material particulado de la zona de trabajo. En la figura 41 se muestra la disposición del sensor en su respectivo soporte.



*Figura 41: Sensor interruptor fotoeléctrico en soporte.*

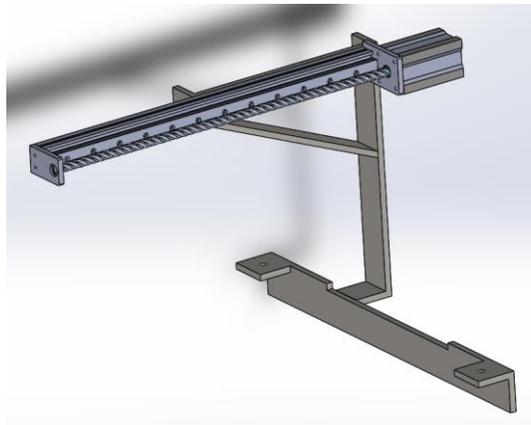
*Fuente: Elaboración propia.*

### 5.3. MECANISMO DE EXTRACCIÓN.

Este trozo se compone de dos elementos funcionales que interactúan en sincronía para extraer el paquete de corbatas, una vez el posicionador de contenedores de corbatas se desplace 60 grados a la derecha. El mecanismo de extracción incluye una guía lineal sobre la cual se desplaza un cilindro neumático. El primer elemento funcional genera un movimiento en el eje X, mientras que el segundo genera un movimiento en el eje Y.

#### 5.3.1. POSICIONAR EN EL EJE X MECANISMO DE EXTRACCIÓN.

La guía lineal asegura el desplazamiento de los elementos que se puedan acoplar al carro que es la parte móvil de la guía, el motor paso a paso de esta guía debe ser capaz de desplazar horizontalmente el peso de 3 paquetes de corbatas, ya que el trozo definido como “mecanismo de entrega de material” que se detalla más adelante está dimensionado para 3 paquetes de corbatas M20 contando con el almacenado temporalmente en el contenedor de corbatas.



*Figura 42: Elemento funcional de posicionar en eje X.*

*Fuente: Elaboración propia.*

La carga horizontal máxima por desplazar es de 37,7 Kg resultante de 3 paquetes de corbatas M20 de 25 unidades, por lo tanto, se seleccionó la guía lineal CNC con carrera de 600 mm y motor paso a paso Nema 23 serie JBX2 SFU1605, la capacidad de carga horizontal de esta guía es de 40 Kg.

##### 5.3.1.1. Análisis estático en soporte de guía lineal.

El soporte para la guía lineal está fabricada en platina de acero AISI 1020 con espesor de 3/8”, para soportar la fuerza del peso de la guía lineal, que según datos de la misma tiene un peso de 0.65 Kg.

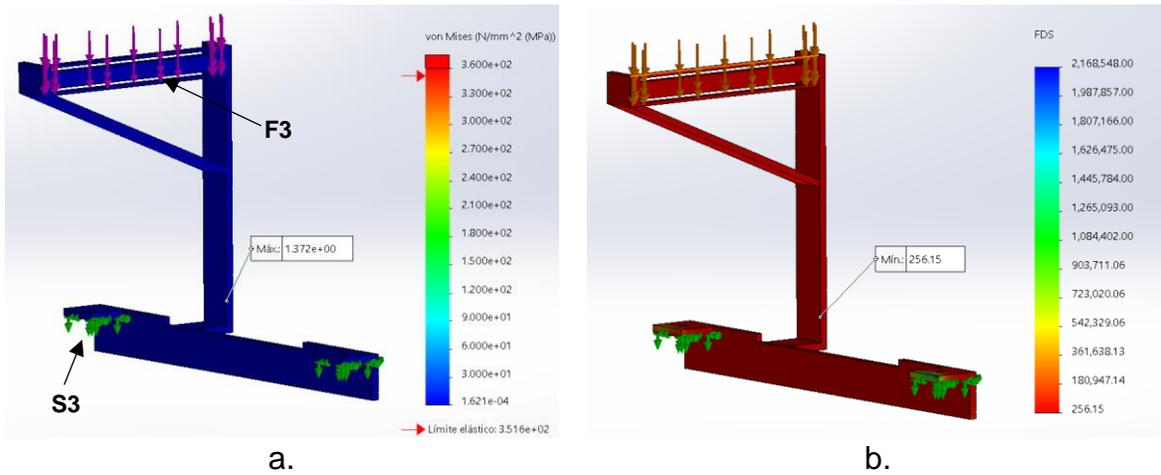


Figura 43: Análisis de tensión máxima en soporte de guía lineal (a), análisis de FoS de soporte de guía lineal (b).

Fuente: Elaboración propia.

SUJECIÓN	FUERZA APLICADA EN F3 (N)	TENSIÓN RESULTANTE MÁX Mpa	FACTOR DE SEGURIDAD MIN
S3	6,37	1,37	256

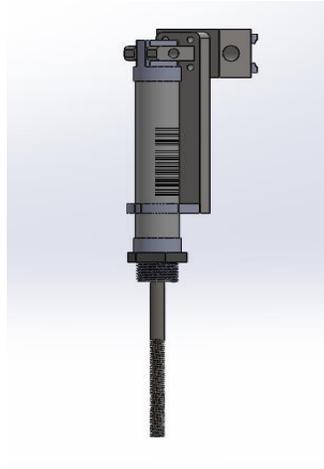
Tabla 19: Resultados de la simulación de análisis del soporte para la guía lineal.

Fuente: Elaboración propia.

La fuerza aplicada en F3 es resultante de la masa por la gravedad, entonces se obtiene la tensión máxima baja y el factor de seguridad muy por encima de los valores mínimos establecidos.

### 5.3.2. POSICIONAR EN EL EJE Y EL MECANISMO DE EXTRACCIÓN.

El cilindro neumático genera el desplazamiento sobre el eje Y, la salida del émbolo del cilindro no es regulada, pero la velocidad de salida se puede regular con un racor regulador. Este elemento funcional sirve como brazo para generar el arrastre de los paquetes de corbatas.



