

Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electrónica



**Diseño de máquina Alimentadora automática de patch cord en empaque para
Panduit Costa Rica.**

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de
Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura

Daniel Rodríguez Mora

Cartago, 24 de mayo del 2017

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas. En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Daniel Rodríguez Mora

Cartago, 24 de mayo de 2017

Céd: 1-1532-0153

Resumen

Se realizó una propuesta completa de una máquina alimentadora automática de empaque para Panduit Costa Rica. La máquina traslada el producto de la etapa anterior a empaque y deposita automáticamente el producto dentro de la máquina selladora de bolsa semiautomática. La propuesta soluciona el cuello de botella que posee producción en la sección de empaque en bolsa.

Para realizar esta propuesta se hizo una recolección de datos, se estudiaron los datos y los lineamientos que la empresa requiere, Se Creó una propuesta teórica de un sistema mecatrónico y por último se construyó un prototipo funcional de la propuesta.

Las principales contribuciones de este trabajo son:

- Aumento de la productividad de la etapa de empaque en bolsa en el área de Patch Cords en Panduit Costa Rica.
- Reducción de costos generales de producción al permitir la automatización de un proceso manual.
- Solución de muy bajo costo, pues, su retorno de inversión se da en 5.5 meses.
- Permite soportar un crecimiento de la producción a futuro de un 9%

Palabras clave: Alimentador, Empaque

Abstract

It has been made a complete proposal of a feeder automatic machine for bag packaging in Panduit Costa Rica. The machine moves the product from the previous stage of packaging and deposits automatically the product inside a bag. The bag is provided by the semiautomatic sealing machine (autobagger). The proposal solves a bottleneck issue that they have in the bag packaging stage of the process.

The project started with data mining, after that, Study an data analysis according to the company requirements. Then, Creating of a proposal of a mechatronics system and finally the construction of a functional prototype.

The main contributions of this Project are:

- Increase in the productivity of the stage of bag packaging in patch cord Panduit Costa Rica.
- General reduction in the production line costs because of the automation of a single process in the line.
- Low cost solution, in fact, return of investing is completed in 5.5 months.
- Allows the production to grow in the future. It permits a 9% of growth in the current production.

Palabras clave: Feeder, bag packaging

a mis queridos padres...

Agradecimientos

El resultado de este trabajo fue posible gracias al apoyo incondicional de mis padres. También se le agradece a mi hermana y novia por darme apoyo en cualquier situación.

El desarrollo de este trabajo se logró gracias a la ayuda de:

- Christian Agüero: Gerente de ingeniería del área, dio su apoyo con la aprobación de los materiales para desarrollar el prototipo y los diseños.
- Sifriany Arias: Ingeniero del área, tuvo mucha participación en la construcción del prototipo.
- David Gamboa: Ingeniero del área, ayudo con el desarrollo del diseño y recolección de materiales para desarrollar el prototipo.

Daniel Rodríguez Mora

Cartago, 12 de junio del 2017

Índice general

Resumen	3
Abstract.....	4
Agradecimientos.....	6
Índice general	7
Índice de figuras	9
Índice de tablas	10
Capítulo 1	11
1.1 Introducción.....	11
1.2 Definición del problema	12
1.3 Objetivos.....	13
1.4 Organización del trabajo	14
Capítulo 2	17
Marco teórico.....	17
2.1 Descripción.....	17
2.2 Generalidades.....	17
2.2.1 Patch Cords	17
2.2.2 Línea de producción de patch cords	22
2.2.3 Proceso de empaque patch cords.....	25
2.2.4 Productividad y tiempos en el proceso.....	27
2.2.4 Estándares de calidad	30
2.2.5 Maquinaria de empaque en bolsas	32
2.2.7 Resorte de Torsión.....	37
2.2.8 Simbología neumática	38
Capítulo 3 Descripción Completa del diseño del alimentador automático de patch cord en empaque de bolsa.....	39
3.2 Calculo y selección de los elementos principales del sistema de dispensado de cable UTP	43
3.2.1 Selección de la banda transportadora.....	43
3.2.2 Rieles Guía consideraciones de diseño	44
3.2.3 Lista de materiales.....	56
3.2.4 Dimensionado del sistema de aire comprimido.....	57

3.3 Sistema de control.....	67
3.3.1 Dimensionado y selección de componentes eléctricos.....	67
3.3.2 Diagrama de conexión.....	70
3.3.3 Selección y disposición de los sensores.....	71
3.4 Lógica de Control.....	73
3.4.1 Diagrama de flujo.....	76
3.4.2 Lógica propuesta de diseño.....	77
3.5 Estimación de tiempos.....	78
3.5.1 Tiempos para los operarios de etiquetado.....	78
3.5.2 Velocidad de alimentación del sistema a los autobagger.....	79
3.6 Análisis económico.....	80
3.7 Consumo energético.....	82
Capítulo 4 Resultados y análisis.....	83
4.1 Estudio de tiempos.....	83
4.2 Análisis del funcionamiento del prototipo funcional.....	85
4.3 Lógica de control.....	95
Estudio de fiabilidad del prototipo.....	96
Capítulo 5.....	97
5.1 Conclusiones.....	97
5.2 Recomendaciones.....	98
5.3 Bibliografía.....	99
Anexo A.....	101
Apéndice A.....	104
Apéndice B.....	105
.....	106
.....	106
Apéndice C.....	107
Apéndice D.....	108

Índice de figuras

Fig. 1 Fotografía del área de etiquetado y empaque en bolsa	12
Fig. 2 La figura muestra un Patch cord Panduit	18
Fig. 3 Muestras de los distintos cables par trenzados según su nivel de aislamiento... 20	
Fig. 4 Normas de conexión de plugs con cable par trenzado. [5].....	21
Fig. 5 Transformación de materia prima a producto terminado.....	22
Fig. 6 Esquema de las etapas de la línea de producción	24
Fig. 7 Distribución de las tareas en el área de empaque.....	27
Fig. 8 Fotografía del área de empaque.....	33
Fig. 9 Ampliación del recuadro número uno de la figura anterior	33
Fig. 10 Ampliación de la fotografía de la figura 8 según el marco 2.....	34
Fig. 11 Diagrama y cálculos para dimensionar un resorte de torsión [8].....	37
Fig. 12 captura de pantalla del diseño final de sistema de Alimentación automático. 40	
Fig. 13 captura de pantalla de la sección curva de la máquina	41
Fig. 14 Dimensiones de conveyor belt.....	44
Fig. 15 Sección transversal de un cable utp [5].....	46
Fig. 16 Vista lateral de la curvatura de las caídas.....	47
Fig. 17 Ángulo de entrada para la sección curva	48
Fig. 18 Diagrama MCUA.....	49
Fig. 19 Vista frontal de la sección vertical del proyecto	50
Fig. 20 Sección transversal rieles guía acrílico.....	51
Fig. 21 Diagrama neumático del sistema alimentador	57
Fig. 22 Diagrama de conexiones.....	70
Fig. 23 Vista lateral ensamble sistema alimentador de patch cords.....	71
Fig. 24 Vista superior alimentador automático de patch cords.....	72
Fig. 25 Diagrama de flujo programa de control	76
Fig. 26 Fotografía general 1 prototipo funcional sistema alimentador de patch cord en Panduit Costa Rica.....	87
Fig. 27 Fotografía general 2 prototipo funcional sistema alimentador de patch cord en Panduit Costa Rica.....	88
Fig. 28 Fotografía detallada de la banda transportadora	89
Fig. 29 Fotografía detallada de la estructura de acrílico	90
Fig. 30 Fotografía detallada del soporte y pistón del sistema	92
Fig. 31 Fotografía detallada de los sensores superiores del sistema.....	93
Fig. 32 Fotografía detallada del sensor inferior del sistema.....	94
Fig. 33 Diagrama escalera lógica de control.....	105
Fig. 34 Diagrama escalera control para prototipo	106

Índice de tablas

TABLA 1 Criterios de diseño	16
TABLA 2 Características generales patch cord Panduit	21
TABLA 3 Cantidad de operarios por etapa	24
TABLA 4 División de tareas por parte de los operarios de empaque	25
TABLA 5 Productividad en el área de patch cord.....	28
TABLA 6 Especificaciones técnicas del autobagger.....	36
TABLA 7 Simbología de los elementos neumaticos utilizados.....	38
TABLA 8 Descripción tareas alimentador cable utp	42
TABLA 9 Requisitos y características de la banda transportadora seleccionada	43
TABLA 10 Lista de materiales para la parte mecánica del diseño.....	56
TABLA 11 Tabla de componentes del sistema de aire comprimido	58
TABLA 12 Especificaciones estación de mantenimiento.....	59
TABLA 13 Especificaciones electroválvula seleccionada	60
TABLA 14 Especificaciones tubería.....	66
TABLA 15 Lista de componentes eléctricos	67
TABLA 16 Tabla de entradas.....	73
TABLA 17 Tabla de salidas.....	74
TABLA 18 Tabla de condiciones	75
TABLA 19 Operario etiquetado estudio de tiempos	79
TABLA 20 estimaciones de tiempos para el alimentador automatico de patch cord ...	80
TABLA 21 Presupuesto del proyecto	81
TABLA 22 Costos de funcionamiento del alimentador	82
TABLA 23 Estudio tiempos nueva rutina operario cartoning.....	84
TABLA 24 Estudio de tiempos rutina alimentador automatico de patch cord	85
TABLA 25 Estudio de fiabilidad	96
TABLA 26 Información de los patch cord de acuerdo al largo del mismo.....	101
TABLA 27 Mediciones de fuerza	104

Capítulo 1

1.1 Introducción

En Panduit Costa Rica según gerencia de producción se estima que un 50% de toda la producción mundial de patch cord se fabrica en la sede Costa Rica. Además, se indica que un 62% de los ingresos anuales totales de la compañía provienen de la venta de patch cord. [1]

En el área de producción de patch cords se tienen 240 empleados los cuales se distribuyen entre tres diferentes turnos. La línea de producción de patch cord se distribuye en cuatro etapas principales: ensamble, prensado y pruebas, etiquetado y empaque. Un 80% de los empleados en una línea se encargan de ensamble, en cuanto a las otras etapas constituyen cada una un 6.7%.

A diferencia de etiquetado, prensado y pruebas la etapa de empaque posee dos operarios que realizan tareas diferentes, es decir, por cada uno de ellos pasa el total de la producción. En las otras dos etapas anteriormente mencionadas pasa la mitad por cada operario.

En la figura 1 a la derecha se muestra la mesa de etiquetado, la cual se encuentra llena de patch cords azules. A la izquierda se puede ver la zona de empaque en bolsa seguido de esta se encuentra la mesa de empaque en cajas. La flecha 1.1 señala la selladora semiautomática de patch cords. La silla que se observa es el campo donde se coloca el operario de la selladora semiautomática para estar depositando los cables dentro de la máquina.

La idea del proyecto es proponer un sistema automatizado que permita trasladar los patch cord de la izquierda a esa selladora semiautomática y depositar el cable dentro de la bolsa automáticamente.

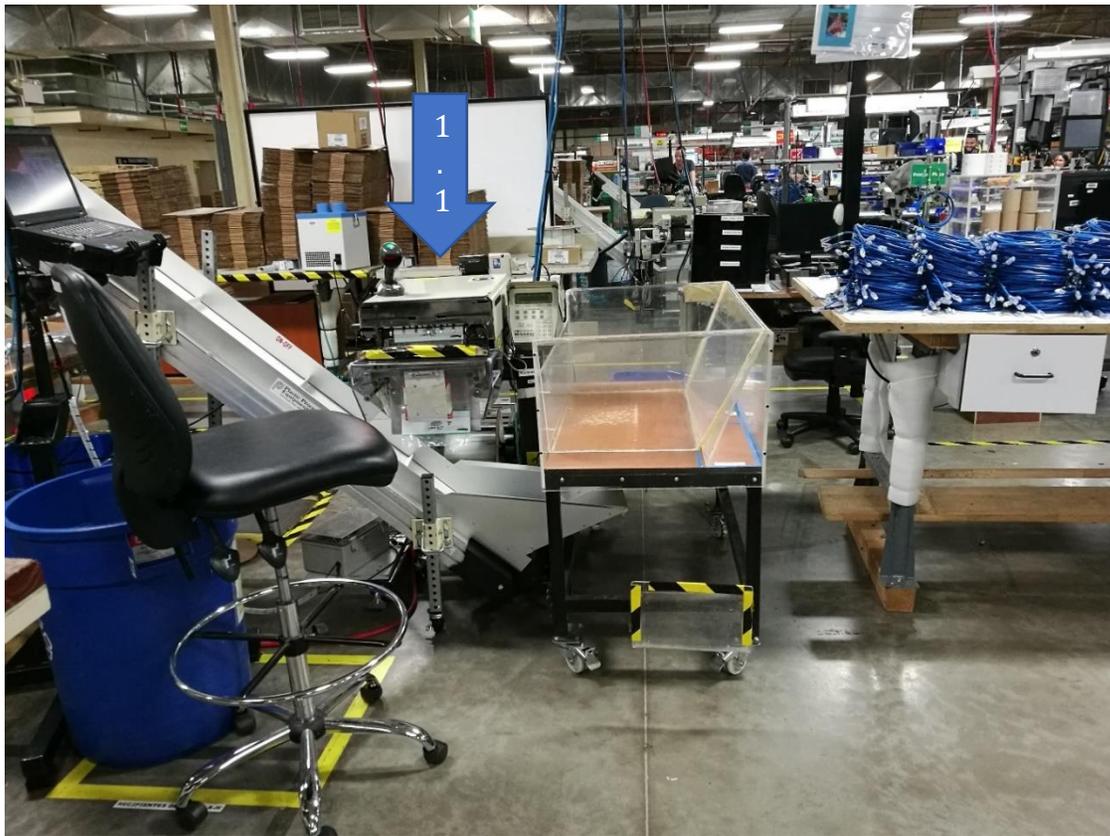


Fig. 1 Fotografía del área de etiquetado y empaque en bolsa

Fuente Fotografía propia

1.2 Definición del problema

En el área de producción de patch cord en Panduit Costa Rica cuando se trabaja a un 100% de la capacidad de producción se genera un cuello de botella en el área de empaque en bolsa. Básicamente, el ritmo de la producción en la etapa de ensamble es de 888 cables por hora, mientras que el operario de empaque en bolsa puede procesar 800 patch cords por hora en promedio. [1]

La máquina selladora semiautomática de bolsas tiene la capacidad de empacar hasta 4200 bolsas en una hora [2]. En otras palabras, si se pusiera a trabajar a un ritmo superior al que un humano puede llegar en promedio se podría cubrir de manera correcta la demanda de producción.

Se propone solucionar la problemática mediante la automatización del proceso de empaque en bolsa de los patch cords. El proyecto consiste en crear un diseño de un

sistema mecatrónico que sea capaz de trasladar los patch cords de la etapa de etiquetado, luego debe depositar el cable dentro de la bolsa para que posteriormente sea sellado y enviado a la zona de empaque en caja.

La idea es generar una solución que permita superar los índices de productividad en la línea, que a su vez cumpla con otros criterios como: Rentabilidad, estándares de calidad, facilidad de mantenimiento y amigabilidad del sistema con el operario.

El área de patch cords en Panduit Costa Rica posee 5 líneas diferentes de producción, en ellas se maneja una amplia variedad de productos. Los diámetros de arrollado varían conforme se aumenta la cantidad de vueltas del arrollado, por tanto, la variabilidad del proceso genera un reto importante en lo que depositar el cable dentro de la bolsa se refiere. Por otra parte, el reglamento de calidad exige que el cable debe ser depositado en cierta posición específica dentro de la bolsa.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema mecatrónico capaz de aumentar el índice de producción en la etapa de empaque en bolsa en el área de patch cord para Panduit Costa Rica LTDA.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Diseñar un sistema que permita la automatización de la sub etapa del proceso de empaque en bolsa, que cumpla con las restricciones propuestas por la empresa.
2. Desarrollar un juego de planos con todas las especificaciones que permitan la construcción del diseño.
3. Desarrollar un sistema de control que sea capaz de manejar el sistema de manera adecuada.

4. Construir un prototipo funcional del sistema.

1.4 Organización del trabajo

El siguiente informe de proyecto de graduación se divide en 5 grandes capítulos: Capítulo 1 Introducción, capítulo 2 Marco teórico, capítulo 3 Descripción completa del diseño alimentador automático de patch cords en empaque en bolsa, capítulo 4 Resultados y análisis y por último capítulo 5 conclusiones, recomendaciones, bibliografía, Anexos y Apéndices.

En el primer capítulo se tratan los siguientes temas: explicación del problema, se presentan los objetivos del proyecto, se menciona la forma en que se va a organizar el trabajo, se identifican los requerimientos del sistema y por último una tabla de criterios de diseño.

En el segundo capítulo se presentan los conceptos fundamentales para dar a conocer el contexto donde se desarrolla el proyecto. Se da una explicación general de los productos del área de cobre en Panduit y se detalla en el área de empaque.

En el tercer capítulo se realiza una descripción completa de la propuesta para solucionar la problemática en empaque en bolsa. Inicialmente se explica el funcionamiento de sistema automatizado y posteriormente se justifica componente por componente su selección o dimensionado.

En el cuarto capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos tras la construcción del prototipo funcional. Se realiza una comparación entre los tiempos estimados antes del prototipo y los obtenidos tras estudiar el prototipo. Además, se comparan los alcances que tuvo el prototipo funcional contra las expectativas de la propuesta.

Finalmente, en el capítulo 5 se presentan las conclusiones, recomendaciones bibliografía, anexos y apéndices. La idea de este capítulo es identificar los alcances del

proyecto. Asimismo, se pretenden esbozar algunas de las pautas que se deberían seguir para darle continuidad al proyecto.

1.5 Requerimientos del sistema

- El alimentador no puede exceder las siguientes dimensiones: 64 in ancho*123 in largo* 209 in altura
- El sistema debe ser capaz de empacar 888 patch cord que se producen actualmente por hora
- El alimentador debe poder detener su trabajo mediante un botón de paro de emergencia
- El sistema debe tener la capacidad de detenerse cuando haya un error de coincidencia de qc¹ con etiqueta de patch cord.
- El alimentador debe ser capaz de colocar el cable dentro de una bolsa de la selladora automática en la posición correcta

¹ Explicación de qc: Número de identificación que permite a la empresa rastrear el producto a lo largo de toda su logística.

1.6 Criterios de diseño

En la siguiente tabla se muestran los criterios de diseño de mayor importancia para este proyecto. La idea de realizar la siguiente clasificación es que los diseños finales se reflejen las siguientes características en el mismo orden de importancia.

TABLA 1
Criterios de diseño

Criterio	Nivel de importancia del 1 al 10
eficiencia	1
costo	2
confiabilidad	3
mantenimiento	4
Facilidad de implementación	5

A continuación, se muestra una breve explicación de cada uno de los criterios de la TABLA 1.

- **Eficiencia:** Optimización de los recursos para alcanzar el mismo objetivo. En este caso sería aumentar el índice de productividad de la etapa de empaque en bolsa.
- **Costo:** Desarrollar el proyecto al menor costo posible sin dejar de lado los requerimientos.
- **Confiabilidad:** Diseño de una máquina que tenga pocas probabilidades de fallar a un ritmo de trabajo pesado (jornadas de 16 horas).
- **Mantenimiento:** Se refiere a la facilidad de acceso a los materiales, costos de mantenimiento y rutinas de mantenimiento.
- **Facilidad de implementación:** Tiempo requerido para la implementación y niveles de capacitación que se requieren para la misma. Sería ideal que se dure poco y se requiera mano de obra no especializada

Capítulo 2

Marco teórico

2.1 Descripción

Se requiere un sistema automatizado que permita trasladar y depositar los patch cords en una máquina de sellado de bolsa semiautomática.

El sistema debe ser capaz de superar la velocidad máxima de trabajo de un operario en la máquina semiautomática. Además, debe cumplir estrictamente con los requerimientos de calidad y normas de seguridad laboral.

Por otra parte, se debe garantizar que el sistema lleve un mantenimiento bastante sencillo y de bajos costos. Esto para poder justificar que el sistema es completamente funcional en términos prácticos a lo que se solicita.

2.2 Generalidades

2.2.1 Patch Cords

Un patch cord, también conocido como cable de red, es un accesorio que se usa para la conexión de un dispositivo electrónico con otro.

Estos cables se utilizan para conectar ya sea entre computadores o entre dispositivos de gestión de redes de computadoras para conectar varias computadoras entre sí.

En un inicio los cables iban paralelos entre sí, con la inmersión de la energía eléctrica a las zonas urbanas se comenzó a interferir considerablemente en las comunicaciones puesto que estos cables de energía se colocaban sobre los mismos postes que los de comunicación. Para darle solución a esta problemática se descubrió que al entrelazar

los cables de comunicación se podía eliminar prácticamente todo el ruido que recibían. Trenzar los pares se hace por las siguientes razones:

- Consideremos que la onda es $A(t)$ en uno de los cables y en el otro es $-A(t)$ debido a que son inversas las ondas. Sea $n(t)$ la función que describe el ruido que se le añade a ambos cables. Durante el camino hasta el receptor se tiene la siguiente función $A(t) + n(t)$ y en el otro cable se tiene $-A(t)+n(t)$, de esta manera se obtiene como resultado la señal duplicada sin ruido($2A(t)$).
- En cuanto al campo electromagnético inducido, por las corrientes variables en el tiempo que atraviesan el cable, tenemos un cable que induce una corriente que viaja en sentido contraria a la del par en el cual se encuentra conectado. Esto indica que los campos magnéticos serán opuestos y el módulo será prácticamente el mismo. Esto permite reducir significativamente el efecto del electromagnetismo sobre el par y el resto de pares aledaños.

En cuanto a la longitud pueden ser cortos como de 1 ft, hasta máximo 328 ft. Este limitante se debe a que cuando se superan los 328 ft el ruido y la atenuación tiene mucha presencia y por ello la comunicación se imposibilita para estas distancias. [3]

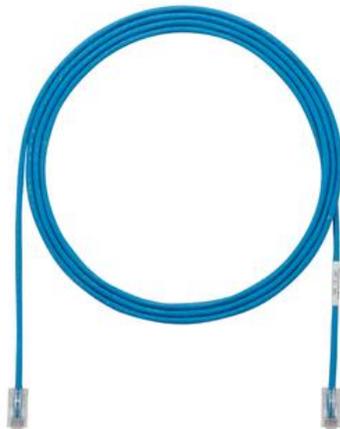


Fig. 2 La figura muestra un Patch cord Panduit.

Fuente Panduit Costa Rica

La clasificación de los cables de red se puede ver dividida según distintas características. En primera instancia se puede clasificar por el tipo de fabricación en:

- **Armado manualmente:** Cualquier cable de red que se elabore mediante herramientas completamente manuales y de poca producción. Normalmente es armado por personas involucradas en el ambiente de informática y redes para aplicaciones de poca exigencia. Es más económico que el patch cord.
- **Patch Cord(cable de acoplamiento):** Corresponde a los cables de red que son fabricados en masa en instalaciones especializadas. Durante su producción tiene que superar varias etapas que exigen un estricto control de calidad del producto. La idea es garantizar la imposibilidad de fallas ya que fueron sometidos a infinidad de pruebas que lo llevan al límite. Por ello su precio es mucho mayor al de un cable fabricado manualmente.

En Panduit se fabrican patch cord para ambientes con diferentes tolerancias al ruido eléctrico por lo tanto es necesario mencionar la clasificación de patch cord según su capacidad de manejar el ruido electromagnético.

- **Cable de par trenzado sin blindaje UTP (Unshielded twisted pair):** Este cable no tiene ningún tipo de aislante que le dé la capacidad de soportar interferencias. Es el más utilizado puesto que en la mayoría de los ambientes de trabajo no existen fuentes de ruido electromagnético de interés alrededor de los tendidos de patch cords. La única característica que posee para reducir la interferencia es la disposición trenzada de los cables, la cual le permite cancelar cierto ruido. Su resistencia es de 100Ω
- **Cable de par trenzado blindado STP(Shielded Twisted Pair):** Este tipo de cable tiene los cables de cobre dentro de una cubierta protectora, esto le da una mayor inmunidad al ruido, le permite protegerse de 150Ω . El cable STP aísla cada par entre sí.
- **Cable par trenzado global FTP(Folied Twisted Pair):** Tiene una pantalla protectora en toda la estructura del cable en su forma trenzada. Su resistencia a

las interferencias electromagnéticas es inferior a la de STP pues es de 120Ω . El cable FTP protege el conjunto de pares trenzados de la interferencia del exterior.

- **Cable SFTP(Shielded Folied Twisted Pair):** Permite un doble aislamiento de las vías de comunicación. En este caso tanto los pares como el conjunto de pares se encuentran cubiertos de un aislante electromagnético. La idea es aumentar significativamente la capacidad para tolerar ruido electromagnético. [4]

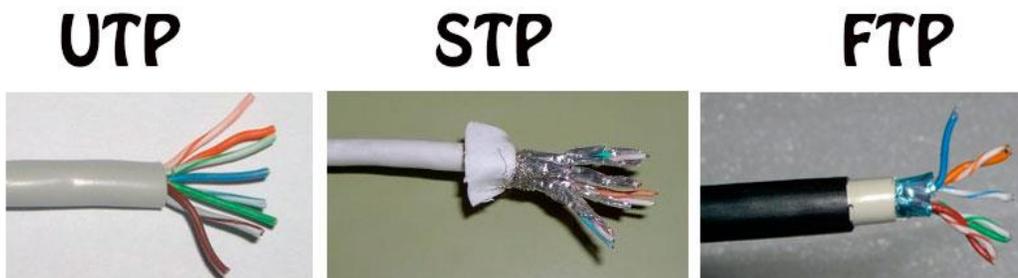


Fig. 3 Muestras de los distintos cables par trenzados según su nivel de aislamiento

Fuente Panduit Costa Rica

La idea de mostrar la figura 5 es explicar las dos normas que se manejan en conexiones de patch cord. La más común es la T568A puesto que esta se usa en ambos terminales cuando se desea conectar un computador a algún aparato de red como un switch o un router entre otros.

Cuando se desea conectar directamente dos computadores entre sí, se deben usar ambas normas, una en cada uno de los terminales. [5]

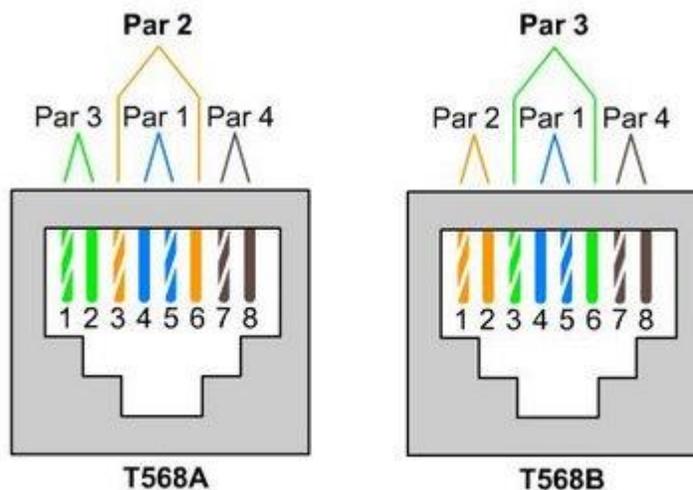


Fig. 4 Normas de conexión de plugs con cable par trenzado. [5]

Se explicaron todas estas variantes de productos de patch cord debido a que en Panduit se manejan estos e incluso productos más específicos, pues, en esta compañía se le da mucha prioridad a la satisfacción del cliente.

En la tabla 2 se detallan la gama de productos que se fabrica en estas líneas de producción:

TABLA 2

Características generales patch cord panduit

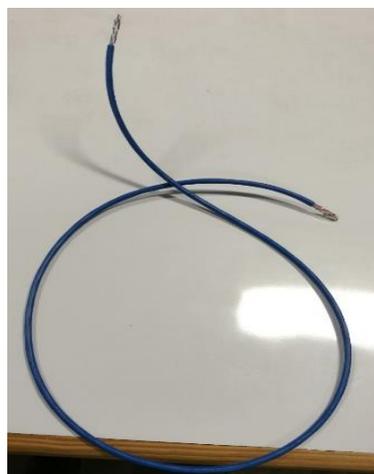
Categoría	Rendimiento	Características
5e	Velocidad de transferencia:1000 mbps Ancho de banda:100 mhz	24AWG, Diámetro del cable: 0.222 in 28AWG, Diámetro del cable: 0.149 in
6	Velocidad de transferencia:10000 mbps Ancho de banda:250 mhz	24AWG, Diámetro del cable: 0.222 in 28AWG-UTP28X: Diámetro del cable: 0.185 in 28AWG-UTP28SP: Diámetro del cable: 0.150 in

En panduit el patch cord de categoría 6 es fabricado en mayor abundancia que el de 5e. A partir de esta información se comprueba que el mercado meta de la empresa es el sector industrial. Para aplicaciones domésticas categoría 5e está sobredimensionado. [6]

2.2.2 Línea de producción de patch cords

En el área de producción de patch cords en Panduit la materia prima es básicamente cable par trenzado sin sus respectivas terminales. El producto terminado es cable utp con sus terminales y varias pruebas de funcionamiento que certifican que el mismo es capaz de trabajar bajo las condiciones que se estipulan en las especificaciones del producto.

En la figura 6 se muestra la transformación materia prima a el producto terminado. En la fotografía A se muestra la materia prima proveniente de China. En la fotografía B se muestra el producto terminado, cabe destacar que la única diferencia entre ambos es que el producto terminado tiene los conectores. [7]



Fotografía A



Fotografía B

Fig. 5 Transformación de materia prima a producto terminado

Fuente Fotografía propia

A continuación, se describe el proceso de fabricación de patch cords. En las líneas de producción de patch cords existen las siguientes etapas:

- **Etapas 0, Corte:** No se incluye como un proceso de la línea porque es un departamento independiente que alimenta todas las líneas. Aquí se cortan los cables a las distancias necesarias para completar una orden. Se recibe el cable en carruchas, se mide, se corta y se traslada a patch cord.
- **Etapas 1, Ensamble:** En esta primera etapa se recibe el cable arrollado con un corte inicial en sus terminales. Los operarios realizan todo el proceso de montaje de los plugs² en los extremos del cable. En esta etapa se encuentra un 80% de los operarios de la línea de producción.
- **Etapas 2, Prensado:** En esta etapa se utiliza un dispositivo electrónico para realizar el prensado de los terminales del plug con las puntas del cable par trenzado. Cada operario de esta etapa debe hacer una inspección visual para que el producto pase a la siguiente etapa.
- **Etapas 3, Prueba Fluke:** En esta etapa se utilizan multímetros de marca Fluke para realizar pruebas del correcto funcionamiento del cable en cuanto a transmisión de datos se refiere. Se configura la máquina para cables de cierta distancia y se prueba que se cumpla con las velocidades que se especifican en las hojas de datos de los patch cords.
- **Etapas 4, Etiquetado:** En esta etapa se etiqueta el cable para tener la capacidad de rastrearlo ya sea en las mismas líneas de producción, en bodega, en distribuidores entre otros. También se verifican las longitudes de cables a los que se les realiza reproceso³.
- **Etapas 4.5, Pruebas hi-pot:** En esta etapa se toman muestras aleatorias para realizarles pruebas de alta potencia. La idea de estas pruebas es garantizar que los materiales aislantes que poseen los patch cords no fallen cuando se les somete a 1000 V por ejemplo.

² Plug: Conector fabricado de polímeros industriales con terminales de cobre.

³ Reproceso: Proceso mediante el cual se vuelve a ensamblar un cable que fallo en las pruebas. Detalles en la página 30.

- **Etapa 5, Empaque:** La etapa de empaque se subdivide en dos partes, empaque en bolsa y empaque en caja. El empaque en bolsa se realiza en una selladora semiautomática. El empaque en caja es totalmente manual, se realiza un conteo mediante un lector de código de barras para asegurar que se deposite el número correcto de cables dentro del recipiente de cartón. Esta etapa se detallará en las siguientes páginas puesto que el proyecto se centra en la misma.

Mediante la explicación de todo este proceso se puede determinar que cable de red que se produce en Panduit es sin duda patch cord. Al observar el gran número de etapas que lleva el proceso que corresponden etapas de prueba y calidad se puede diferenciar entre patch cord y cable par trenzado convencional.

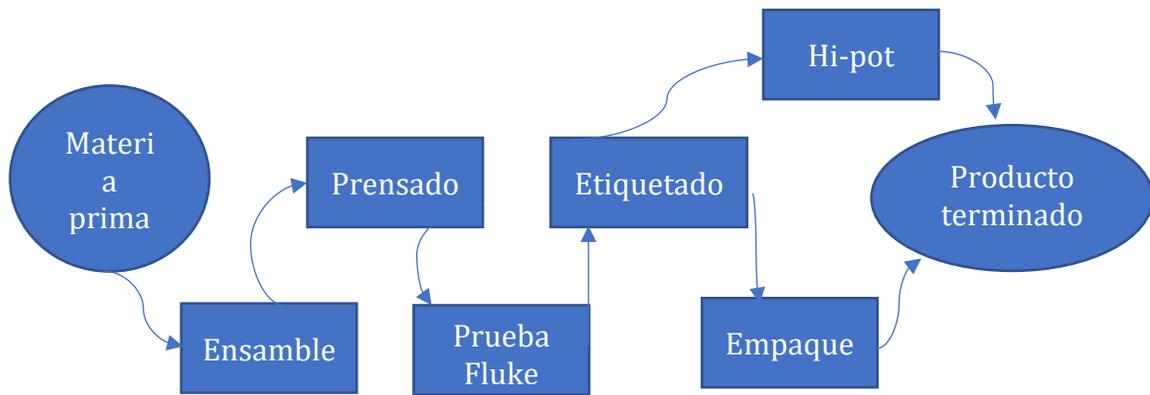


Fig. 6 Esquema de las etapas de la línea de producción

Fuente Panduit Costa Rica

TABLA 3

Cantidad de operarios por etapa

Etapa	Cantidad operarios
Ensamble	24
Prensado	2
Prueba Fluke	2
Etiquetado	2
Hi-pot	1(se toma un operario de otra etapa)
Empaque	2

De igual forma en la tabla 3 de distribución de operarios se puede notar que la tarea más realizada por mucho es el ensamble, lo cual tiene sentido puesto que es la etapa en donde se realiza prácticamente todo el montaje de los terminales a el cable par trenzado. Cabe destacar que en la tabla 3 muestra las capacidades máximas de cada etapa, en algunas ocasiones se tienen cantidades menores y combinaciones muy variadas de la distribución de operarios sobre la línea en su totalidad.

2.2.3 Proceso de empaque patch cords

Como el proyecto se enfoca en el área de empaque de la línea es necesario profundizar en el tema. En primer lugar, se requiere una explicación con detalle de cuáles son las tareas que se realizan en el área y como estas se distribuyen entre ambos operarios.

En la tabla 4 se puede observar esa distribución:

TABLA 4

División de tareas por parte de los operarios de empaque

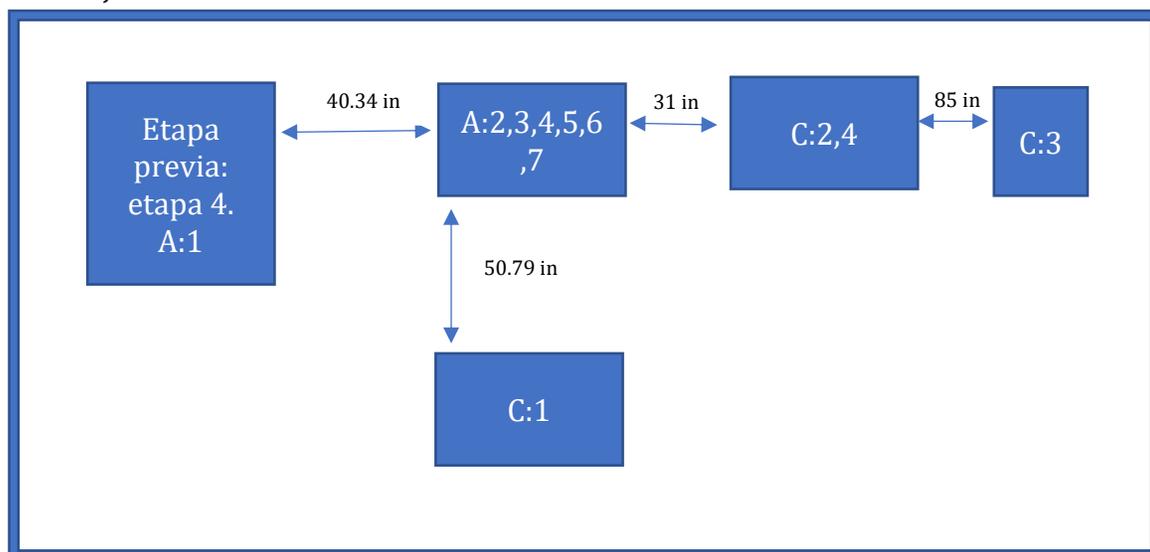
Operario	Tareas	Frecuencia
Autobagger ⁴	1.Recolección de patch cords	Toda la jornada
	2.Lectura del código de la etiqueta del patch cord.	Toda la jornada
	3.Depositar los patch cords en el autobagger y realizar el sellado con la máquina.	Toda la jornada
	4.Configuración del autobagger (Ingresar una orden nueva al sistema informático que lleva el control de la producción)	Variable: Depende de los cada cuanto haya cambio de orden
	5.Cambio de carbones de impresión	2 veces por jornada
	6.Cambio de rollos de bolsa	Variable: Puede depender del cambio de orden o del agotamiento del rollo.

⁴ Operario Autobagger: Se refiere al operario que trabaja en la máquina autobagger(selladora semiautomática de bolsa.