*Figura 44: Elemento funcional para posicionar en el eje Y y el mecanismo de extracción.*

*Fuente: Elaboración propia.*

Se selecciona el mini cilindro neumático de doble efecto de la marca FLUIDTEC de 20mm de diámetro y recorrido efectivo de 150mm, conforme a la norma ISO 6432.

#### **5.4. MECANISMO DE ENTREGA DE MATERIAL.**

Este trozo tiene la función de recibir los paquetes que se extraen de los contenedores mediante el mecanismo de extracción, el diseño de este mecanismo se basa en una mesa de rodillo que permite reducir la fricción y facilitar el arrastre de los paquetes de corbatas, el ancho de este mecanismo no supera lo 45mm para evitar el desbordamiento de los paquetes y su capacidad es para 3 paquetes, tal como se muestra en la figura 45.



*Figura 45: Mecanismo de entrega de material.*

*Fuente: Elaboración propia.*

## 5.5. CARCASA.

Este elemento funcional es responsable de proteger los componentes internos del sistema, así como el servomotor y el PLC, además bajo la norma ISO 12100 es necesario implementar guardas de protección para evitar los riesgos eléctricos y de atrapamiento mecánico.

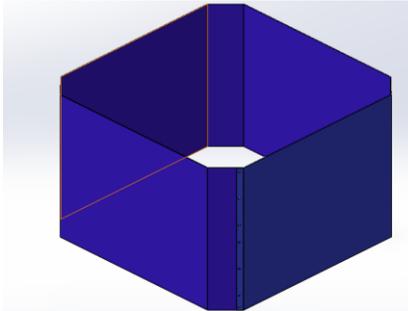


Figura 46: Carcasa de protección del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.6. CHASIS.

La estructura principal o chasis, facilita el anclaje de los trozos del sistema de automático para el empacado de corbatas, su fabricación es en tubería estructural y lámina de acero recocido AISI 4130 con espesor de 1/2". Sobre la mesa de lámina se instalan 6 bolas de transferencia de carga, en estas se apoya el disco que se acopla al servomotor y permiten reducir la fricción entre los componentes.

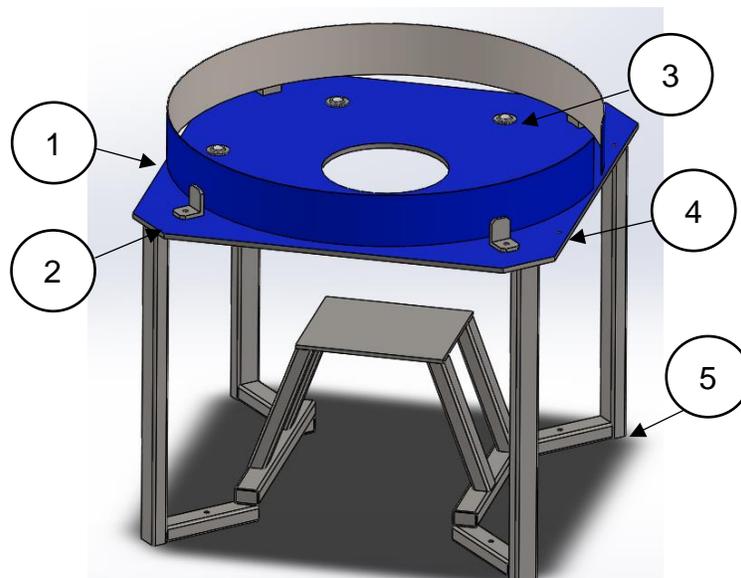


Figura 47: Chasis del sistema automático de empacado de corbatas.

Fuente: Elaboración propia.

- |                       |                           |                        |
|-----------------------|---------------------------|------------------------|
| 1. Anillo             | 3. Bolas de transferencia | 5. Tubería estructural |
| 2. Soportes de anillo | 4. Mesa                   |                        |

Las bolas transportadoras o de transferencia de carga son una solución comercial adecuada para el movimiento preciso y suave de carga, estas se componen de una bola de precisión que gira libremente sobre un conjunto de bolas de diámetro pequeño, contenidas en una estructura semiesférica de acero templado, todas estas bolas son rectificadas y templadas para reducir la fricción de modo que las cargas pesadas se puedan mover con el menor esfuerzo. El material de fabricación de las bolas transportadoras puede ser de acero, acero inoxidable o resina sintética y soportar cargas desde 15 a 2000 Kg, en la figura 48 se ejemplifica el funcionamiento de estas.

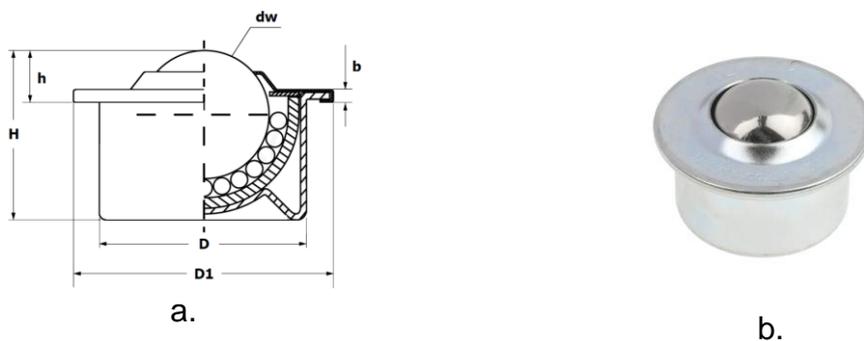


Figura 48: Esquema de una bola de transferencia (a), bola de transferencia con anillo (b).

Fuente: <https://www.motion.com>

La referencia seleccionada de bolas transportadoras es la serie SPM 22 B con capacidad de carga para 240 Kg ideal para cargas pesadas y uso de larga duración, con carcasa en acero zincado y bolas de acero, esta selección es la adecuada para la carga a soportar de 142,29 Kg.

### 5.6.1. ANÁLISIS ESTÁTICO EN CHASIS.

El chasis está fabricado en tubería estructural 50 x 30 x 2mm en acero AISI 1020, y la mesa en platina de acero AISI 4130 con espesor de 1/2". Para efectos de simulación de la tensión máxima, la estructura en tubería se ejecuta como unión rígida y con el comportamiento de una viga, por lo cual, las tensiones sólo se reflejan en la mesa, convirtiendo los esquineros de la mesa como las sujeciones.

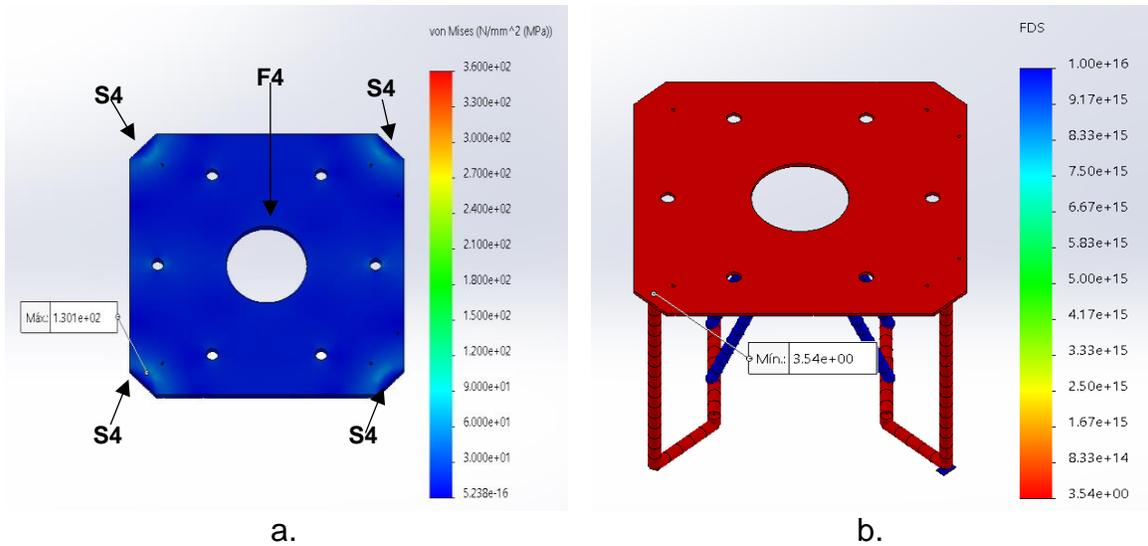


Figura 49: Análisis de tensión máxima en mesa (a), análisis de FoS en chasis (b).

Fuente: Elaboración propia.

SUJECCIÓN	FUERZA APLICADA EN F4 (N)	TENSIÓN RESULTANTE MÁX Mpa	FACTOR DE SEGURIDAD MIN
S4	1433,05	130	3,54

Tabla 20: Resultados de la simulación de análisis del chasis.

Fuente: Elaboración propia.

La fuerza aplicada en F4 es perpendicular a la superficie de la mesa del chasis y se define por la ecuación (11).

$$F4 = fi \quad (8)$$

De acuerdo con los valores de la tabla 20, el FoS mínimo cumple con los valores mínimos establecidos.

## 5.7. PANEL INTERFAZ DE USUARIO.

La interfaz de usuario permite al operario fijar los parámetros de arranque de la máquina, como el tipo de corbata a empacar, el modo de conteo, además la interfaz deberá mostrar el número de paquetes contados, el número de corbatas contadas y también información sobre los kg producidos según el tipo de corbata seleccionada. Desde el panel se inicia el arranque del sistema y también se detiene la operación, en la figura 50 se muestra la información y disposición que puede tener la interfaz de usuario.



Figura 50: Modelo de interfaz de usuario.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.8. CONTROLADOR LÓGICO.

Para realizar la selección del instrumento de control, se realiza un acercamiento al funcionamiento del sistema automático para el empaque de corbatas, así se podrá reconocer las entradas y salidas del sistema, es decir, señales de sensores, botones, pulsadores, alarmas, luces, actuadores, etc. Se define la señalización de los pulsadores y luces piloto, así:

- Pulsador de inicio: energiza los componentes.
- Indicador led verde: encendido del sistema.
- Pulsador de fin: termina la operación del sistema.
- Pulsador de parada: parada de emergencia del sistema.
- Indicador led rojo: no hay movimiento del sistema, componentes desenergizados.
- Indicador led amarillo: inicia el movimiento del sistema.

Ahora se establece el comportamiento del sistema haciendo uso de un diagrama de operación para el sistema automático para el empaque de corbatas, como se muestra en la figura 51.