	7.Ajuste de los dedos mecánicos	Variable: Depende del cambio de tamaño de bolsa
Cartoning ⁵	1.Etiquetado de las cajas	Toda la jornada
	2.conteo de los patch cords, armado de caja y sellado con cinta adhesiva.	Toda la jornada
	3.Paletizado de las cajas de patch cords.	Toda la jornada
	4.Configuración del sistema (Al igual que en autobagger se debe indicar cuando hay cambio de orden)	Variable: Depende de los cada cuanto haya cambio de orden

En la tabla 4 además de las tareas se muestra un aproximado de la frecuencia con que se realizan las tareas. Cabe destacar que esto varía mucho según el tamaño de las ordenes y la forma en que acomodan el flujo de las ordenes según el departamento de producción de la empresa.

Por otra parte, es de suma importancia conocer la forma en que se distribuyen las tareas en un espacio de trabajo. Para ello se realizaron unos pequeños diagramas de vista superior, en los cuales se puede observar la disposición de las tareas en el espacio de trabajo.



⁵ Operario Cartoning: Forma en que se le llama al operario de empaque en cajas de Panduit en patch cords.

Fig. 7 Distribución de las tareas en el área de empaque

Fuente diseño propio.

Nomenclatura:



Estos recuadros azules denotan áreas de trabajo que van desde los 800 in² cuadrados a los 1500 in²

- A: Tareas en autobagger ejemplo: A:1,2. Significa que en esa zona se realizan las tareas 1 y 2 de autobagger.
- C: Tareas en área de cartoning: A:1,2. Significa que en esa zona se realizan las tareas 1 y 2 de cartoning.

A simple vista en la figura 8 se puede determinar que el operario de autobagger realiza prácticamente todas las tareas que le corresponden en un lugar de máximo unos 1000 in². A diferencia del operario de cartoning el cual trabaja en un área de alrededor 20000 in². El operario de cartoning debe desplazarse más para realizar una tarea o la otra. Sin embargo, esto no quiere decir que hay una mayor carga de trabajo sobre el operario de cartoning, se debe realizar un estudio de los tiempos para identificar que tardan ambos operarios realizando sus respectivas tareas, además se debe tener en cuenta en medidas cuantitativas la frecuencia con que se realizan ciertas tareas.

2.2.4 Productividad y tiempos en el proceso

En la etapa de etiquetado se realizan dos operaciones principales:

- **Etiquetado de los patch cords:** Esta es la tarea de alto volumen que se realiza en esta etapa, las etiquetas deben pegar a cierta distancia longitudinal con respecto al plug.
- **Reproceso:** Cuando existen cables que tuvieron algún error durante el recorrido, en la mayoría de los casos se pueden reparar con devolverlos a la etapa uno. Cuando esto sucede la distancia total del cable varía, por lo tanto,

alguna línea debe verificar que la longitud del cable sigue cumpliendo con los estándares, para ello en etiquetado se realiza toda la inspección posterior al reprocesado. Esta tarea se realiza en la medida que se encuentran los errores en la primera etapa principalmente. Por ello no es de mucha frecuencia que se debe realizar.

Se debe conocer los índices de productividad en etapas previas para poder tener una idea de cómo se cubren en la etapa de empaque. Durante la etapa de ensamble se posee el control más cauteloso de la productividad, pues, en esta etapa se lleva un monitoreo en tiempo real de la producción de cada uno de los operarios que se encuentran en la mesa. En la siguiente tabla 5 muestra la cantidad de cables que se espera por hora para las distintas líneas de producción de patch cords en las que se centra el proyecto.

TABLA 5

Productividad en el área de patch cord

Índices de productividad		
tipo	persona/hora	Total 12 operarios
Utp6A	26	312
Utp6asd	26	312
utpch	54	648(excepción se usan 2 operarios de etiquetado)
utpsp	37	444
Utp28sp	37	444
Utp28x	18	216

La capacidad promedio de un operario de etiquetado es de **450 cables/hora**, esta se encuentra por sobre la capacidad máxima de producción de la etapa de ensamble. Sin embargo, la tarea de reproceso de cable que se realiza en etiquetado tiene un comportamiento totalmente aleatorio. Además, su demanda de tiempo es mucho mayor que la del **etiquetado** únicamente. En caso de que se reprocesara todos los cables durante una hora la producción del operario sería de **120 cables/hora** si se hiciera reproceso siempre.

Para la etapa de **autobagger** se tiene una producción mayor, el problema es que, a diferencia de las etapas anteriores, posee tareas muy variadas y que no siguen un patrón definido. En Panduit se determinó que un operario en autobagger puede hacer alrededor de **800 cables/hora**. [1]

Este promedio incluye el 15% de suplementos que se le agrega para evitar la sobrecarga de trabajo en los operarios, además incluye los tiempos que se pierden en las distintas tareas no frecuentes y aleatorias que realiza el mismo operario de cartoning.

De igual forma se tiene un estudio de la capacidad del operario de cartoning. La determinación de los retrasos que representan tareas de poca frecuencia como por ejemplo el cambio de carbones no son consideradas dentro de este cálculo. Sin embargo, se incluyen configuraciones, cambio de rollo y ajuste de dedos. Cabe destacar que la eficiencia de estos dos últimos operarios depende directamente del tamaño y cantidad de órdenes que pida cada cliente respectivamente. Si los clientes piden ordenes⁶ de menos de 100 cables, la cantidad de configuraciones va ser muy elevada, por lo cual la capacidad de producción que tiene se ve intensamente afectada.

Para la última etapa de empaque, se tiene que se pueden empacar alrededor de **921 cables/hora**. En esta área se tiene la ventaja de que los cables se empacan en paquetes de 10, por tanto, esto acelera mucho el proceso de empaque. Sin embargo, al igual que en autobagger esta estadística es sin considerar los tiempos que se invierten en tareas menos frecuentes.

⁶ Ordenes: Se refiere a los pedidos de producto que realizan los clientes de Panduit.

2.2.4 Estándares de calidad

En el área de patch cords se manejan estándares muy estrictos de calidad, pues el mercado meta de Panduit es la industria. Por esta razón en Panduit se le da prioridad a la calidad por sobre el precio o cualquiera otra característica que pueda ofrecer el producto. Se tienen un listado de requisitos que deben cumplir tanto los plugs como los jacket por aparte. Además, se posee un listado de los estándares de calidad de que se deben cumplir en empaque.

Por otra parte, se realizan auditorías semanales para garantizar el control de la calidad de los productos. Las auditorías consisten en tomar pequeñas muestras del producto terminado y evaluar que se cumplan con todos los estándares estipulados para todos los productos de esa muestra, en caso de que exista un error, se debe hacer una revisión general de toda la orden.

Para patch cord se manejan los siguientes criterios:

- Basura en plug
- Bordes en etiquetas
- Cable con amarra de retrabajo
- Cable con doble impresión
- Cable quebrado
- Cables cruzados
- Cobre fuera de divisor
- Cobre picado
- Impresión ilegible
- Jacket baja
- Jacket rota
- Puntos negros
- Virutas de cobre

- Escamas en la jacket
- Mal prensado
- Cable con etiqueta borrosa
- Cable de mayor diámetro
- Collar abierto
- Etiqueta arrugada
- Rebaba de jacket
- Tonos diferentes

En esta lista se muestran los nombres de los criterios de calidad que se deben seguir para garantizar que el patch cord cumple con los estándares.

A continuación, se esbozan los criterios de calidad para el área de empaque:

- Arrugas en el sello
- Bolsa mal sellada
- Cable sin etiqueta
- Etiquetas caja mal coladas
- Faltan logos
- Impresión ilegible
- Información corrida y país de origen erróneo
- Información en etiqueta incorrecta
- Logos incorrectos
- Parte en bolsa incorrecta
- Raya en impresión

Existen otros certificados con los que cumplen los productos de esta empresa. En el siguiente apartado se mencionarán cuáles son esos mismos:

- UL(Underwriters Laboratories)
- RU(recognized component mark)
- CE(Conformité Européenne)

- SA(materiales seguros)
- QuickNet(montaje rápido instalaciones de red)
- Net-Key(compatibilidad universal del producto)
- Mini-COM(incompatibles con tros productos de otras marcas)
- Pan-Net(productos relacionados con redes)
- ISO 14001(gestión ambiental)
- ISO 9001(gestión de calidad)
- Pan-way(producto de uso de canaletas)

2.2.5 Maquinaria de empaque en bolsas

En el proceso de empaque en bolsa en Panduit se utiliza la siguiente maquinaria a lo largo de toda el área:

1. Maquina selladora de bolsas automática
2. Banda transportadora
3. Lectores de código de barras
4. Dos computadoras
5. Selladora de cajas
6. Selladora de bolsas manual
7. Balanza electrónica

se muestra una fotografía del área de empaque, mediante esta imagen se explicará la disposición de los principales dispositivos que componen el área de empaque:

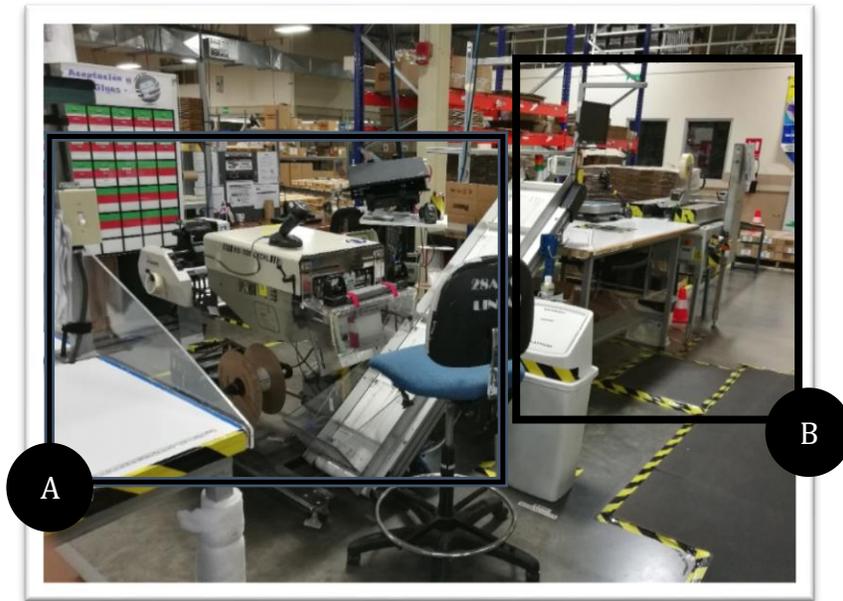


Fig. 8 Fotografía del área de empaque

Fuente fotografía propia

Con la numeración anterior se realiza un tipo de señalización para crear dos nuevas imágenes con mayor detalle de la misma fotografía.

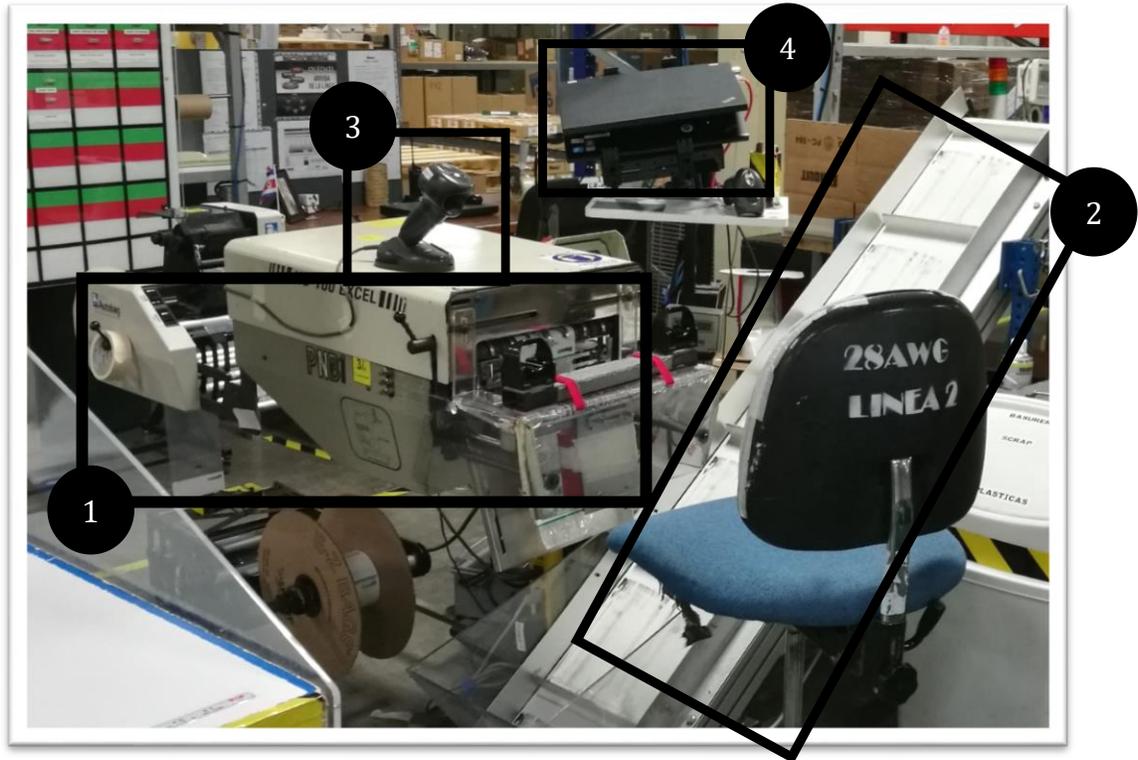


Fig. 9 Ampliación del recuadro número uno de la figura anterior

Fuente fotografía propia

En la fotografía anterior se puede ver con más detalle las máquinas que se encuentran en la etapa de empaque la bolsa. El autobagger posee un lector de código de barras encima para poder estar verificando el código de la etiqueta contra el código impreso en la bolsa.

Por otro lado, se tiene una computadora junto al autobagger que permite gestionar todos los seteos de órdenes para posteriormente registrarlos en la base de datos de la empresa.

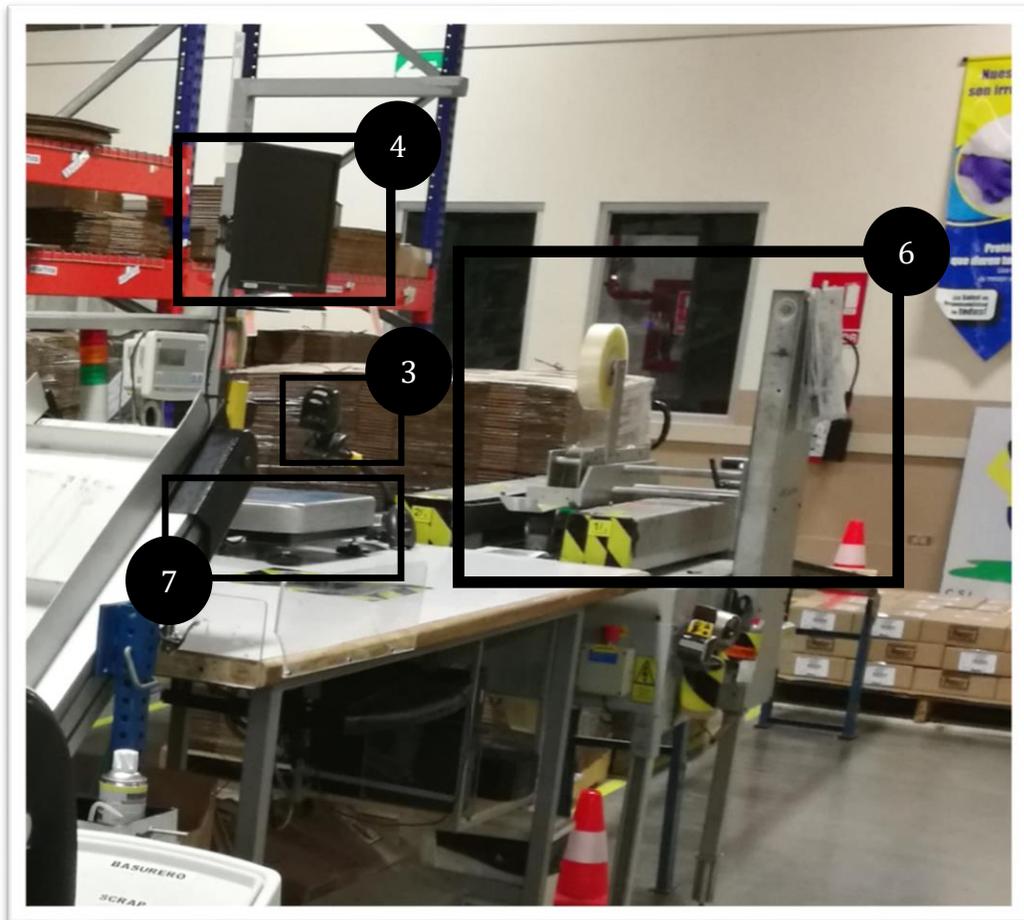


Fig. 10 Ampliación de la fotografía de la figura 8 según el marco 2

Fuente fotografía propia

En la fotografía anterior se puede ver los principales componentes del proceso de empaque en cajas de cartón. Nuevamente se puede observar la necesidad de un lector de código de barras, este sirve para verificar el serializado de la caja. Por otro lado, se posee una balanza electrónica que se utiliza para garantizar que dentro de la caja se tiene un total de acuerdo al indicado en el sistema. Por ejemplo, si una orden es de cajas de 10 patch cords, se encarga de frenar el proceso si por alguna razón va una cantidad de incorrecta de cables.

La selladora que se ve atrás se activa únicamente cuando todo el proceso de validación se ha concluido con algún producto en específico.

La mayoría de maquinaria involucrada en esta área es convencional por lo tanto no se requiere de una explicación de funcionamiento para poder entender el proceso de empaque con excepción de la máquina selladora automática de bolsas.

2.2.6 Máquina selladora de bolsas automática(Autobagger)

Esta máquina realiza un sellado automatico de la bolsa, sin embargo, el proceso de empaque en bolsa es semiautomático. Esto debido a que se requiere de un operario tiempo completo que este trasladando el cable de la mesa de etiquetado al interior de la bolsa que dispensa la misma máquina. [2]

Esta máquina posee las siguientes características:

- Productividad: permite empacar como máximo 70 bolsas por minuto
- Flexibilidad: Se le puede programar hasta 30 diferentes ordenes de trabajo
- Precisión: La máquina posee una repetibilidad del proceso bastante alta si esta es bien ajustada.
- Modular: Se puede combinar con los sistemas de impresión autobag. El integrar el sistema de impresión no afecta el rendimiento de la máquina en lo más mínimo.

- Amigable con el usuario: La interfaz gráfica permite ajustar muchas características con pocos clicks de manera intuitiva. Características como: tiempo de sellado, índices de empaque, contadores, temperatura de sellado. Además, es fácil de realizar el cambio de bolsa.
- Versatil: Cuenta y separa cada bolsa de la línea de bolsas. Las bolsas pueden ser colocadas en distintas posiciones dependiendo de los requerimientos de la aplicación de empaque.
- Confiabilidad: Integra proceso ProTech sealing para garantizar un sellado completo y confiable reduciendo en scrap y garantizando la seguridad del proceso.

TABLA 6

Especificaciones técnicas de los autobagger

Especificaciones técnicas	
Dimensiones:	29 in ancho 35 in profundidad (33.5-43) in altura
Peso:	270 lbs(123 kg)
Tamaños de bolsa:	2.5 in x 2.5 in to 10.5 in x 22 in
Espesor de bolsa:	1.5-4.0 mil(35-100 microns)
Sistema neumático:	80 PSI (6 bar)
Comunicación externa:	RS-232 puerto y dos RJ-11 conectores.

2.2.7 Resorte de Torsión

Un resorte de torsión es un tipo de muelle que funciona cuando es sometido a cargas de torsión. Esto significa que gracias a su elasticidad es capaz de almacenar energía mecánica cuando es girado y puede devolverla en un movimiento de giro en sentido contrario al que se le cargó energía. La magnitud de la fuerza es proporcional al ángulo total en que se ha girado.

Para efectos de este proyecto se requiere el cálculo del esfuerzo máximo de torsión y principalmente de la deflexión que tiene el resorte en función de la cantidad de fuerza que se le aplique en torsión. Para ello se utilizan los siguientes parámetros:

Diámetro medio(D)

Diámetro del cable(d)

Largo de la pata(r)

Número de espiras activas(Na)

Módulo de elasticidad(E)

Fuerza sobre el resorte(F)

En la figura 11 se proporciona un diagrama que describe graficamente cada uno de los parámetros anteriores. Además suministra las fórmulas necesarias para realizar los respectivos cálculos. [8]

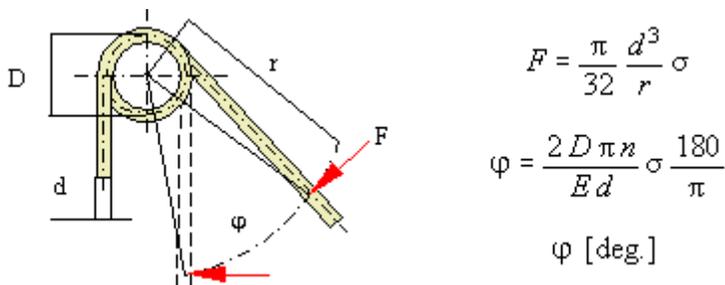


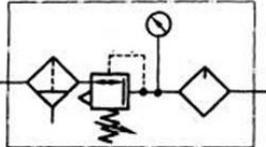
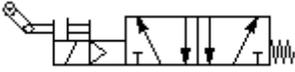
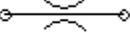
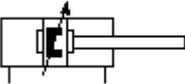
Fig. 11 Diagrama y cálculos para dimensionar un resorte de torsión [8]

2.2.8 Simbología neumática

Para efectos del proyecto se presentarán los elementos neumáticos utilizados y una pequeña descripción en la tabla 7. Estos elementos son conectados mediante tuberías para generar circuitos neumáticos. Estos circuitos son análogos a los circuitos electrónicos.

TABLA 7

Simbología de los elementos neumáticos utilizados

Símbolo	Nombre	Descripción
	Estación de mantenimiento	Este elemento se encarga de depurar el aire que ingresa al sistema de humedad y partículas.
	Electroválvulas de 4/2	Este elemento se utiliza para el cambio de dirección de los flujos en un circuito neumático. Puede ser accionado mediante pulso eléctrico dc.
	Regulador de flujo	Se encarga de regular el flujo que pasa por un conducto neumático
	Pistón de doble efecto	Actuador que es accionado por diferenciales de presión. Realiza un movimiento lineal en ambos sentidos.

Capítulo 3 Descripción Completa del diseño del alimentador automático de patch cord en empaque de bolsa

Se propone optimizar la etapa de empaque mediante un sistema automatizado que permita trasladar el cable de la mesa de etiquetado hasta la máquina selladora de bolsas. Además, el sistema debe colocar el cable dentro de la bolsa en la posición requerida. Finalmente, la máquina debe indicar a la selladora que puede proceder a realizar el sellado y corte de la misma para que esta sea trasladada a la mesa de cartoning por la banda transportadora que se utiliza actualmente para realizar ese proceso.

El sistema que se propone tiene la ventaja de que utiliza materiales de bajo costo y fácil acceso. Entre los materiales que utiliza se tiene:

- Acrílico.
- Tornillería.
- PLC o Logo para el sistema de control.
- Features de acero.
- Pines de acero.
- Pistón neumático de Aluminio.
- Cables y dispositivos eléctricos para el sistema de control.

La propuesta se puede dividir en tres etapas principales. Para ello se muestra en el siguiente diagrama la distribución física de la propuesta en la etapa de la línea de producción en Panduit.

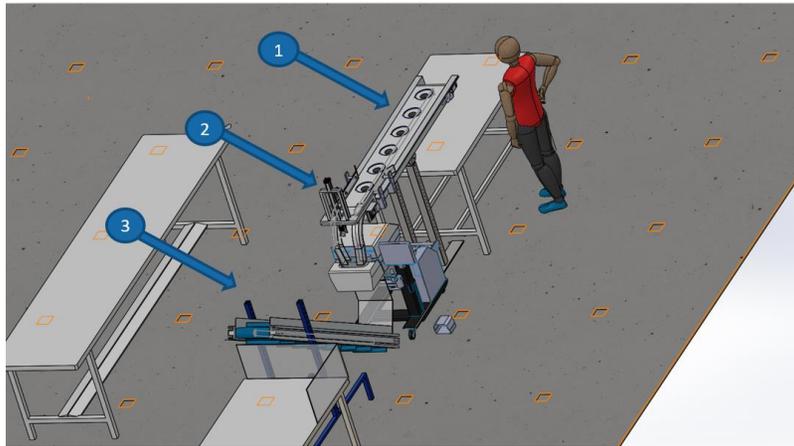


Fig. 12 captura de pantalla del diseño final de sistema de Alimentación automático.

Fuente Captura pantalla propia

1. En esta etapa se utiliza una banda transportadora personalizada para llevar el cable de la mesa de etiquetado a el dispositivo Alimentador de cables. En esta etapa se tienen dos lectores de código de barras, para poder realizar la lectura de la etiqueta del cable y hacerle match el código de barras de la bolsa de empaque. Por otro lado, en el final de la banda se tiene un sensor de presencia para garantizar el control del dispensado de los cables.
2. En esta etapa se debe cambiar el cable de su posición horizontal a una posición vertical, sin embargo, a la hora de colocarlo verticalmente se debe considerar que tiene que ser frenado antes de dispensarse dentro de la bolsa. Para ello, al final de los rieles de acrílico como los que se muestran en la figura se tiene una reducción de ancho para atrapar al cable justo al final del recorrido. Nuevamente en esta etapa se posee un sensor de presencia que indica cuando el cable se encuentra en posición vertical. Finalmente se acciona el piston el cual empuja el arrollador de cable dentro de la bolsa, una vez dentro de la bolsa se posee un segundo sensor de presencia que indica cuando se debe realizar el sellado por parte de la máquina.
3. Esta tercera etapa constituye únicamente una banda transportadora inclinada que se encarga de transportar los patch cords empacados en bolsa de la salida de autobagger hasta la mesa de empaque de cajas.

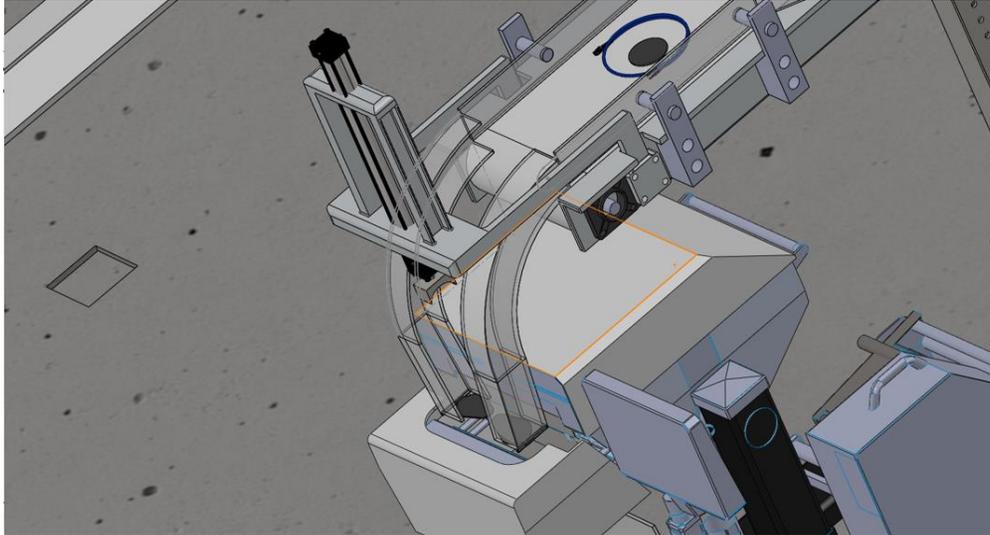


Fig. 13 captura de pantalla de la sección curva de la máquina

Fuente Captura pantalla propia

3.1.1 Etapa 1: Traslado del cable utp al alimentador de cable.

Esta etapa es muy sencilla puesto que únicamente se refiere al traslado continuo del patch cord sobre la banda transportadora. Sin embargo, en esta parte del recorrido se tienen que tener ciertas consideraciones para asegurar que el patch cord va a llegar en las condiciones adecuadas para ser posteriormente empacado en bolsa. Las consideraciones que hay que tener en consideración se mencionan a continuación:

- Ajuste de los rieles guía: En esta etapa se ajustan los rieles guía horizontales. Se debe asegurar que estén perfectamente alineados con el resto del recorrido, además, se debe tener certeza que el espacio entre rieles tiene que ser ligeramente mayor que el diámetro del rollo de cable que se está manufacturando en ese momento.
- Colocación correcta del patch cord en la banda: Como requisito de calidad se requiere que la orientación de los terminales del cable estén ambos hacia abajo. Se debe tener certeza que el operario va a trabajar esto a conciencia, de lo contrario se incumple el requisito de calidad.

3.1.2 Etapa 2: Alimentador de cable utp

Esta etapa es la etapa donde existe mayor análisis del sistema que se propone en general. Esta etapa realiza justo el trabajo que realizan los operarios que se encuentran actualmente en las máquinas de sellado semi-automáticas.

Por ello se debe realizar una división de las tareas que se realizan y asimismo un estimado de tiempos de operación para poder tener una idea de si realmente la máquina puede con las demandas de producción que se manejan en la empresa.

TABLA 8

Descripción tareas alimentador de cable utp

Tarea	Descripción	Tiempo
Caída	La caída tiene un recorrido de casi 18 in	Utilizando caída libre se determina que la velocidad aproximada de esta parte es de 0.5s.
Pistón extendido	Una vez el cable se encuentra en la obstrucción final, el pistón es activado secuencialmente.	La extensión del pistón tardaría aproximadamente 0.7s.
Pistón retraído	El pistón se retrae justo después que el cable ingresa a la bolsa para esperar el siguiente	Esto puede durar el mínimo que pueda un pistón, alrededor de unos 0.3s.
Accionamiento sellado bolsa	Una vez el cable está dentro de la bolsa se acciona el sistema de sellado	Esto tarda unos 0,5s
Total		2s

3.2 Cálculo y selección de los elementos principales del sistema de dispensado de cable UTP

3.2.1 Selección de la banda transportadora

Para la selección de la banda transportadora se deben tener en cuenta diversos factores cualitativos y cuantitativos de la máquina. Una gran ventaja con respecto a la banda transportadora es que hay mucha tolerancia en cuanto a estos factores se refiere. Esto se debe a que el sistema en general está diseñado para trabajar con muchos tipos de productos.

Para el proceso de selección de la banda transportadora se procede a realizar una tabla en donde se indiquen los requisitos mínimos de dispositivo y las características de la banda transportadora seleccionada. [9]

TABLA 9

Requisitos y características de la banda transportadora seleccionada

Característica	Requisitos	Banda transportadora seleccionada
Dimensiones	A: 12 in B: 6 in E: (45 - 72) in F: (15 - 25) in G: > 20 in I: > 32 in H: < 8 in D: (40-78) in	A: 12 in B: 6 in E: 72 in F: 17 in G: 39 in I: 42 in H: 5 in D: (44 -70) in
Velocidad de desplazamiento de la banda	La velocidad debe ser de preferencia variable para poder ajustar de la manera más óptima la misma de acuerdo a la demanda de producción	V: (0-53) fpm
Peso de carga máximo	40 lb	270 lb
Material de la banda	PVC con superficie lisa: La idea es tener buen agarre y evitar que se raye el producto. Coeficiente de fricción 0.60 [10]	Cumple con las características necesarias.

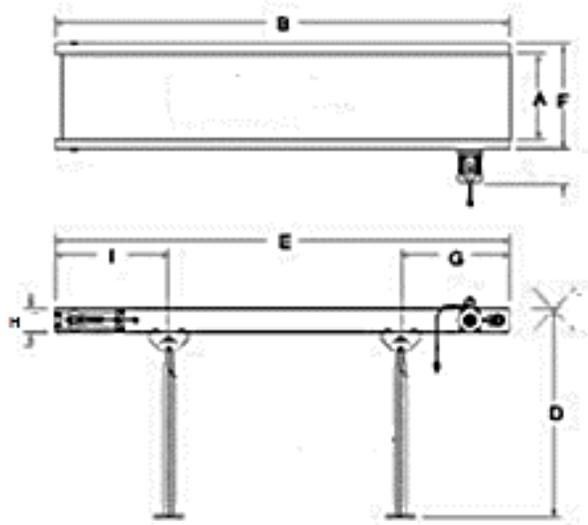


Fig. 14 Dimensiones de conveyor belt

Fuente catalogo plastic process equipment

3.2.2 Rieles Guía consideraciones de diseño

Los rieles guía componen un alto porcentaje de los componentes mecánicos que posee el proyecto. El objetivo de estos es por supuesto guiar los patch cord desde que son colocados en la banda transportadora hasta la posición vertical justo antes de ser introducido en la bolsa de la selladora. Para la fabricación de estos mismos se selecciona como material base el polimetilmetacrilato. [11] Las razones por las que se seleccionó son las siguientes:

- Una de las principales razones por las que se seleccionó es por su bajo costo y facilidad de acceso en Costa Rica, esto en comparación con otros materiales que podrían cumplir con la tarea.
- Debido a que los rieles están en constante roce con los patch cords se debe tener en cuenta que la fricción que tienen es lo suficientemente baja como para permitir el libre movimiento. En general la fricción de la banda transportadora debe ser mayor que la de los rieles guía para evitar que los patch cord cambien

de posición una vez se encuentran en movimiento sobre la banda transportadora.

- La dureza del material es menor que la dureza del material de recubrimiento de los productos que se transportan, esto para garantizar que no se incumpla con este criterio de calidad.

3.2.2.1 Calculo de rieles guía horizontales

Para esta sección de las guías de patch cords se requiere únicamente calcular la altura que van a poseer estas láminas de polimetilmetacrilato (acrílico). Este cálculo de la altura permite saber cuál va a ser la altura para el resto de las secciones de los rieles guía.

Se da a la tarea únicamente este cálculo, debido a que en esta sección no existe esfuerzos importantes ni ningún requerimiento de diseño estricto para que se dé acabo correctamente el funcionamiento del sistema en esta zona.

El cálculo de la altura se hace mediante la estimación de la altura máxima que podría alcanzar el patch cord de mayor cantidad de vueltas que se empaca en selladora.

$$H = 2 * \sqrt{\frac{A_T}{\pi}}$$

H: Altura del patch cord(mm).

A_T : Se refiere al área transversal que suman todas las secciones transversales de cada una de las vueltas del arrollado(mm^2).

$$A_T = A_t * n_c$$

$$A_T = d_c^2 * n_c$$

A_t : Área transversal de una sección cuadrada de un cable. (in^2)

n_c : Cantidad de vueltas que tiene el arrollado de cable utp (adimensional).

d_c : Diámetro del recubrimiento de polímero(in).

Hay dos diámetros de recubrimiento puesto que se manejan calibre 28 AWG

Y calibre 24 AWG.

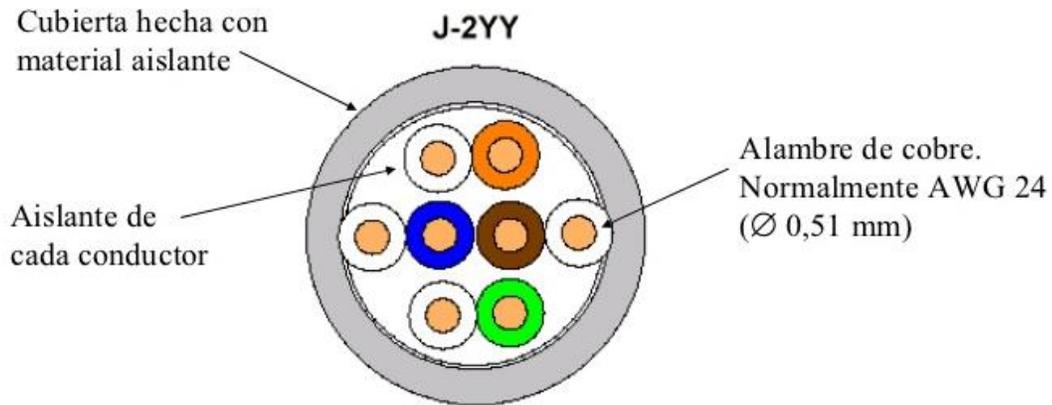


Fig. 15 Sección transversal de un cable utp [5]

Cable de mayor cantidad de vueltas 28 AWG:

$$n_c = 42 \text{ vueltas}$$

$$d_c = 0,19 \text{ in}$$

$$H = 2 * \left(\sqrt{d_c^2 * \frac{n_c}{\pi}} \right) = 1,35 \text{ in}$$

Cable mayor cantidad de vueltas 24 AWG

$$n_c = 20 \text{ vueltas}$$

$$d_c = 0,23 \text{ in}$$

$$H = 1,70 \text{ in}$$

Mediante los resultados obtenidos se puede determinar que el cable de mayor altura que pasa por el sistema tiene una altura menor o igual a 40mm. Por ello se decide dimensionar la altura de las guías a 63.5mm esto con el fin de ponerle un factor de seguridad para evitar que en el resto del recorrido exista la posibilidad de que el cable se quede atascado durante el trayecto.

3.2.2.2 Calculo de curvatura de rieles guía verticales

Para el diseño de la parte curvatura se analizó principalmente los siguientes conceptos:

- Velocidad de caída
- Control en la posición final

Para esta sección se justifica el diseño de la curvatura que lleva el arrollado de cable de posición horizontal a posición vertical. Como se debe cumplir con los factores anteriormente mencionados la curvatura debe tener un balance entre suavidad de la caída (para garantizar el control de la posición final) y la cantidad de tiempo que dura en recorrer el trayecto la pieza.

Se analizan los siguientes extremos que se pueden observar en la siguiente figura:



Fig. 16 Vista lateral de la curvatura de las caídas

Fuente dibujo propio

Como se puede ver en la ilustración 1 se muestra una caída con curvatura muy amplia, el problema que tiene esta curvatura de aproximadamente 15in de radio es que la caída se vuelve muy lenta y a su vez el volumen que ocuparía la sección curva de los rieles sería muy complicado de manejar.

Por esto, se requiere una reducción en esta curvatura pasando a la ilustración 2, en esta se ve un cuarto de círculo que permite la suavidad

requerida y con un menor tiempo de caída, por supuesto, el balance requerido para la aplicación.