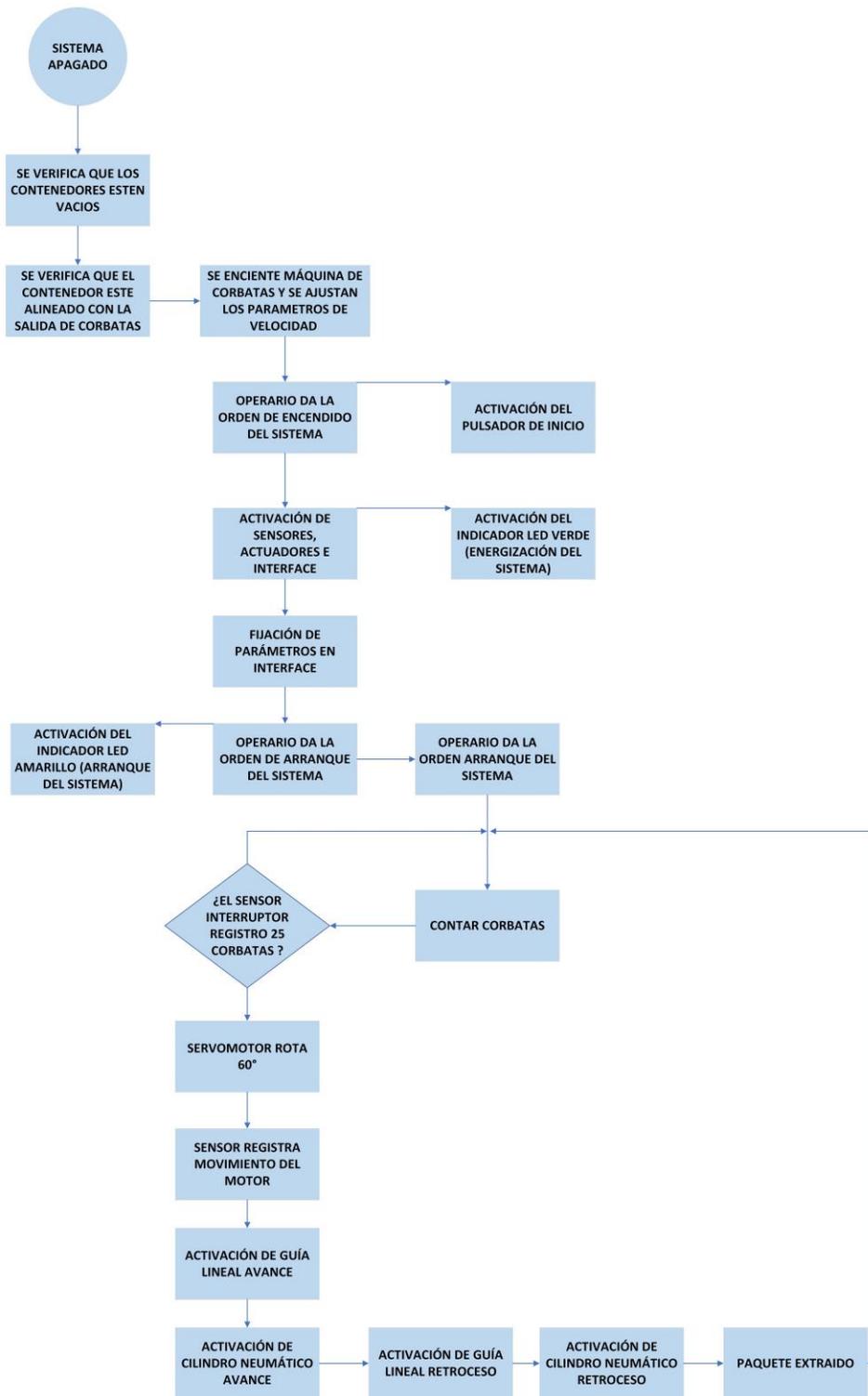


Figura 51: Diagrama de operación del sistema automático para el empaqueo de corbatas.

Fuente: Elaboración propia.

De esta forma se establecen las entradas y salidas del PLC Controlador Lógico Programable (en inglés: Programmable Logic Controller), que se define como un instrumento electrónico de memoria programable capaz de almacenar y ejecutar instrucciones, como operaciones lógicas, contadores y secuencias de acciones dependientes de señales de entradas que activan o desactivan módulos de salida para ejercer control sobre diferentes tipos de máquinas [12].

Entradas:

- Sensor interruptor.
- Señal de encoder servomotor principal.
- Señal de encoder servomotor guía lineal.
- Sensor de final de carrera para verificar el giro de 60°
- Sensor de final de carrea para verificar avance y retroceso del cilindro neumático
- Sensor de final de carrera de avance y retroceso de guía lineal.
- Pulsador de inicio
- Pulsador de arranque
- Pulsador de parada de emergencia

Salidas:

- Señal de salida para encoder servomotor principal.
- Señal de salida para encoder servomotor guía lineal.
- Activación de electroválvula para cilindro neumático.
- Led indicador rojo.
- Led indicador verde.
- Led indicador amarillo.

Considerando lo expuesto anteriormente, se selecciona el PLC SIMATIC S7-1200, con la referencia 6ES7214-1HG40-0XB0, que cuenta con 14 E/S, y se ajusta de manera adecuada a los requisitos del sistema.

## **5.9. CABLE DE CORRIENTE Y CONEXIONES.**

Se debe garantizar para el funcionamiento del servomotor una alimentación trifásica, así como los elementos de protección de los circuitos de control y potencia, además de ser necesario se deberá evaluar la separación de los circuitos de control y potencia mediante dos transformadores, aunque no haga parte del alcance del proyecto se considera el planteamiento de ambos circuitos en la sección siguiente.