Finalmente se puede ver el otro extremo, una caída donde no exista curvatura, en esta se obtendrá un tiempo de caída muy bajo, sin embargo, un control de la caída casi nulo, impidiendo asegurar el correcto funcionamiento de la máquina.

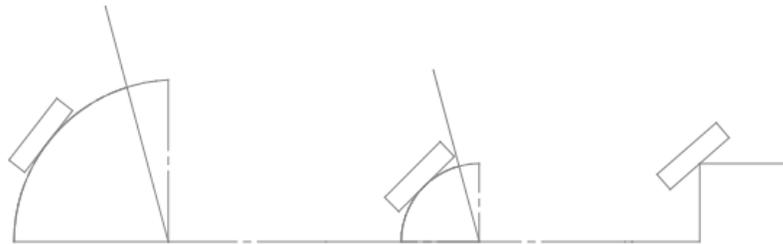


Fig. 17 Ángulo de entrada para la sección curva

Fuente dibujo propio

En esta figura lo que se explica es como el cuarto de circunferencia que forma la curvatura anteriormente mencionada es recortada unos cuantos grados. El principal problema con mantener los 90° de circunferencia es que para patch cord de diámetros muy pequeños como los de 5in, existe una alta probabilidad de que estos se queden atascados en la parte que es completamente horizontal de la sección. Para resolver la problemática se decide eliminar unos 15° del primer tramo de la curvatura. Este cambio permite que ingrese a una curvatura que de entrada se encuentra un poco inclinada.

Se pretende hacer una estimación del tiempo que dura el patch cord en recorrer este sector circular para ello se utilizará los principios del movimiento circular uniformemente acelerado. [12]

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$a_r = \alpha * R$$

$$V_0 = \omega_0 * R$$

$$V = \omega * R$$

$$\omega = \omega_0 + \alpha * t$$

$$P = m * g$$

$$\theta = 1.74 \text{ rad}$$

$$\theta_0 = 0 \text{ rad}$$

$$R = 9 \text{ in}$$

$$V_0 = 0.9 \text{ fps}$$

$$a_r = 2.20 \text{ fps}^2$$

$$g = 32.00 \text{ fps}^2$$

$$m = 0.58 \text{ lb}$$

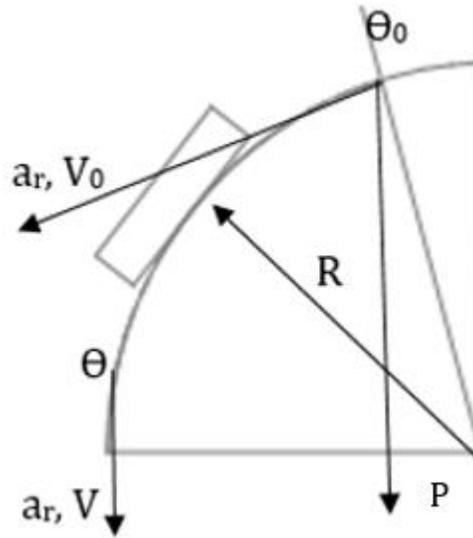


Fig. 18 Diagrama MCUA

Fuente dibujo propio

Consideraciones

- La aceleración tangencial corresponde a la componente de la gravedad en ese plano
- Se calcula el tiempo para una de las menores masas que se manejan en empaque
- Se utilizan 50° de los 75° totales, esto porque se considera los últimos 25° caída libre

Mediante las consideraciones anteriores y las fórmulas anteriores se hace un estimado del tiempo que tarda el patch cord en recorrer la caída curva.

$$t = 0.75s$$

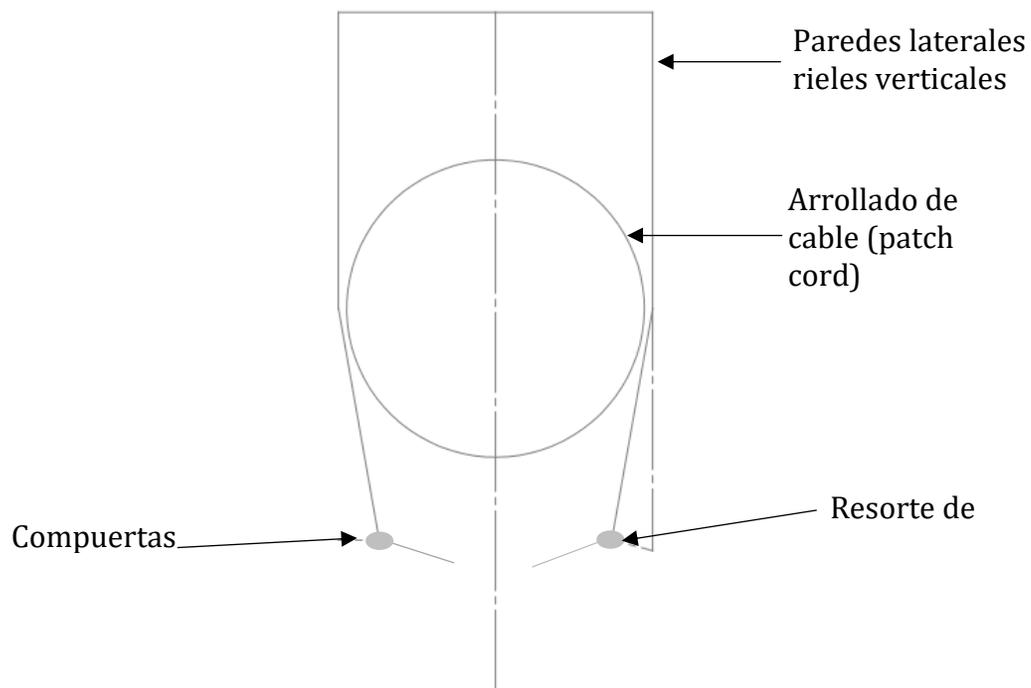
Es importante recordar que la velocidad va a variar dependiendo de la masa que del patch cord y además que se ignora la fuerza de rozamiento, la cual por supuesto tiene un importante impacto en este tiempo.

3.2.2.3 Cálculo de los rieles en la sección vertical.

Para esta última sección se requiere que el patch cord sea retenido en su caída libre. Esto por las siguientes razones:

- Para arrollados de muchas vueltas dejarlo en caída libre va tender a romper la bolsa de empaque antes de que sea sellada.
- Se requiere reducir el diámetro del arrollado en un porcentaje para permitirle entrar libremente a la bolsa mediante el empuje vertical del pistón.

Para atender a los problemas mencionados anteriormente se diseñó al final del recorrido una reducción en la distancia entre guías, de manera que fuera menor que el respectivo arrollado de cable que se esté manejando en ese momento.



En la **Error! Reference source not found.** se hace una ilustración bidimensional de la sección vertical de los rieles, la finalidad es mostrar la reducción que se hace al inclinar las paredes finales de la sección. Esto permite colocar el cable en una posición de espera, a su vez al restringir el paso a la hora de ser empujado por el pistón se reduce el diámetro del arrollado temporalmente para permitirle entrar fácilmente a la bolsa.

Si bien geoméricamente el diseño satisface las necesidades que se tiene para resolver el problema, no deja de ser importante garantizar que el diseño va a soportar las cargas críticas a las que se someta.

Las piezas del ensamble en acrílico son acopladas mediante una sustancia conocida como cianoacrilato, esta sustancia genera un tipo de soldadura entre ambas partes a adherir entre sí.

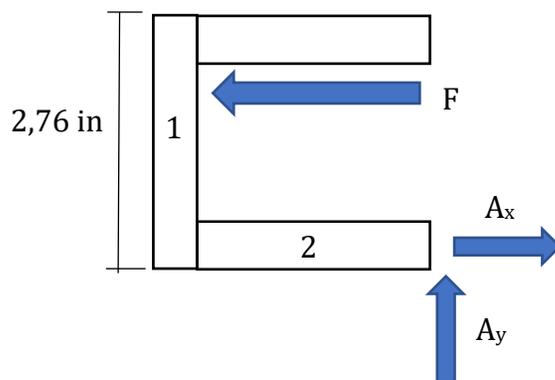


Fig. 20 Sección transversal rieles guía acrílico

Fuente dibujo propio

En la figura anterior se puede observar la sección transversal de las guías de acrílico en donde existe un sometimiento crítico de esfuerzos debido a la reducción final de diámetro que deja obstruido el patch cord. Se pretende comprobar que para el patch cord más grande y pesado la estructura sea capaz de soportar los esfuerzos con un factor de seguridad mínimo de dos.

Se puede ver que las cargas se colocan como si fuera una viga vertical. Esto debido a que las reacciones de la estructura se encuentran únicamente en la parte inferior de los rieles guías. Para esta sección se pueden analizar los siguientes tipos de esfuerzos:

- Axiales
- Flexión

Para la pieza 1 existe flexión, sin embargo, este no se va a considerar porque dentro de la fórmula de esfuerzo de flexión se toma en cuenta la sección transversal de la viga, en este caso esta sección es sumamente grande porque incluye la altura de la pieza de acrílico la cual es de 0,18m por tanto comparado a las otras dimensiones es prácticamente imposible que falle por causa de este tipo de carga. [13]

Para la pieza 2 existen esfuerzos axiales que podrían afectar la rigidez de la estructura de acrílico.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

σ : Esfuerzo(Mpa)
F: Fuerza(N)
A: Área(m)

Debido a la disposición de las cargas se puede asumir que la fuerza que va a tratar de tensar la pieza 2 es igual a la fuerza que se requiere para empujar el patch cord a través de la sección reducida.

$$\sigma = 67.15 \text{ psi}$$

Cuando la resistencia a la tracción por parte del material es de 9956,34 psi por lo tanto sin la necesidad de calcular un factor de seguridad se garantiza que la rigidez de las guías se encuentra garantizada para el patch cord más crítico que se maneja en las autobagger en Panduit. [13]

Para poder completar el cálculo de la caída total se debe tomar en cuenta la caída libre que hay en la última sección de los rieles guía. [14]

$$h = v_0 * t + \frac{1}{2} * g * t^2$$

$$h = 10 \text{ in}$$

$$v_0 = 3.67 \text{ fps}$$

$$g = 32.00 \text{ fps}^2$$

Consideraciones

- La altura es de 14 in sin embargo, el cable no cae toda la altura. Considerando el centro del patch cord como la ubicación de la partícula entonces se le resta 6.5 a 14 quedando 7.5 in, ahora por los 25° de trayecto de la curvatura queda en 10 in.
- La V_0 de la caída libre es 3.67 fps la cual corresponde a la velocidad final del tramo curvo.

Finalmente, tras realizar estos cálculos se obtiene que el tiempo es de:

$$t = 0.14 \text{ s}$$

Se debe recordar que es un cálculo aproximado del tiempo puesto que en caída libre no se considera la resistencia del viento, por ejemplo.

Antes de proceder con las siguientes se debe realizar un estimado total de la duración de la caída completa:

$$T = t_1 + t_2$$

$$T = 0.89 \text{ s}$$

T = tiempo total de caída

t₁ = tiempo de caída curva

t₂ = tiempo de caída libre

3.2.2.4 Cálculo de constante de resorte

En la sección final de los rieles se encuentran unas compuertas, estas se encargan de asegurar que el libre paso del patch cord dentro de la bolsa. Las compuertas son empujadas por el mismo patch cord y crean una apertura previa de la bolsa.

Las compuertas son de nylon para evitar daños a la bolsa. Para permitirles volver a su posición original se les coloca un resorte de torsión en el eje donde pivotean las mismas. A continuación, se procede a realizar los cálculos pertinentes para dimensionar correctamente el resorte de torsión que se coloca.

En primer lugar, se deben seleccionar arbitrariamente las distintas dimensiones del resorte mientras se encuentren dentro del espacio disponible para el mismo dentro del ensamble de la máquina.

D: 0.16 in
d: 0.7 in
r: 0.39 in
Na: 20
E: 30457.92 kpsi
F: 15,74 lbf

Mediante los datos anteriores y las fórmulas para averiguar el esfuerzo de torsión y la deflexión en función de la fuerza aplicada se obtienen los siguientes resultados:

$$\text{Esfuerzo de torsión}(\sigma) = 177321.69 \text{ psi}$$

$$\text{Deflexión del resorte}(d\omega): 97^\circ$$

Los parámetros del resorte se deben encontrar en un rango que permita la apertura fácil de las compuertas. El resorte debe ser capaz de soportar el peso de las compuertas y a su vez una parte de la fuerza aplicada sobre el patch cord. Si es muy suave las compuertas no se mantendrían en posición horizontal a la espera de un patch

cord. Por el otro lado, si tiene una fuerza de oposición muy alta, puede generar desperfectos de calidad en los patch cords. [8]

Se decide utilizar como fuerza requerida 15 lbf, esto debido a que es la fuerza con un factor de seguridad la cual se requiere para dejar pasar el patch cord por la cavidad. Se puede ver que se obtiene una deflexión de 97° para esa fuerza con las características anteriores. Este cálculo es acertado porque el movimiento de las compuertas es de 90° entonces se encuentra dentro del rango requerido.

3.2.3 Lista de materiales

Se debe tener en cuenta que estos materiales son de muy fácil acceso por lo tanto los precios pueden variar significativamente dependiendo del proveedor que se elija. Por otra parte, se debe recordar que debido a que se compra la materia prima con dimensiones estándar hay mucho material sobrando a la hora de fabricar un alimentador automático de patch cord.

TABLA 10

Listado de materiales para la parte mecánica del diseño

Num parte	Precio	Descripción	Código pieza
6566K31	\$40.77	Tubo rectangular	00716NBN,00716NBO
6566K56	\$30.88	Tubo rectangular	00716NBQ
7779T33	\$17.68	Perfil C	00716NBP
6547K43	\$131	Metal maquinado	00716NBM,00716NBJ
8560K435	\$94	Acrílico	00716NBE, 00716NBF, 00716NBD, 00716NBG, 00716NBI,00716NBH, 00716NBA
9271K584	\$5	Resorte de torsión	
90201A222	\$9.23	Tornillo	
90201A415	\$12.60	Tornillo	
91185A253	\$11.99	Tornillo	
91255A046	\$7.27	Tornillo	
92240A258	\$10.90	Tornillo	
92620A815	\$12	Tornillo	
95036A024	\$8.90	Tuerca	
95255A216	\$6.70	Pin	
97395A612	\$6	Pin	
97395A614	\$7	Pin	
Total	411.9		

Al lado derecho de la tabla 21 se tienen los códigos que identifican las distintas partes que se encuentran en los planos constructivos.

En la tabla 11 se muestran los componentes seleccionados para conformar el sistema de aire comprimido del diseño. Se escojen los números de parte con base en los proveedores de Panduit.

TABLA 11

Tabla de componentes del sistema de aire comprimido

Componente	Identificación	Número de parte	Precio	Descripción
Estación de mantenimiento	1	C08-FKGO FRL	\$110	Unidad de mantenimiento con filtros de humedad, regulador de flujo y de presión.
Válvula 4/2	2	45A-AA2-DFBJ-1KA	\$90	Electroválvula con 4 conexiones y 2 posiciones.
Regulador de flujo	3	AS2052F-07	\$22.25	Regulador de flujo de ¼"
Cilindro actuador	4	TA-MF2-1.50x18-ELH	\$235	Actuador neumático de 18 in de largo con sensores inductivos de presencia en los extremos del pistón.
Total			\$457	

3.2.4.1 Selección de la estación de mantenimiento

La estación de mantenimiento es un componente de gran importancia porque contribuye mucho con el mejoramiento de la vida útil de un circuito neumático. Este dispositivo permite regular la presión de entrada al circuito, además, filtra las impurezas que contiene el aire proveniente del complejo de aire comprimido que hay en la empresa. Como principales criterios que se tomaron en cuenta para la selección de este dispositivo están:

- Presión máxima: > 80.00 psi

- Flujo máximo: > 42.37 SCFM
- Diámetro de fitting: 1/4 in

Haciendo uso de la tabla de especificaciones se puede observar que el número parte seleccionado cumple con los requerimientos establecidos en la lista anterior.

TABLA 12

Especificaciones estación de mantenimiento [15]

Flow Capacity*	1/8"	29 SCFM (13.7 dm ³ /s)
	1/4"	44 SCFM (20.8 dm ³ /s)
Maximum Supply Pressure	Plastic Bowl	150 PSIG (10.3 bar)
	Metal Bowl	250 PSIG (17.2 bar)
Operating Temperature	Plastic Bowl	32° to 125°F (0° to 52°C)
	Metal Bowl	32° to 150°F (0° to 65.5°C)
Port Size	NPT / BSPP-G	1/8, 1/4
Gauge Port (2 ea.) **	NPT	1/8
Standard Filtration	5 Micron	
Weight	1.96lb. (0.9 kg)	
<p>* Inlet pressure 100 PSIG (6.9 bar). Secondary pressure 90 PSIG (6.2 bar). ** Non-gauge option only. "F" Series Filters, Type "A" 5 micron elements: All Wilkerson Type "A" 5 micron elements meet or exceed ISO Class 3 for maximum particle size and concentration of solid contaminants.</p>		

Además, para otros datos como la presión máxima de trabajo está sobredimensionado, por tanto, es un dispositivo adecuado para desempeñar el trabajo establecido en este circuito neumático. [15]

3.2.4.2 Selección de la Válvula con solenoide de control

Al igual que la estación de mantenimiento, la válvula debe cumplir con esas características anteriormente mencionadas. Además, se debe tomar en consideración que, para mayor simpleza y estabilidad del sistema de control, el solenoide debe ser activado con 24VDC, potencial eléctrico que manejan los controladores industriales por lo general.

En la siguiente tabla se pueden mostrar las características de la electroválvula seleccionada para la aplicación. Cabe destacar que la parte de tiempos de conmutación está de sobra para la aplicación, puesto que la precisión que se le exige al actuador puede incluso ser de hasta un segundo. [16]

TABLA 13

Especificaciones electroválvula seleccionada [17]

TECHNICAL DATA			
Fluid :	Compressed air, vacuum, inert gases		
Pressure range :	Vacuum to 120 PSI		
Lubrication :	Not required, if used select a medium aniline point lubricant (between 180°F and 210°F)		
Filtration :	40 µ		
Temperature range :	0°F to 120°F (-18°C to 50°C)		
Flow (at 6 bar, ΔP=1bar) :	1.8 W : (0.1 C _v), 5.4 W : (0.15 C _v)		
Coil :	General purpose class A, continuous duty, encapsulated		
Voltage range :	-15% to +10% of nominal voltage		
Protection :	Consult factory		
Power :	- Inrush : 10.9 VA Holding : 7.7 VA = 1.8 to 12.7 W		
Response times :	24 VDC (5.4 W)	Energize : 6 ms	De-energize : 2 ms
	120/60	Energize : 3-8 ms	De-energize : 2-7 ms

3.2.4.3 Dimensionado del pistón

En esta sección se efectúa el dimensionado del actuador que realiza la tarea de introducir el cable en la bolsa. En primera instancia se debe elaborar una prueba de fuerza mediante un dinamómetro de la fuerza necesaria para atravesar el cable a través de la sección con diámetro reducido.