### 5.9.1. ESQUEMA DE POTENCIA Y CONTROL DEL SERVOMOTOR.

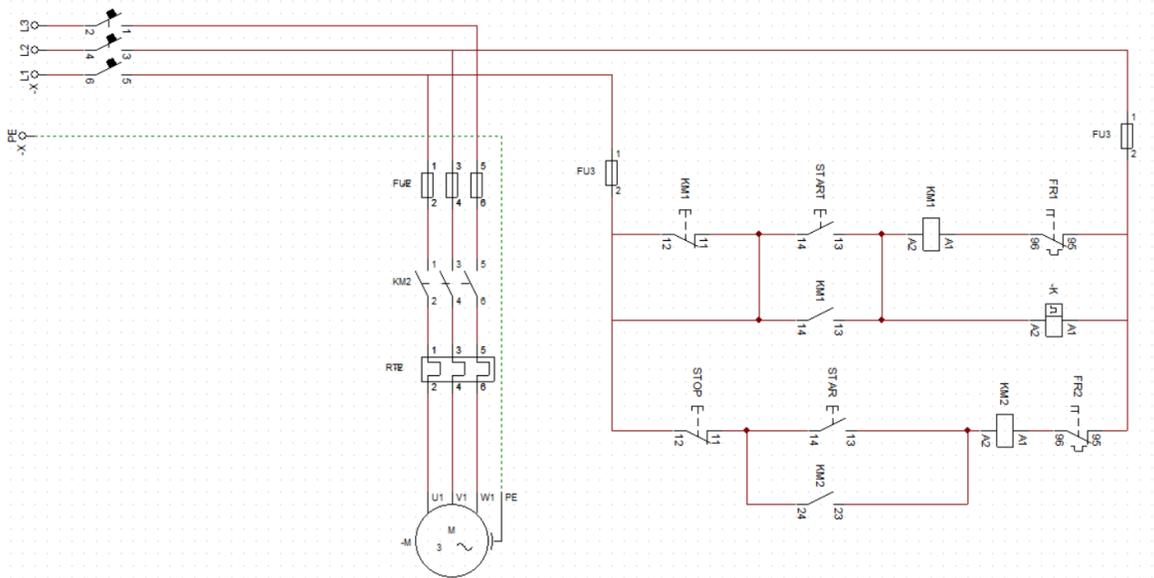


Figura 52: Diagrama de potencia y control para el servomotor principal.

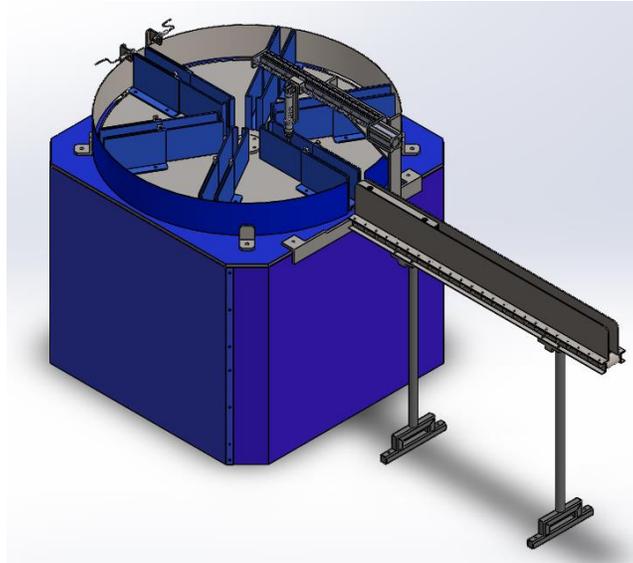
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 52 se presenta el diagrama de potencia y control para el servomotor principal, el circuito de potencia (izquierdo) tiene una alimentación trifásica de 460V, que es la alimentación necesaria del servomotor principal que se encarga de mover el posicionador de contenedores, es necesario contar con las protecciones térmicas que se activan en caso de sobrecalentamientos generador por los picos de corriente.

Con respecto al circuito de control (derecha) la alimentación del PLC es de 24V, y las salidas de este deberán controlar diferentes voltajes como la del servodriver la guía lineal y electroválvula. El esquema muestra el control de inicio y parada para del servomotor principal, dentro del alcance del proyecto no se contempla el diagrama de lazo para el control del proceso.

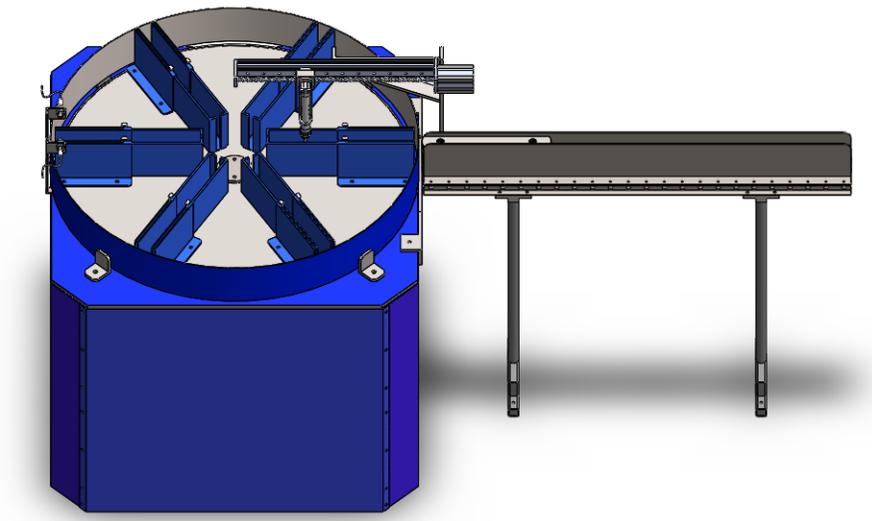
### 5.10. MODELO Y EXPLOSIONADO.

Una vez finalizada la elaboración 3D de los trozos del sistema se realiza el ensamble para presentar el modelo del sistema automático para el empacado de corbatas.



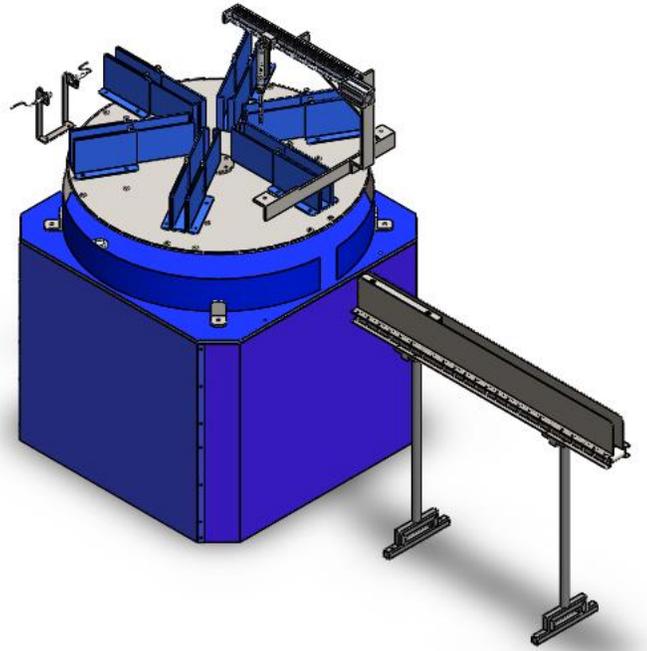
*Figura 53: Vista isométrica del sistema automático para el empaqueo de corbatas.*