Una vez tenemos estos datos se puede realizar el dimensionado del cilindro a partir de las necesidades del proyecto. En primer lugar, se requiere un pistón que maneje una carrera de 18 in, esto porque solo la parte curva de los rieles tiene 9 in de altura sumándole la caída vertical que mide 7 in se convertiría en 16 in de altura. Se le agregan 2 in extra porque se requiere que el pistón entre a la bolsa para asegurar el ingreso completo del arrollado de cable en la bolsa.

Se requiere que la fuerza de empuje sea al menos el doble de la fuerza necesaria para que el cable atravesase la obstrucción al final del recorrido.

Por otra parte, se requiere que el pistón seleccionado este diseñado para soportar jornadas de 9.6 horas, en las cuales se activara su ciclo al menos unas 8000 veces.

En Panduit el sistema de aire comprimido está diseñado para mantener una presión de 90 psi en horas de altas demandas la presión puede reducirse un máximo de 10 psi por lo tanto por cuestiones de diseño se utilizará 80 psi.

Una línea de cilindros que de entrada cumple con las características anteriormente mencionadas es la línea NFPA (Alto uso, cilindros reparables). Tienen la gran ventaja de que son diseñados para soportar ciclos de trabajo sumamente altos, además que a diferencia del standard pueden ser desarmados y reparados.

Adicionalmente se pretende que el cilindro sea lo más barato posible, por tanto, el área transversal del cilindro es el menor que se puede encontrar, es de 1.5 in.

$$F = P * A$$

$$A = \pi r^2$$

Donde:

F=Fuerza de empuje del pistón

P=presión manométrica de trabajo

A=área transversal del pistón

$$A = \pi * \left(\frac{1.5}{2} \text{ in}\right)^2 = 1.76 \text{ in}^2$$

$$F = 80 * 1.76 \text{ in}^2$$

$$F = 141,37 * 0.9$$

$$F = 141,37 \text{ lbf}$$

Mediante las ecuaciones anteriores se encuentra la fuerza de empuje que genera el pistón axialmente. [17] Se debe recordar que existen unas compuertas en el último tramo del recorrido que al igual que las diferencias de diámetro de patch cord oponen resistencia al paso del patch cord dentro de la bolsa. Estas compuertas poseen una fuerza opuesta al movimiento de aproximadamente unos 15.74 lbf (cuando se abren 90°). Por lo tanto, se puede decir que la fuerza total necesaria para atravesar esta sección del trayecto es de 12.36+ 15.74= 28.10 lbf.

Según artículo de neumática para que la velocidad de empuje del pistón no se vea afectada la fuerza de empuje debe ser al menos el doble de la fuerza requerida para mover la carga. En este caso la fuerza de empuje es 5 veces la fuerza requerida para mover el patch cord más grande que se empaca en autobagger por lo tanto el dimensionado es totalmente correcto. [18]

Se sabe que la velocidad de empuje va a ser constante durante el trayecto, sin embargo, se desconoce la medida de esta velocidad. Una parte importante del dimensionado de este pistón es determinar cuál va a ser la duración en recorrer un ciclo de apertura y cierre del cilindro. Esto es necesario para poder garantizar que la máquina puede suplir las demandas de tiempo.

Finalmente se calcula la potencia que tiene el pistón mediante la fórmula Potencia=Presión*Caudal. Se obtiene que el pistón tiene una potencia de 7817W considerando que el cilindro trabaja una mitad del tiempo total entonces la potencia durante una hora seria: 3908.5W.

3.2.4.4 Cálculo del tiempo de extensión y retracción de pistón

Para determinar el tiempo que tarda el cilindro en extenderse y retraerse se deben calcular algunos otros parámetros para poder llegar a este resultado.

- Calcular el caudal: Cálculo de caudal a través de un orificio
- Calcular la velocidad: Con el caudal y el área transversal se puede calcular la velocidad promedio a la que se desplaza el fluido.
- Calculo de tiempo: Mediante la velocidad y el área transversal se puede calcular el tiempo que tarda un cilindro en extenderse y retraerse.

Mediante las siguientes fórmulas se puede calcular el caudal que hay en un sistema de aire comprimido conociendo los diferenciales de presión, la temperatura del aire y el diámetro de la tubería.

$$\frac{(p_1 - p_2)}{p_1} < F_\gamma \cdot x_T \rightarrow$$

$$Q_a = \frac{1}{60} \cdot 4.17 \cdot C \cdot \left(\frac{d_o}{4.654}\right)^2 \cdot p_1 \cdot \left(1 - \frac{p_1 - p_2}{3F_\gamma \cdot x_T}\right) \cdot \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{T_a + 273.15}}$$

$$\frac{(p_1 - p_2)}{p_1} \geq F_\gamma \cdot x_T \rightarrow$$

$$Q_a = \frac{1}{60} \cdot 0.667 \cdot 4.17 \cdot C \cdot \left(\frac{d_o}{4.654}\right)^2 \cdot p_1 \cdot \sqrt{\frac{F_\gamma \cdot x_T}{T_a + 273.15}}$$

Ta : Temperatura del Aire (°C)

p1 : Presión Primaria (psi abs)

p2 : Presión Secundaria (psi abs)

do : Diámetro de Orificio (in)

C : Coeficiente de Descarga

Qa : Rango de Flujo de Aire

(Normal) (SCFM)

vFγ : Relación de Calores Específicos

xT : Relación de Presiones

Diferenciales (=0.72)

Aplicando la matemática se obtiene que el caudal de aire sobre este sistema es de:

$$Q = 29.66 \text{ SCFM}$$

Mediante el rango de flujo máximo que se puede tener según las condiciones se puede calcular la velocidad de desplazamiento del fluido dentro de la tubería. Para ello se utilizan las siguientes fórmulas:

$$V = Q/S$$

Donde:

V=Velocidad(m/s)

Q=Caudal(m³/s)

S=sección transversal tubería.

$$V = 7.41 \text{ fps}$$

La velocidad en realidad es menor debido a espacios muertas, la fuerza del muelle en contra, pérdida de carga debido a longitud y por todas las pérdidas que se dan en los accesorios que se encuentran anterior al actuador.

Por estas razones se somete la velocidad a un 70% de reducción en su valor total, de esta manera el valor de la velocidad es el siguiente:

$$V = 5.18 \text{ fps}$$

Finalmente se puede realizar el cálculo del tiempo mediante el conocimiento de la distancia que recorre el pistón al extenderse y retraerse:

$$t = d/v$$

Donde:

v: velocidad(fps)

d: distancia(in)

t: tiempo(s)

$$t = 0.3s$$

Ese es el tiempo que tarda en extenderse el embolo trabajando a máximo flujo, para este caso en particular se coloca un regulador de flujo puesto que realizar la tarea de empujar dentro la bolsa los patch cords a esa velocidad puede ocasionar muy malos resultados en la calidad del empaque en bolsa. [19]

Por tanto, se define que el tiempo que debería durar en extenderse es de 1.0s, la ventaja es que la parte del retroceso se puede manejar a mayor velocidad debido a que no existe mayor riesgo en esa parte del ciclo.

De ser así se puede realizar el cálculo inverso del flujo para una duración de 1s.

$$V_{1s} = 1.51 \text{ fps}$$

Por lo tanto:

$$Q_{1s} = 1.11 \text{ SCFM}$$

Se puede determinar que los tiempos de los que se hablaron anteriormente en la sección se aproximan mucho a los tiempos determinados en este apartado. Por supuesto, esto funciona únicamente para las tareas de pistón extendido y pistón retraído.

Según estos datos la máquina puede ser tan rápida como un operario que realiza la operación puesto que un operario dure alrededor de 2.4s por cada cable que empaca, mientras que sistema de dispensado automático alcanza unos 2.2s en total. Si se toma en cuenta que los operarios de autobagger trabajan por grupos de 20 cables entonces habría una mejora en el tiempo mediante el uso del sistema.

3.2.4.5 Dimensionado de la tubería utilizada

Para el dimensionado de la tubería lo que se requiere es que soporte las condiciones de trabajo que se necesitan por ello se dispondrá de las características en la siguiente tabla:

TABLA 14

Especificaciones tubería

Característica	Condición requerida	Condición de la tubería seleccionada
Diámetro interno	4	4
Diámetro externo	6	6
Temperatura de trabajo	25	20-51
Presión de trabajo	80-90 psi	(167 - 110) psi
Radio mínimo de dobléz	1.96 in	1.42 in
Longitud	15 in	15 in
Material	Poliuretano	Poliuretano

3.3 Sistema de control

En esta sección del informe se pretende explicar tanto la parte de hardware como software involucrados para el correcto funcionamiento del sistema de control. Se abarcarán las explicaciones del porque se seleccionó un componente en específico, además, los costos y rangos de consumo que poseen los mismos. En cuanto a la parte de software se explica con detalle el desarrollo del algoritmo que da marcha al sistema considerando sus respectivas entradas y salidas.

3.3.1 Dimensionado y selección de componentes eléctricos

En primera instancia se abarcarán la lista de componentes electrónicos que se requieren para montar todo el sistema. Además, se muestra el costo de los mismos para poder cotizar el sistema en general.

TABLA 15

Lista de componentes eléctricos

Componente	Identificación	Número parte	Precio	Potencia(W)	Breve Descripción
Pulsador	1	ZB5AA333	\$8	0	Pulsador Inicio del sistema
Pulsador	2	ZB5AA434	\$8	0	Pulsador Stop del sistema
Sensor 1	3	BF4RP	\$84	1.08	Amplificador de fibra óptica para el detectar presencia
Sensor 2	4	BF4RP	\$84	1.08	Amplificador de fibra óptica para el detectar presencia
Sensor 3	5	BF4RP	\$84	1.08	Amplificador de fibra óptica para el detectar presencia

Fuente LOGO!	6	6EP3333-6SB00-0AY0		12	La fuente de poder entre 96W de potencia
LOGO!	7	6AG1052-1CC01-2BA6	\$130		Controlador industrial de 8 entradas digitales y 4 salidas digitales
Relé	8	70363918	\$21	1.2	Relé de 24vdc para la activación de la bobina. Maneja 10A en las terminales del interruptor 277VAC/30VDC.
Solenoide válvula	9	45-MAJ-DFBJ-4KG	\$90	7.25	Válvula de accionamiento del cilindro neumático
Total			\$509	23.69	

El sistema en general posee componentes de categoría industrial para garantizar la confiabilidad del sistema a la hora de operar bajo altas demandas de producción y jornadas continuas de 16 horas en adelante.

Algunos componentes no se consideran por la fácil accesibilidad en la misma empresa. Por ejemplo, los cables para conectar los componentes entre si puede ser tomados de los patch cords mal ensamblados que se reciclan.

Por otra parte, es importante rescatar que la potencia total del sistema de control funcionando es de 23.69W, a esto se le debe sumar la potencia del motor monofásico que mueve el conveyor y la potencia mecánica del pistón.

La disposición de los componentes es arbitraria, con excepción de los terminales de los sensores por supuesto. La idea es que el integrador tenga la libertad de elegir la

manera en que se ubican los componentes del sistema con base al espacio disponible donde se está trabajando.

El controlador LOGO! posee las protecciones necesarias para corto circuito y sobre carga por lo tanto se omite el diseño de un sistema para situaciones donde existan altibajos en el suministro eléctrico.

Se pretende que el sistema tenga únicamente dos entradas manuales, las cuales serían un botón de inicio y un botón de paro, el botón de paro se puede clonar y colocar en distintas partes de la máquina, con el fin de dar mayor seguridad a los empleados que interactúan con la máquina.

Los sensores de fibra que se eligieron fueron debido a que estos dispositivos pueden ser colocados en una caja con IP alto en posiciones más seguras, únicamente las fibras son las que se tienen que exponer a lugar de trabajo. En cuanto a costo se refiere tienen una gran ventaja a favor, puesto que los otros sensores industriales de presencia que se encontraron para la aplicación costaban un 200% el costo de estos.

Finalmente, los relés que se escogieron están un poco sobredimensionados, sin embargo, para la aplicación que se les requiere trabajan la perfección y son un 10% más caros en el caso más crítico.

3.3.2 Diagrama de conexión

A continuación, se muestra el diagrama de conexiones de los componentes con respecto al suministro eléctrico. Asimismo, se muestran las conexiones entre los componentes y el controlador LOGO!.

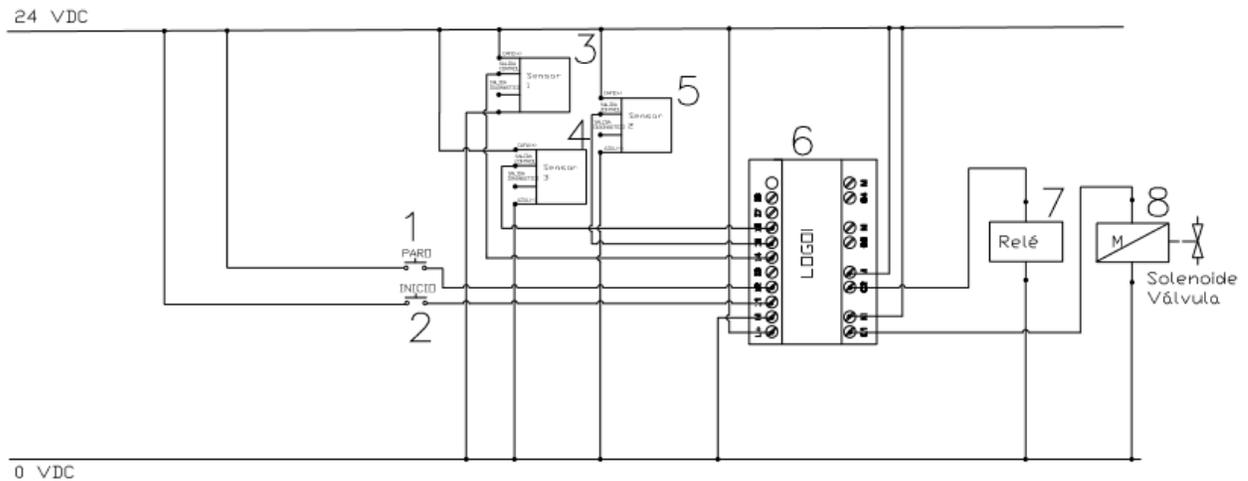


Fig. 22 Diagrama de conexiones

Fuente dibujo propio

Si se desea más detalle del diagrama eléctrico se puede consultar el apéndice C.

3.3.3 Selección y disposición de los sensores

La selección de los autronics bf4RP se debe principalmente a una cuestión de precio vrs index protection. Los sensores de presencia que podían realizar esta tarea y garantizar un ip tienen un precio muy elevado en comparación. Además, el BF4RP cuenta con las siguientes características:

- Velocidad de respuesta 5ms
- Protección contra sobrecarga y corto circuito
- Potencial eléctrico de trabajo: (12-24) V
- Iluminación ambiente: luz solar: Max 11000 lx, lampara incandescente: 3000 lx
- Fibras de hasta 78 in puede manejar sin ningún problema

Estas características permiten adaptar el sensor a ambientes de iluminación muy variado, además posee cierta resistencia al ruido ambiente.

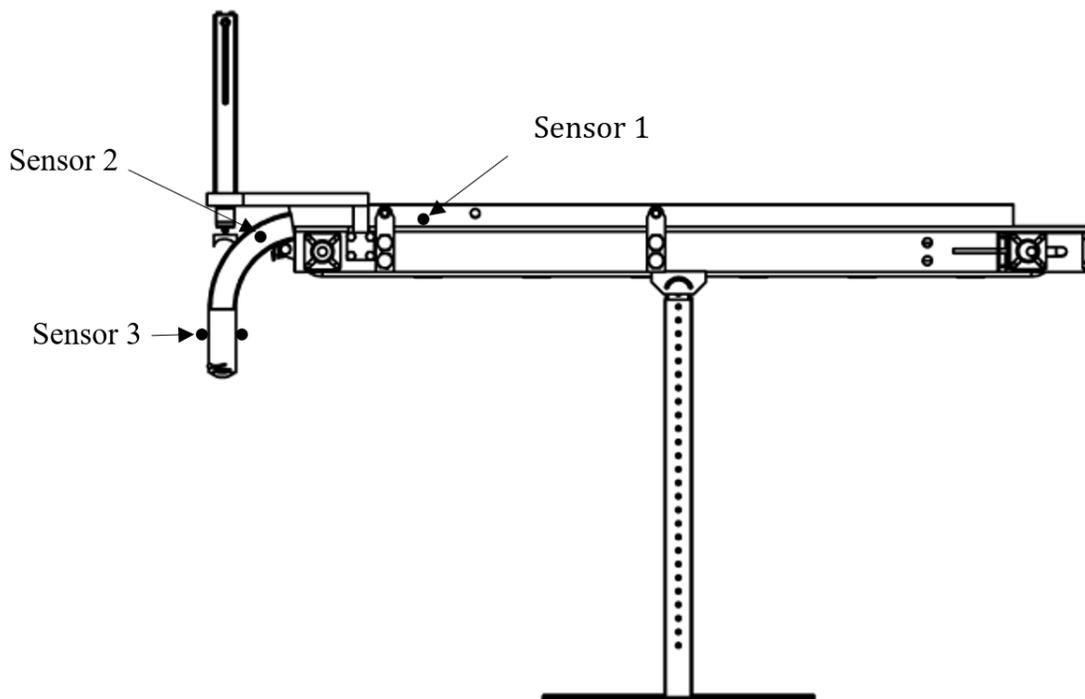


Fig. 23 Vista lateral ensamble sistema alimentador de patch cords

Fuente Captura de pantalla propia

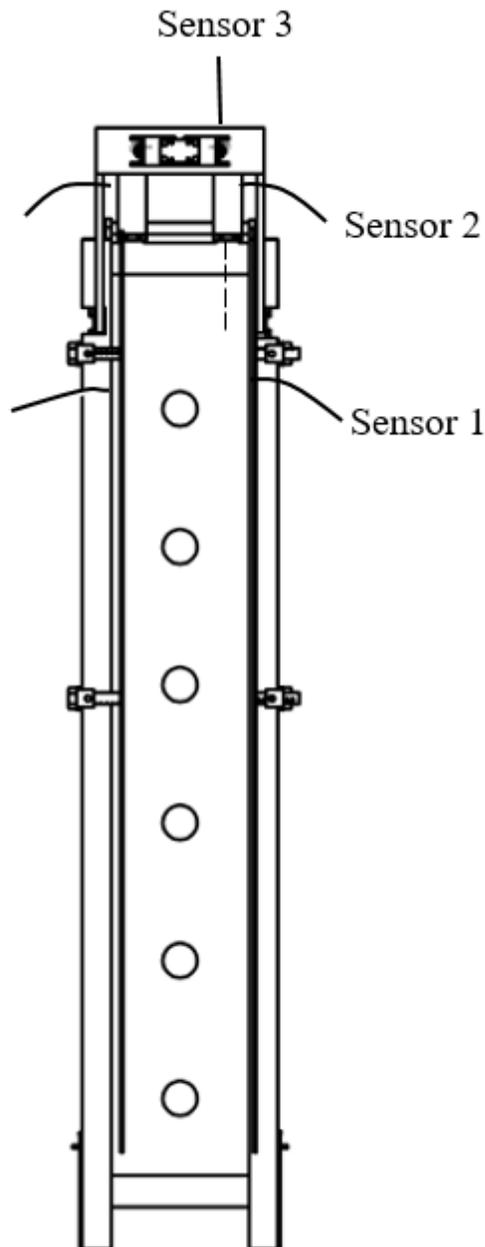


Fig. 24 Vista superior alimentador automático de patch cords

Fuente Captura de pantalla propia

encarga de activar el pistón una vez se encuentra un patch cord en el trayecto final del recorrido. Además, este también se encarga de trabajar en conjunto con el sensor 1 para

En las figuras 23 y 24 se muestra una disposición aproximada de los sensores que se deben colocar en la máquina Alimentador de patch cords en empaque.