*Fuente: Elaboración propia.*



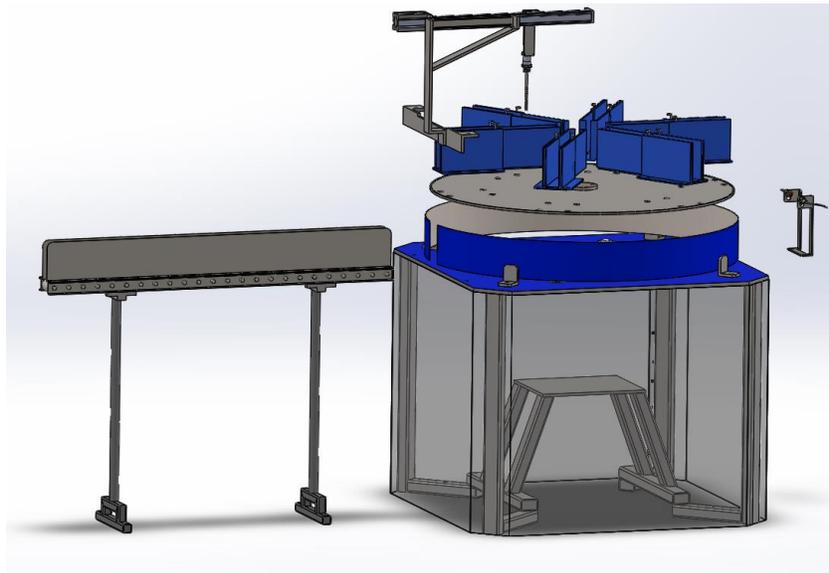
*Figura 54: Vista isométrica frontal del sistema automático para el empaqueo de corbatas.*

*Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 55: Vista isométrica explosionada del sistema automático para el empacado de corbatas.*

*Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 56: Vista isométrica explosionada posterior del sistema automático para el empacado de corbatas.*

*Fuente: Elaboración propia.*

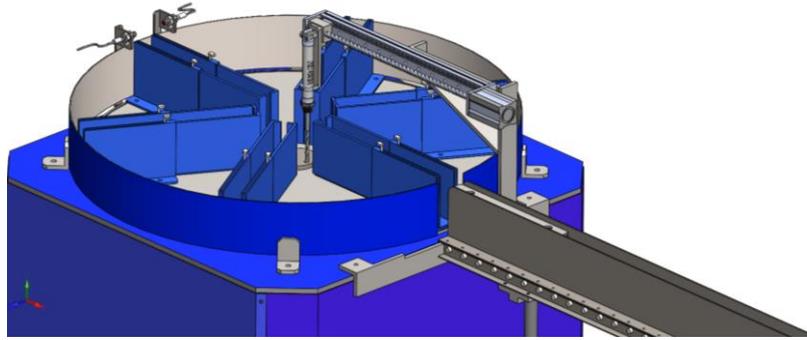


Figura 57: Vista dimétrica de los componentes principales del sistema automático para el empacado de corbatas.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.11. LISTA DE COMPONENTES.

A continuación, se relacionan los componentes y las cantidades del ensamble del sistema.

TROZO	ITEM	NOMBRE	CANT.
CONTENEDOR DE CORBATAS	1	HEMBRA	6
	2	MACHO	6
	3	DENTADO	6
	4	PIN RETEN	6
	5	TORNILLO PIN	6
	6	RESORTE	6
POSICIONAR CONTENEDOR DE CORBATAS	7	DISCO CONTENEDOR	1
	8	BRIDA	1
	9	ACOPLE DE MOTOR	1
MECANISMO DE CONTEO	10	SENSOR INTERRUPTOR FOTOELÉCTRICO	1
	11	SOPORTE DE SENSOR INTERRUPTOR	1
MECANISMO DE EXTRACCIÓN	12	GUIA LINEAL	1
	13	SOPORTE DE GUÍA LINEAL	1
	14	MINI CILINDRO NEUMÁTICO	1
MECANISMO DE ENTREGA DE MATERIAL	15	RODILLOS	24
	16	LATERALES	2
	17	SOPORTE LATERALES	2
	18	SOPORTES DE PISO	2
CARCASA	19	CARCASA	1
	20	TAPA CARCASA	1
CHASIS	21	ANILLO	1

	22	SOPORTE DE ANILLO	4
	23	BOLAS DE TRANSFERENCIA	6
	24	MESA	1
	25	TUBERIA ESTRUCTURAL	14
	26	SOPORTE DE MOTOR	1
<b>CONTROLADOR</b>	27	PLC	1
<b>PANEL DE USUARIO</b>	28	PANEL INTERFAZ DE USUARIO	1
<b>OTROS</b>	29	TORNILLERIA	117
	30	TUERCAS	117

*Tabla 21: Listado de componentes del sistema automático para el empaclado de corbatas.*

*Fuente: Elaboración propia.*

## **6. CAPÍTULO VI: SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO.**

La reunión para la socialización del proyecto presentado en este documento se realizó con los líderes de producción a cargo del proceso de metalmecánica, operarios del proceso, el asesor por parte de la empresa y personas interesadas.

Se presentó la identificación de las necesidades del proceso de producción de corbatas, obteniendo la aprobación tanto de líderes de producción como de los operarios. A continuación se proporcionaron los detalles del funcionamiento de los trozos que conforman el sistema automático para el empaqueo de corbatas, profundizando en los subcomponentes de cada trozo y sus respectivos modos de operación. Durante la presentación se destacaron algunas ventajas del modelo 3D presentado en comparación con el método actualmente implementado en el proceso de producción de corbatas. Además se aclaró que el sistema automático para el empaqueo de corbatas se puede combinar con algún método de empaqueo existente en el mercado, como el amarre con zuncho, termoencogible u otros.

Finalmente se presentó la explicación del funcionamiento operativo del sistema, la estimación de costos, las materias primas y las piezas especiales o comerciales.

### **6.1. ESTIMACIÓN DE COSTOS.**

A continuación, en la tabla 22 se estiman los costos de fabricación del sistema automático para el empaqueo de corbatas, segmentado en cuatro rubros: costo estimado de desarrollo, costo estimado de diseño, costo estimado de piezas especiales y costo de fabricación.

El costo de desarrollo se enfoca en el trabajo de ingeniería realizado para encontrar el diseño del sistema, las mejoras realizadas sobre el mismo diseño y los cálculos realizados. El costo de diseño contempla el estimado de la fabricación de las piezas diseñadas de acuerdo con averiguaciones internas que se realizaron en la compañía. Cabe mencionar que la compañía FORSA S.A cuenta con herramientas de corte industrial, personal capacitado, y materia prima para la construcción de los trozos chasis y carcasa.

Finalmente, el costo de piezas especiales toma en cuenta los dispositivos comerciales necesarios para el funcionamiento del sistema como: controlador, motores, componentes neumáticos y componentes eléctricos.

RUBRO	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO	CANT.	COSTO TOTAL
<b>COSTO ESTIMADO DE DESARROLLO</b>	PROTOTIPO DE BASE	\$ 2.200.000,0	1	\$ 2.200.000,0
	MEJORAS PROTOTIPO	\$ 1.200.000,0	1	\$ 1.200.000,0
	PROTIPO ANÁLISIS MECÁNICOS	\$ 1.500.000,0	1	\$ 1.500.000,0
	DESARROLLO E INGENIERIA	\$ 1.800.000,0	1	\$ 1.800.000,0
	<b>TOTAL, COSTO ESTIMADO</b>			<b>\$ 6.700.000,0</b>
<b>COSTO ESTIMADO DE DISEÑO</b>	HEMBRA	\$ 270.000,0	6	\$ 1.620.000,0
	MACHO	\$ 235.000,0	6	\$ 1.410.000,0
	DENTADO	\$ 46.000,0	12	\$ 552.000,0
	PIN RETEN	\$ 28.000,0	12	\$ 336.000,0
	TORNILLO PIN	\$ 31.000,0	12	\$ 372.000,0
	RESORTE	\$ 13.000,0	12	\$ 156.000,0
	DISCO CONTENEDOR	\$ 2.575.000,0	1	\$ 2.575.000,0
	BRIDA	\$ 147.000,0	1	\$ 147.000,0
	ACOPLE DE MOTOR	\$ 97.000,0	1	\$ 97.000,0
	SOPORTE DE SENSOR INTERRUPTOR	\$ 83.000,0	1	\$ 83.000,0
	SOPORTE DE GUIA LINEAL	\$ 115.000,0	1	\$ 115.000,0
	LATERALES	\$ 237.000,0	2	\$ 474.000,0
	SOPORTE LATERALES	\$ 135.000,0	2	\$ 270.000,0
	SOPORTES DE PISO	\$ 86.000,0	2	\$ 172.000,0
	CARCASA	\$ 374.000,0	1	\$ 374.000,0
	TAPA CARCASA	\$ 167.000,0	1	\$ 167.000,0
	ANILLO	\$ 186.000,0	1	\$ 186.000,0
	SOPORTE DE ANILLO	\$ 42.000,0	4	\$ 168.000,0
	MESA	\$ 1.165.000,0	1	\$ 1.165.000,0
	TUBERIA ESTRUCTURAL	\$ 96.000,0	4	\$ 384.000,0

	SOPORTE DE MOTOR	\$ 94.000,0	1	\$ 94.000,0
	<b>TOTAL, COSTO ESTIMADO</b>			<b>\$ 10.917.000,0</b>
<b>COSTO ESTIMADO DE PIEZAS ESPECIALES</b>	PLC	\$ 1.743.000,0	1	\$ 1.743.000,0
	MOTORREDUCTOR	\$ 9.645.000,0	1	\$ 9.645.000,0
	SERVO DRIVER	\$ 567.000,0	1	\$ 567.000,0
	CABLE TRIPOLAR X METRO 30 AMP	\$ 16.700,0	10	\$ 167.000,0
	INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO 40 AMP	\$ 722.000,0	1	\$ 722.000,0
	ELECTROVALVULA NEUMÁTICA 5/2	\$ 97.000,0	1	\$ 97.000,0
	CONECTOR TRISAFICO	\$ 62.000,0	1	\$ 62.000,0
	PANEL INTERFAZ DE USUARIO	\$ 569.000,0	1	\$ 569.000,0
	SENSOR INTERRUPTOR FOTOELECTRICO	\$ 205.000,0	1	\$ 205.000,0
	GUIA LINEAL	\$ 1.256.000,0	1	\$ 1.256.000,0
	MINI CILINDRO NEUMÁTICO	\$ 165.000,0	1	\$ 165.000,0
	RODILLOS	\$ 65.000,0	12	\$ 780.000,0
	BOLAS DE TRANSFERENCIA	\$ 32.500,0	6	\$ 195.000,0
	TORNILLERIA	\$ 1.210,0	120	\$ 145.200,0
	TUERCAS	\$ 820,0	120	\$ 98.400,0
	<b>TOTAL, COSTO ESTIMADO</b>			<b>\$ 16.416.600,0</b>
<b>COSTO DE FABRICACIÓN</b>	MANO DE OBRA	\$ 650.000,0	1	\$ 650.000,0
	SOLDADURA X METRO	\$ 9.300,0	8	\$ 74.400,0
	<b>TOTAL, COSTO DE FABRICACIÓN</b>			<b>\$ 724.400,0</b>
<b>COSTO TOTAL ESTIMADO</b>				<b>\$ 34.758.000,0</b>

*Tabla 22: Estimación de costos del sistema automático para el empacado de corbatas.*

*Fuente: Elaboración propia.*

De acuerdo con la información presentada el costo estimado para la fabricación del sistema automático para el empaqueo de corbatas es aproximadamente de 35,000.000 millones, se considera que dicha inversión para mejorar el proceso de producción de corbatas debe ser evaluada, para conocer la viabilidad de la inversión y el ROI, dado que esto puede afectar el costo del producto, además se hace necesario evaluar los métodos de empaque para acoplar de mejor manera al sistema presentado en este documento.