Mediante el diagrama se puede explicar cuál es la lógica de colocar los sensores en esa forma consecutiva.

A grandes rasgos el sensor 1 se encarga de poner en espera el movimiento del conveyor condicionado a que algunos de los otros sensores estén activos.

El sensor 2 realiza una tarea parecida a la del sensor 1, su tarea es evitar que un segundo patch cord consecutivo pase por la caída curva.

El último sensor se

evitar la caída de otros patch cords mientras existe uno en espera de ser depositado en la bolsa. Esta es la opción de diseño con menor cantidad de componentes de sensado, sin embargo, se podría optimizar el sistema de control agregando otros sensores a lo largo del trayecto.

3.4 Lógica de Control

Para explicar la lógica del algoritmo que se diseñó para el control del Alimentador de patch cord se debe en primer lugar explicar las entradas y salidas del sistema. A continuación, se muestran en la siguiente tabla cada una de ellas, nombre y descripción.

TABLA 16

Tabla de entradas

Entradas	Nombre	Descripción
I1	Start	Push button para indicar que inicie el ciclo de trabajo.
I2	Stop	Push button que detiene la máquina en cualquier parte del ciclo de trabajo que se encuentre.
I3	Unmatched Qc bag-cable	Entrada de control, que permite al sistema de comparación de códigos de barras, indicarle a este sistema que hay que realizar un paro porque no coinciden los códigos de cable y la bolsa.
I4	Horizontal sensor 1	Sensor de óptico de presencia colocado en el último tramo del trayecto de la banda transportadora.
I5	Horizontal sensor 2	Sensor óptico de presencia ubicado en la entrada de las guías curvas.

I6	Vertical Sensor	Sensor óptico de presencia localizado en la parte inferior vertical de las guías. Justo en la parte donde el cable se detiene debido a la disminución de diámetro al final de las guías.
I7	Extended Piston	Sensor inductivo de presencia que permite detectar la posición extendida del pistón.
I8	Retracted	Sensor inductivo de presencia que permite detectar la posición retraída del pistón.

Se considera, al igual que los sensores, que con estas entradas se logra realizar la tarea de manera satisfactoria al menor costo posible. La parte de extender y retraer el pistón se podría realizar con tiempos de activación. Sin embargo, se prefiere utilizar sensores de posición en el pistón para poder garantizar que sin importar del flujo disponible que haya

La idea de agregar las entradas de pistón extendido y retraído es que el sistema aproveche los tiempos de extensión y retracción del pistón de la manera más eficiente posible, ya que existe la posibilidad de que varíen los tiempos del ciclo del pistón.

TABLA 17

Tabla de salidas

Salidas	Nombre	Descripción
Q1	Conveyor belt	Esta salida activa o desactiva la banda transportadora
Q2	Valve Solenoid	Esta salida activa y desactiva la electroválvula permitiendo extender o retraer el pistón
Q3	Sealing bag machine	Envía pulso para indicar sellado de la bolsa en el autobagger.

Las salidas son independientes entre sí, pues la activación de una no depende de otra directamente. Si existe cierta dependencia indirecta, como por ejemplo para accionar la máquina selladora se debe activar el sensor de extendido del pistón.

En su mayoría el algoritmo es una secuencia de eventos bien establecidos que se dan uno tras otro. Existe una única parte del algoritmo en la cual si existe ciertas acciones condicionadas por los valores que posean los 3 sensores en ese momento.

En la siguiente tabla se muestran las configuraciones que alteran el flujo normal del algoritmo. Básicamente son combinaciones de activación entre los 3 sensores que están colocados a lo largo del recorrido. Se muestran únicamente las combinaciones que provocan algún paro temporal del sistema.

TABLA 18

Tabla de condiciones

Acciones condicionadas					
Num caso	Entradas			Salidas(activadas)	Salidas(desactivadas)
	I4	I5	I6		
1	x	x			Q1
2	x		X	Q2	Q1
3	x	x	X	Q2	

La lógica se desarrolló bajo el criterio de simpleza, el objetivo es evitar el uso de temporizadores que puedan reducir la confiabilidad del sistema ante entradas asíncronas.

Por otra parte, Se pretende que el programa sea capaz de mantener el sistema trabajando continuamente mientras haya mucha distancia entre un patch cord y el siguiente, de manera que la banda transportadora sea detenida únicamente en situaciones donde se requiere. La idea es que solo cuando la distancia es muy pequeña el sistema detenga la banda transportadora. Esto da mayor certeza que el sistema va a funcionar al máximo de su capacidad evitando cualquier tiempo muerto.

3.4.1 Diagrama de flujo

El siguiente diagrama de flujo muestra principalmente la relación que existen entre las entradas y salidas del programa. La idea es comprender el flujo de la información que controla el sistema.

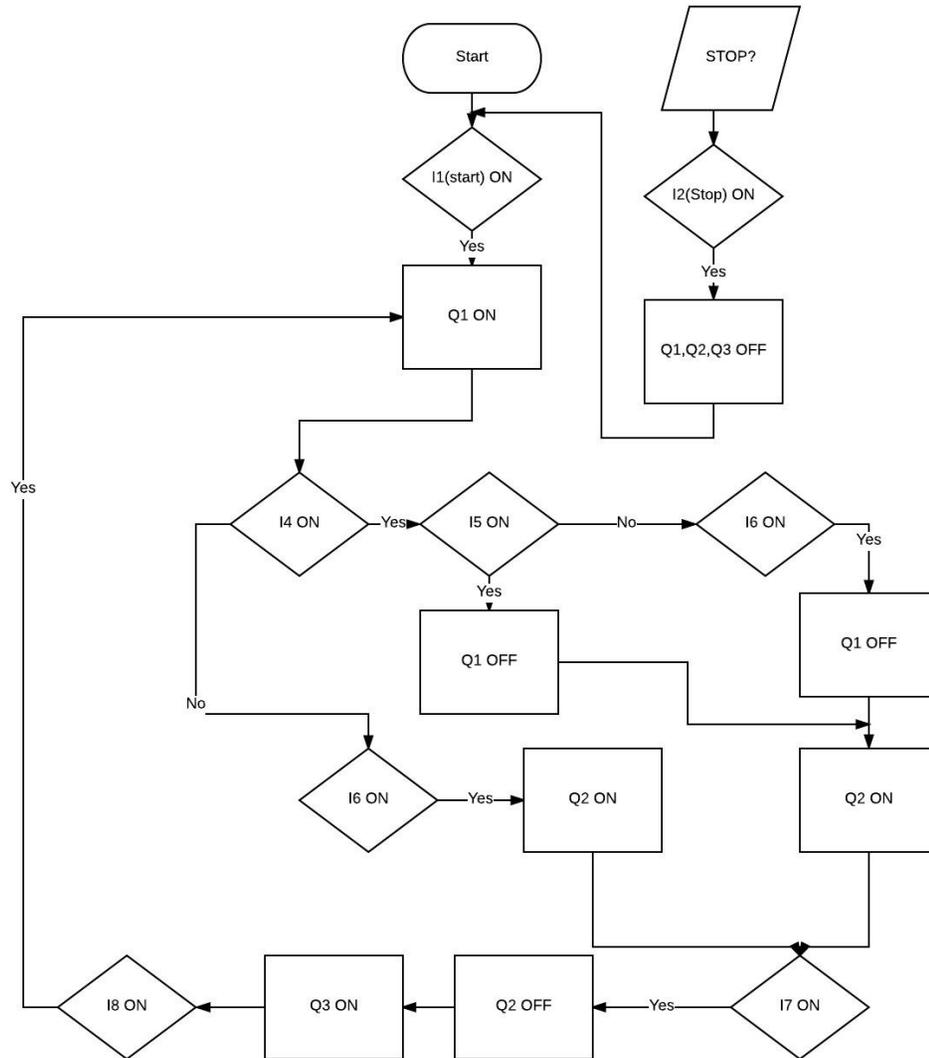


Fig. 25 Diagrama de flujo programa de control

Fuente Captura de pantalla propia

Se puede resaltar que en la sección donde se encuentran los sensores I4 ,I5 y I6 existe una ramificación del flujo. Luego para la entrada I7 todo vuelve a ser una única rama y regresa al comienzo del ciclo.

3.4.2 Lógica propuesta de diseño

En el apéndice B se puede ver la representación en escalera del algoritmo planteado para solucionar el control del Alimentador automático de patch cords.

Más adelante en el mismo apéndice se tiene el diagrama de escalera del prototipo. Con estos diagramas se puede comparar que la cantidad de sensores puede ser variable e igual el sistema puede funcionar. La idea de agregar más sensores para la propuesta final del algoritmo es agregar robustez al sistema de control. Se pretende evitar al máximo el uso de timers por parte del controlador. El problema de los timers es que las entradas de suministros al sistema no trabajan de manera síncrona entonces al controlarse por cronómetros puede tender a fallar en la secuencia de acciones o a tener retrasos importantes de tiempo innecesario.

Un cuarto sensor que se podría pensar como parte del sistema es un sensor que detecte cuando la bolsa en la máquina selladora esta lista para ser utilizada, sin embargo, la máquina selladora tiene una velocidad de trabajo superior a la del alimentador de patch cord por lo que es prácticamente imposible que el alimentador complete un ciclo y el autobagger no se encuentre en condiciones de recibir un patch cord. Se podría considerar que este sensor tendría una función más de verificación que el ciclo del autobagger se completó correctamente.

3.5 Estimación de tiempos

Para poder garantizar que el sistema puede con las demandas que las líneas de producción de patch cord requiere, se debe hacer un desglose de las tareas que realizará el sistema alimentador normalmente y un aproximado de la duración que tendrá cada tarea según sea el caso.

La idea de este estudio de tiempos es poder verificar si la máquina es apta para la producción, pero se tiene que detallar las siguientes dos situaciones:

1. El alimentador pretende optimizar la productividad mediante la utilización de un sistema automático. Esto significaría que se podría omitir la participación del operario de autobagger por lo tanto el sistema debe ser capaz de garantizar que los elementos casuales que realizaba el operario de autobagger puedan ser relevados a otro operario que tiene su grupo de tareas repetitivas y casuales igualmente.
2. El alimentador tiene que tener la capacidad de suplir la cantidad de trabajo que realizaba el operario en el autobagger. Se pretende que supere la velocidad de empaque que tenía este mismo.
3. Se requiere que los operarios de etiquetada-etapa previa a empaque- realicen una nueva tarea dentro de su rutina de producción. Se debe comprobar que los operarios de esta etapa sean capaces de realizar su trabajo con un pequeño extra de carga.

3.5.1 Tiempos para los operarios de etiquetado

A continuación, se muestra una tabla en donde se muestran 2 nuevas tareas que realizarán los trabajadores en la etapa de etiquetado. Es importante considerar que se le asigna dos nuevas tareas a los operarios las cuales son: colocación del patch cord en el conveyer y lectura de código de barras.

TABLA 19

Operario etiquetado estudio de tiempos

Elementos (Operarios etiquetado)	Frecuencia (por hora)	Duración(s)
Etiquetado de cable	888	5
Lectura código barras patch cord	888	1
Colocación patch cord conveyor belt	888	0.5
Tiempo normal		2886
Tiempo estándar		3318.9

Efectivamente según lo estudiado se puede considerar que los operarios de esta etapa podrán con las tareas que se le agreguen extra. Cabe destacar que para que estas condiciones se den idealmente se asume que no hay cables de reproceso por errores en producción. De igual forma se estimó que en promedio un reproceso dura 20s considerando la tabla anterior se puede estimar que podrían reprocesar alrededor de 14 cables por hora.

3.5.2 Velocidad de alimentación del sistema a los autobagger

Esto por supuesto lo que trata de evaluar es la capacidad del sistema para realizar en los mismos tiempos o incluso superar la capacidad productiva del operario que se encuentra en el área de autobagger.

Cabe destacar que la comparación es un tanto complicada porque los operarios que trabajan en esta zona varían mucho los tiempos entre sí, y además no siguen una secuencia de tareas precisa, en otras palabras, se salen de las rutinas ya preestablecidas en esa área para ayudar a los otros operarios, por ejemplo.

TABLA 20

Estimaciones de tiempos para el alimentador automatico de patch cords

Elementos (Alimentador automático patch cord)	Frecuencia (por hora)	Duración(s)
Caída cable en el trayecto final de la máquina	888	0.89
Pistón Empuje-Pistón retracción	888	1.5
Sellado de bolsa	888	1.2
Tiempo estándar		3285.6

Con excepción del sellado de bolsa, los elementos son medidos mediante cálculos realizados a lo largo de este capítulo, además se les agrega un factor seguridad para darle cierta tolerancia a los valores teóricos obtenidos.

Se puede observar que incluso después de agregarle tiempos extra a cada elemento se obtiene que la máquina puede manejar la cantidad de patch cord demandada con un tiempo sobrándole. Por ello se estima que la máquina podrá llevar a cabo las cargas productivas que se le asignen.

Mediante los resultados de la tabla 20 se puede calcular que el sistema permite un crecimiento un 9% de la producción máxima actual.

3.6 Análisis económico

En el siguiente apartado se pretende realizar un desglose de costos de implementación y operación del que posee el proyecto. Además, se pretende contraponerlo contra el costo que posee un operario para poder justificar la importancia económica del proyecto.

TABLA 21

Presupuesto total del proyecto

Elemento	Costo
Sistema de control	\$509
Sistema mecánico	\$500
Sistema neumático	\$457
Banda transportadora	\$1734
Mano de obra(Desarrollo)	\$2608
Mano de obra(fabricación)	\$2849
Total	\$8,657

Se tiene un buen estimado del costo total del proyecto, ahora bien, para que el proyecto sea realizable se debe justificar mediante la comparación con el costo de mano de obra que va a optimizar el sistema automático.

El costo de un operario en Panduit es de \$14000 anuales. Existen 5 líneas de empaque por lo tanto el costo total anual de este recurso sería de: \$70000. Para un primer año el costo total de implementación de las máquinas sería:

$$\text{Costo total de implementación} = \$8657 + \$6049 * 4 = \$32853$$

El retorno de la inversión sería el siguiente:

$$ROI = \frac{32853}{70000} = 0.46 \text{ años}$$

Básicamente en 5 meses y medio se obtiene el retorno de la inversión realizada en el proyecto.

Por otra parte, en la tabla 22 se muestran los costos de funcionamiento promedio del sistema

3.7 Consumo energético

Se realiza un pequeño análisis de la potencia consumida por la maquina se tiene que manejar una potencia de 3931.5 W (Suma potencia eléctrica componentes más potencia del pistón). El precio del KW/H promedio en Panduit es de \$0.12. Por tanto, el costo de operación de la máquina por hora es: 0.47

TABLA 22

Costos de funcionamiento del alimentador

Costos de funcionamiento		
	semana	Año
Costo mantenimiento	\$10.65	\$553.8
Costo de operación	\$44.88	\$2333.76
Total	\$41.3	\$2887.56

Para los costos de operación se considera que el sistema va a trabajar por 96 horas semanales lo cual corresponde a dos jornadas de 8 horas diarias.

“

Capítulo 4

Resultados y análisis

En el siguiente capítulo se pretende respaldar con prototipos experimentales la veracidad de las propuestas realizadas en el capítulo anterior. Se realizaron las siguientes tareas para darle respaldo práctico a la propuesta de diseño:

1. **Se realizó un estudio de tiempos en las líneas de producción para garantizar que el operario de empaque de cajas** podía realizar las respectivas tareas que le corresponden y trabajar los elementos casuales que le corresponden al operario de autobagger
2. **Se construyó un prototipo funcional del sistema de alimentación de patch cord.** Mediante este prototipo se puede demostrar que el diseño es completamente funcional, confiable, simple y barato. También la idea es hacer un estimado de los tiempos que realmente podría tardar el alimentador en realizar su trabajo.

4.1 Estudio de tiempos

4.1.1 Estimación de tiempos futuro operario cartonning

En primer lugar, se debe decidir cuál será el relevo del operario. Debido a que en Panduit en el sector de empaque se contratan operarios semi-calificados, se debe por obligación relevar estas tareas a el operario de empaque en cajas

. Las operarias de etiquetado únicamente se pueden involucrar en la tarea “lectura de código de barras de la etiqueta del cable” esto porque es la única tarea que no involucra configuración de máquinas.

De esta forma en la siguiente tabla se muestran los datos de obtenidos tras las estimaciones.

TABLA 23

Estudio tiempos nueva rutina operario cartoning

Elemento	Frecuencia (por hora)	Duración
Conteo de cables y llenar caja	88.8	19.8
Etiquetado de cajas	88.8	5.95
Paletizado de cajas	88.8	2.5
Seteo cajas	1	148
Cambio de carbones	0.1	123
Seteo autobag	1	151
Cambio de rollos	1	196
Tiempo normal		3015.9
Tiempo estándar		3468.7

Para los suplementos se consideran las necesidades personales con un 7% del tiempo, interrupciones 8%. Se tiene un total de 15%. [20]

Mediante el estudio realizado anteriormente se determina que es posible que un solo operario se encargue de las operaciones necesarias en empaque teniendo el apoyo del alimentador automático de patch cords.

Una gran consideración que se tendría que tener al utilizar este sistema de apoyo es que, para garantizar su sinergia con el operario de empaque en caja, se debe organizar las ordenes de manera que haya únicamente un cambio por hora de orden. Se estudió los cambios de órdenes que se realizaban a lo largo de 15 días en la empresa y se obtuvo que aproximadamente se realiza un cambio de orden por hora, sin embargo, el reporte muestra que existen partes del día en donde se hacen hasta tres cambios por hora. Se tendría que reorganizar las rutinas de producción para eliminar esas horas pico de cambios de orden.

4.1.2 Velocidad de funcionamiento del sistema alimentador

El prototipo tiene ciertas limitaciones debido a la dificultad para acceder a los materiales más adecuados para el desarrollo del proyecto. Por esta razón los resultados obtenidos en el prototipo no necesariamente son acordes a lo esperado. El parámetro

que más afecta esta problemática es la velocidad del actuador. Esto debido a que el actuador que se utilizó en el prototipo es sumamente diferente al que se propone en el diseño.

TABLA 24

Estudio de tiempos rutina alimentador automatico de patch cords

Elementos (Alimentador automático patch cord)	Frecuencia (por hora)	Duración(s)
Caída cable en el trayecto final de la máquina	888	0.8
Pistón Empuje-Pistón retracción	888	2
Sellado de bolsa	888	1.2
Tiempo estándar		3552

Se puede ver que experimentalmente se obtienen valores que se encuentran dentro del tiempo que tiene una hora. Sin embargo, hay un claro aumento en comparación con los estimados realizados en la etapa de diseño

El tiempo que tarda un cable en caer disminuyó, mientras que el tiempo del pistón aumentó sustancialmente. En cuanto al tiempo de sellado de bolsa no hay un cambio de valor debido a que este se había medido desde un comienzo en las líneas de producción con las máquinas que ya se encuentran dentro del lugar de trabajo.