Se estimó la capacidad del sistema en 1 paquete/min y que dentro del proceso de producción de corbatas se deberá disponer como mínimo 2 colaboradores, además este proceso se debe complementar con el manual de entrenamiento del colaborador y surtir el POE (Procedimiento Operativo Estándar) actualizado del proceso.

Se propuso mejorar el método del funcionamiento del contenedor para evitar holgura entre la medida de la corbata y la medida del ajuste del contenedor no mayor a 5mm, buscando evitar desarme de los paquetes.

Dentro de la explicación del flujo de operación del sistema automático para el empaqueo de corbatas se resaltó la necesidad de formular el manual de operación del sistema para facilitar la información dentro del proceso de mantenimiento y gestión de repuestos.

## 7. CONCLUSIONES.

Inicialmente, se puede concluir del desarrollo del proyecto que el uso de herramientas CAD reduce significativamente el tiempo de diseño. Esto permite corregir errores de diseño durante el proceso y proporciona la capacidad de visualizar un panorama general del producto en cualquier fase de desarrollo. Se destaca la versatilidad de estas herramientas para simular diversos análisis sobre el diseño, lo que culmina en la obtención de un diseño estético y funcional bajo diferentes criterios, como seguridad o ergonomía.

El proceso para la creación de nuevos productos, más allá de los aspectos técnicos o metodológicos, implica habilidades comunicativas básicas para comprender las necesidades del cliente y de quienes están directamente involucrados a lo largo del proyecto. Establecer conversaciones a modo de entrevista con los involucrados permite comprender las operaciones de un proceso y las oportunidades de mejora. La información extraída de este proceso se vuelve fundamental al proponer un diseño que cumpla con las necesidades operativas y las necesidades económicas de la empresa, es decir, mejorar el método y reducir los costos operativos.

El desarrollo de un producto no es el resultado de un proceso empírico; es la suma de diferentes actividades estructuradas en un método. La estructuración de estas actividades genera un método de diseño u otro, unos más complejos o con diferente alcance, el método de diseño trabajado en este proyecto abarca actividades que van desde la identificación de oportunidades hasta llegar a un producto que ofrezca una solución, finalizando con la liberación del producto en el mercado. Este proyecto siguió el método de diseño y desarrollo de productos propuesto por Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger, desde la identificación de las necesidades hasta la realización del diseño detallado. Se establecieron requerimientos mínimos de seguridad, calidad y funcionamiento del diseño presentado en este documento. Este mecanismo se propone para integrarse con productos comerciales que utilicen diversos métodos de sujeción, como la zunchadora, empaque al vacío, el termoencogible, u otros.

## **8. TRABAJOS FUTUROS.**

Debido al alcance del presente trabajo cómo práctica profesional se propone cómo trabajos futuros:

- Elaboración y ensamble de piezas especiales y no especiales, así como la procura de los componentes eléctricos, mecánicos y de control, para construir el sistema automático para el empaclado de corbatas.
- Diseño del sistema SCADA y desarrollo del HMI del sistema automático para el empaclado de corbatas.
- Redacción del manual operativo del sistema, contemplando la prevención y evaluación de riesgos durante la operación del sistema.
- Diseño del tablero de control.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Yate, «Qué es y no es diseño industrial,» *Revista Clepsidra*, vol. 7, nº 12, pp. 77-80, 2011.
- [2] P. A. López Roa, «Diseño Industrial, un hacer responsable con la sociedad,» *REVISTA INTERAMERICANA DE INVESTIGACIÓN, EDUCACIÓN Y PEDAGOGÍA*, vol. 10, nº 2, pp. 123-137, julio 2017.
- [3] R. Boccardo, *Creatividad en la ingeniería de diseño*, Caracas: Equinoccio, 2006.
- [4] J. Albarrán, «Fundamentos del KBE (Knowledge Based Engineering). Aplicación al diseño de engranajes de ejes paralelos con Catia V5,» *Escuela Superior de Ingenieros*, 2008.
- [5] J. T. Celigüeta, «Métodos de los elementos finitos para análisis estructural,» UNICOPIA C.B, España, 2011.
- [6] S. Aparicio, «Desarrollo del prototipo virtual parametrizado de un brazo robótico articulado. Simulación y análisis mediante elemento finitos,» Valencia, España, 2021.
- [7] F. Robert W., *MECANICA DE MATERIALES*, Ciudad de México: Alfaomega , 2007.
- [8] U. E. ISO, «Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo,» 2010.
- [9] P. Mier y D. Valencia, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TROQUELADORA PARA EL CORTE DE PLACAS DE ALUMINIO, A SER EMPLEADAS EN LA BODEGA DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA,» Quito, 2018.
- [10] A. Chan, «PROPUESTA PARA LA SELECCIÓN DEL NIVEL DE AUTOMATIZACIÓN PARA INCREMENTO DE PRODUCTIVIDAD EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE ENCINTADO DE ARNESES,» Sonora, México, 2017.
- [11] K. T. Ulrich y S. Eppinger, *Diseño y desarrollo de productos: enfoque multidisciplinario*, 3 ed., McGraw Hill, 2004.
- [12] SDINDUSTRIAL, «¿Qué es un PLC, cómo funciona y cuáles son sus ventajas?,» SDI, 2022. [En línea]. Available: <https://sdindustrial.com.mx/>. [Último acceso: 3 Octubre 2023].