Para la máquina es importante dejar cierto tiempo extra. Esto se debe a que por la naturaleza de la aplicación la producción no permanecerá continua a lo largo de toda la hora, por lo tanto, se debe pensar en que la máquina va a lograr la producción con ciertas interrupciones de producción en el camino.

4.2 Análisis del funcionamiento del prototipo funcional

En primer lugar, se debe tener en cuenta que el prototipo varía en su diseño debido a que fue desarrollado principalmente con material de reciclaje, Esto podría

tender a cambiar los resultados esperados del diseño de la máquina. Sin embargo, el prototipo permite dar certeza de que el diseño es totalmente realizable y funcional.

A continuación, se mencionan las principales diferencias:

- Se omitió la capacidad de los rieles para cambiar su distancia entre sí. En lugar de eso se utiliza unos rieles pegados entre sí a una distancia constante.
- El pistón utilizado no es de trabajo pesado, por tanto, se utiliza a flujo bajo de manera que su movimiento es muy lento en comparación de lo pensado en el diseño.
- Se omitió agregar las compuertas al prototipo, esto debido a que no se consigue el material y el equipo de manufactura adecuado para el desarrollo de las mismas.
- La herramienta del pistón gira con el eje del pistón fácilmente al ser sometido a cargas. El problema con esto es que funciona por un corto tiempo y posteriormente se atasca con los patch cord debido a las inclinaciones horizontales que tiene la herramienta con respecto al arrollado de cobre.

De igual forma el prototipo tiene resultados muy satisfactorios desde el punto de vista de satisfacción de la producción. Además, da credibilidad a que el proyecto es totalmente realizable incluso con materiales de reciclaje dentro de la empresa. También se puede observar que la lógica utilizada a pesar de su sencillez provee una solución muy confiable y estable del control de la máquina alimentadora de patch cords.

En las figuras 28 y 29 se puede observar el prototipo funcional del sistema capturado desde dos ángulos diferentes de toma. En la primera imagen se muestra la banda transportadora alimentando un cable a punto de caer en posición vertical.

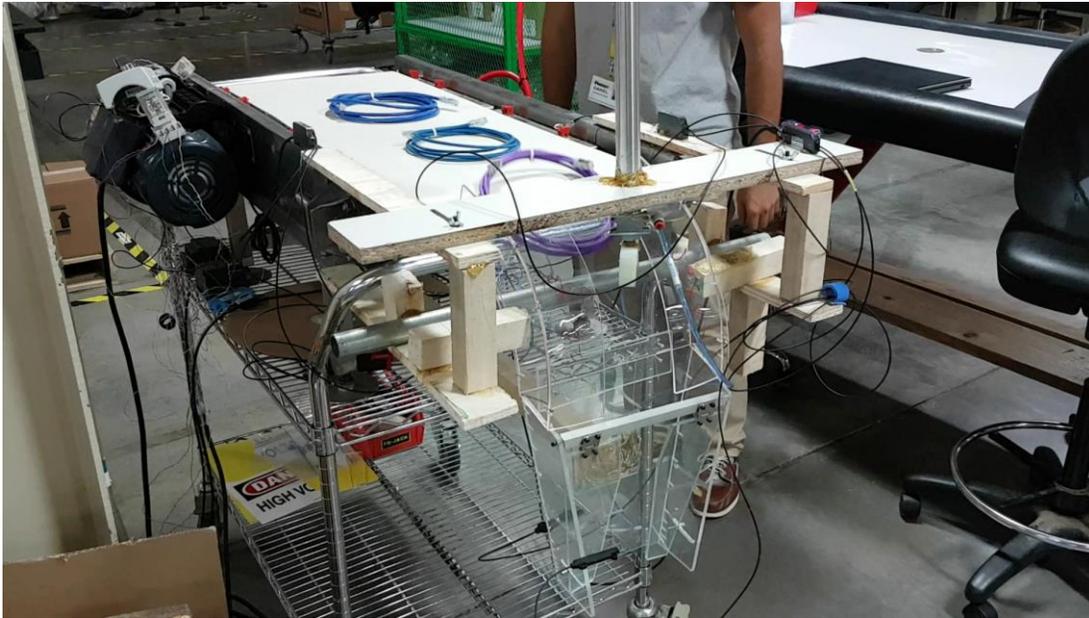


Fig. 26 Fotografía general 1 prototipo funcional sistema alimentador de patch cord en Panduit Costa Rica

Fuente fotografía propia

En la figura 29 se muestra otra etapa del ciclo de trabajo de la máquina dispensadora. En esta se muestra el cable en posición vertical en espera de ser depositado dentro de la bolsa. El pistón se encuentra en el proceso de extensión del eje que se encarga de empujar adentro el patch cord.



Fig. 27 Fotografía general 2 prototipo funcional sistema alimentador de patch cord en Panduit Costa Rica

Fuente fotografía propia

Mediante estas dos figuras se puede explicar a grandes rasgos los resultados obtenidos tras desarrollar un prototipo funcional. Además, aporta una pincelada de todo el potencial conocimiento que puede aprovecharse para la maduración del diseño.

Se desea realizar un análisis con mayor detalle de los resultados obtenidos por medio del prototipo funcional. Se analizará a continuación sección por sección con sus respectivos resultados:

- Banda transportadora
- Caída estructura
- Soporte pistón y pistón
- Sensores y su disposición geométrica

4.2.1 Banda transportadora



Fig. 28 Fotografía detallada de la banda transportadora

Fuente fotografía propia

La banda transportadora utilizada da la posibilidad comprobar ciertas suposiciones que se hicieron de entrada cuando se comenzó el diseño. Las siguientes suposiciones son:

- Una banda con 0.5hp es capaz de movilizar un paquete de patch cords sin ningún tipo de traba.
- La fricción entre la banda y el patch cord es suficiente para mantener la posición requerida para realizar el empaque en bolsa.
- Se requiere un sistema que le dé la capacidad de variar la velocidad lineal del sistema.

Esta banda en específico no es la apta para desarrollar el proyecto. Sin embargo, muestra que el diseño tiene una tolerancia aceptable a la adaptación con otros componentes con diferentes características. Una parte muy importante que se probó es que se puede estar constantemente frenando la banda transportadora para que se realice el empaque correctamente. Sin embargo, la vida útil de un motor se ve muy influenciada por el número de arranques. [21]

4.2.2 Caída estructura

Las dimensiones que posee la banda cumplen satisfactoriamente el desarrollo del prototipo, la única dimensión que de igual forma no tiene mayor importancia en los resultados es la longitud de la banda transportadora.

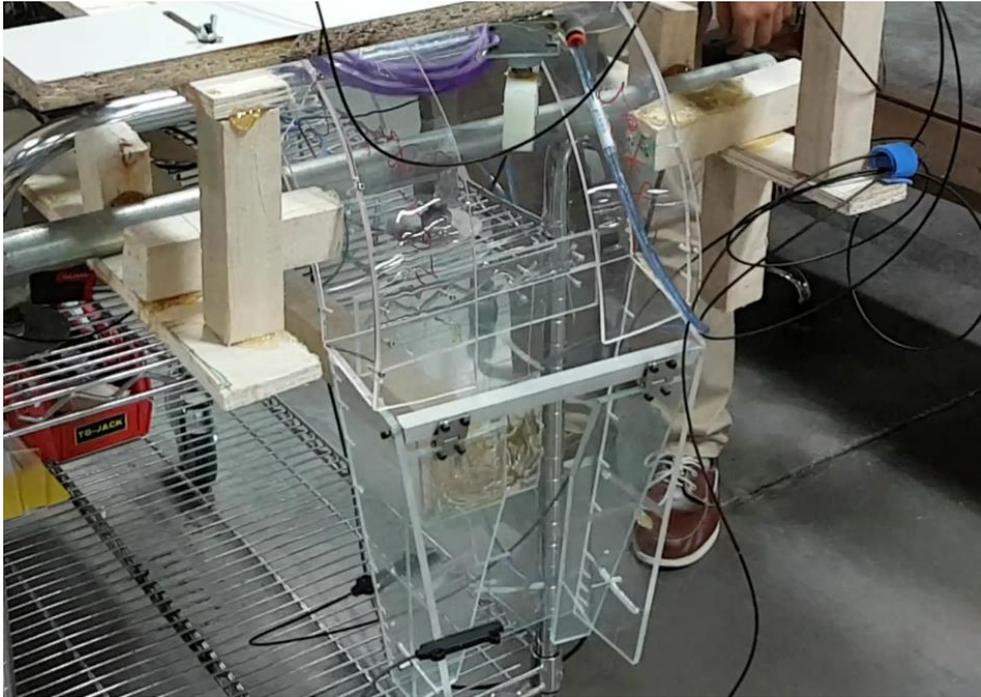


Fig. 29 Fotografía detallada de la estructura de acrílico

Fuente fotografía propia

La caída construida permitió dar una muy buena prueba de que el concepto desarrollado es totalmente funcional y realizable. Sin embargo, está cargado de diferencias y problemas que impiden dar un veredicto final del funcionamiento adecuado del sistema.

- La distancia estándar que se escogió entre rieles es un poco mayor que el diámetro de los patch cords que se escogieron para pruebas. El problema es que si no se ajusta bien la distancia los cables pueden tender a girar durante la caída. Sin embargo, si se coloca de manera adecuada la posición del coil sobre la banda en un 95% de los casos cae en la posición adecuada.

- El diseño principal de la estructura es unido mediante una sustancia química que realiza una especie de soldadura entre las partes. La rigidez de la estructura es aceptable pero no perfecta debido a que se utilizó únicamente tornillos para unirla. Para poder realizar esta pega se hubiera tenido que realizar cortes en el acrílico de mayor precisión, asimismo, se debía aumentar la precisión de las curvaturas.
- La falta de recubrimientos permite que los cobertores de los cables utp sean ligeramente rayados por los bordes de acrílico. Se requiere agregar un recubrimiento a los interiores de la estructura para evitar daños de calidad en el producto.
- La altura de toda la caída es mayor a la necesaria, el principal problema es la altura de la banda transportadora, si la banda tuviese rodillos con menor diámetro se podrían variar las dimensiones del sistema.
- Las tapas variables que se encuentran en la parte final del trayecto no poseen los componentes de fijación adecuados entonces cuando se coloca un cable con mucho peso y volumen la fuerza del pistón les aumenta su apertura.

Se improvisaron diseños detallados que no seguían con exactitud la forma en que se había propuesto en el diseño, por ejemplo, las bisagras que se utilizan para las tapas variables no conforman parte del diseño real.

4.2.3 Pistón y soporte del mismo

El soporte del pistón este compuesto por paquete de piezas de madera. Se unió esta estructura a la banda transportadora mediante silicón. En cuanto a esta parte del sistema no existe ningún inconveniente pues posee la libertad de ajustar la posición del pistón, también posee una fijación completa del pistón y brinda soporte a la estructura de acrílico correctamente.

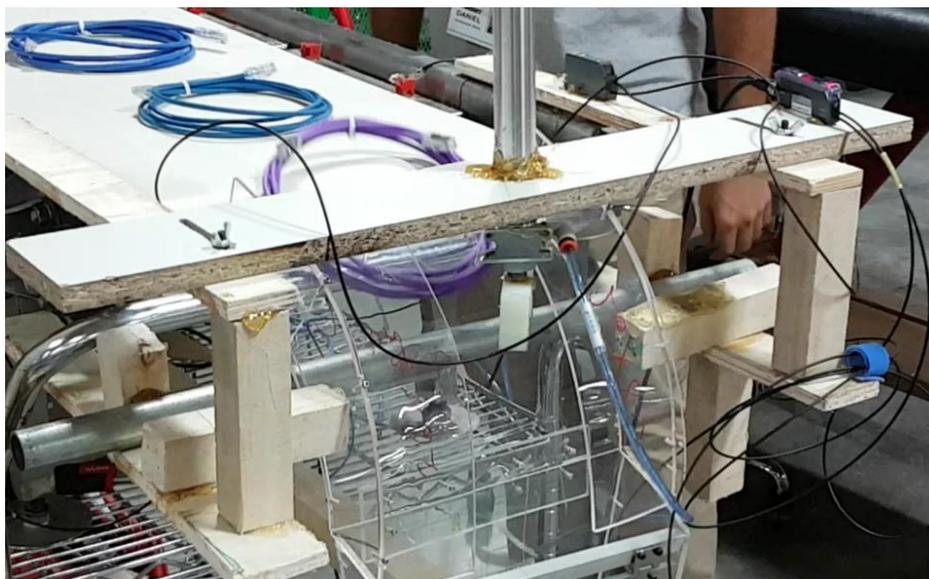


Fig. 30 Fotografía detallada del soporte y pistón del sistema

Fuente fotografía propia

Por otra parte, se tiene el pistón utilizado para realizar la tarea de depositar el patch cord dentro de la bolsa. Para este hay varios aspectos que analizar de los cuales quizá únicamente la fuerza es el único que no genera disconformidades en el funcionamiento del sistema.

La fuerza que provee este pistón permite pasar el patch cord más pesado y voluminoso sin tener ningún inconveniente o cambio en la velocidad de empuje.

Sin embargo, la orientación del eje se ve muy afectada tras depositar un cable. Se requiere un pistón que al ser accionado mantenga el eje del pistón en la posición que

tiene durante todo el trayecto y así la herramienta podrá trabajar correctamente una por muchos ciclos.

Un punto muy importante que se ha analizado anteriormente es la parte de duración de los ciclos de extensión y retracción del pistón. Con el prototipo se alcanzaron tiempos considerablemente mayores que los que se pueden ver en los valores teóricos. Esto se debe a varias razones. La primera razón es que no posee cushion (freno al final del recorrido) mediante esta característica un pistón es capaz de trabajar a altas velocidades sin tener daños significativos por el impacto al final del recorrido. Otra razón es la tubería utilizada, pues esta permite un máximo de flujo que no logra alcanzar las velocidades necesarias.

4.2.4 Sensores y su disposición en el espacio

Se utilizaron tres sensores de presencia en la imagen se pueden ver varios cubos rojos, estos fueron los soportes utilizados para colocar las fibras ópticas a lo largo del recorrido.



Fig. 31 Fotografía detallada de los sensores superiores del sistema

Fuente fotografía propia

Los sensores utilizados son sensores de presencia ópticos con dos partes: emisor y receptor. Por tanto, se requiere de alinear correctamente ambos terminales. A pesar

de ello el alineamiento se hizo sin la necesidad de ningún instrumento y se obtienen resultado completamente deseados.

Los sensores instalados dan un 99% de seguridad de detección, se hicieron infinidad de pruebas y en ningún fallo su detección. Para darle mayor seguridad se programó que los sensores iban a mandar una respuesta únicamente si pasaban 20ms de interrupción continua para cada uno.

Al final del recorrido se tiene una cortina de luz con emisor y receptor igualmente. En la imagen se puede observar que se colocó afuera del acrílico. Se aprovecha la transparencia del material para poder detectar la presencia de patch cord sin la necesidad de hacer una abertura en la estructura.



Fig. 32 Fotografía detallada del sensor inferior del sistema

Fuente fotografía propia

La confiabilidad de estos dispositivos es sumamente alta en vista de que colocaron y alinearon con falta de instrumentos y recursos en general.

También el prototipo permite ver que la posición de estos sensores es algo que no requiere de coordenadas precisas para poder funcionar en conjunto con el sistema de control adecuadamente.

Otro punto muy importante es que se comprueba la alta tolerancia al ruido que tienen los sensores a ambientes con bastante exposición de luz. Los tres sensores se encuentran a diferentes cantidades de luz y funcionan correctamente.

4.3 Lógica de control

La lógica utilizada funcionó justamente como se pensó. Se probaron diferentes situaciones colocando tres patch cord en diferentes posiciones, por ejemplo: la primera prueba fue colocar tres patch cords consecutivos a unas 2 in entre sí. Una segunda prueba que se realizó fue colocarlos a distancias mayores a las 20 in. La idea de estas dos pruebas era comprobar que el sistema para la primera prueba iba a dejar caer únicamente un patch cord mientras el otro esperaba en fila sobre la banda detenida. La segunda prueba se realizó para comprobar que no iba a detenerse la banda mientras se tuviera el tiempo necesario para depositar un cable mientras el otro cae sobre la estructura de acrílico.

Se realizaron otras pruebas como colocar 2 cables consecutivos (2 in de distancia entre sí) y un tercer patch cord a 20 in. Para esta prueba se obtuvieron resultados satisfactorios igualmente.

Cabe destacar que se desconoce el funcionamiento del sistema de control en conjunto con el autobagger, pues, el prototipo funcional no se pudo probar con estos sistemas por falta de inventario. Se incluye las salidas de control necesarias para gestionar el control de estas máquinas. Además, se justifica por qué no se utilizan sensores en esta parte del trabajo.

Estudio de fiabilidad del prototipo

Se realizó un estudio de fiabilidad del prototipo funcional construido. En la tabla 25 se puede ver la división de tareas que se le hizo al prototipo, Además cual fue el desarrollo de las tareas en 6 pruebas distintas

TABLA 25
Estudio de fiabilidad

Tarea	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Traslado cable	1	1	1	1	1	1
Frenado de la banda	1	0	1	0	0	0
Caída	1	1	1	1	1	1
Sensor 1	1	1	1	1	1	1
Sensor 2	1	1	1	1	1	1
Sensor 3	1	1	1	1	1	1
Pistón empuje	1	1	1	0	0	0

El 1 indica que la tarea se realizó satisfactoriamente el 0 que hubo un error.

Se puede observar que las tareas donde hubo fallos a lo largo de las 6 pruebas corresponden a la parte de frenado y caída del patch cord. Esto se da por las siguientes razones:

Fallo en frenado de la banda: La posición de detección del sensor 2 está a 1.5 in de donde termina la banda horizontalmente. El problema ocurre cuando el extremo del frente de cable es detectado y detiene inmediatamente la banda, en ese momento el resto del cuerpo del patch cord queda atascado en la banda. La solución es un posicionar el sensor 2 a unas 4 in de la banda.

Fallo en pistón empuje: El fallo en el pistón se da debido a que el eje del pistón puede girar. Al ocurrir esto la herramienta rota y queda en posiciones desfavorables para empujar el cable a través de las guías. La solución es fijar el eje del pistón para que no rote.

Capítulo 5

5.1 Conclusiones

- El Sistema alimentador de patch cords en empaque en bolsa es capaz de superar el índice de productividad requerido para la aplicación.
- El sistema de control del alimentador automático de patch cords en empaque permite colocar patch cord a diferentes distancias y recibirlos correctamente para el proceso de depósito en la bolsa.
- El actuador seleccionado provee la fuerza, precisión y velocidad necesarias para empujar de manera controlada el patch cord a través de los rieles guía.
- Los materiales seleccionados para los rieles guía son adecuados para la aplicación en cuanto a resistencia se refiere.
- La banda transportadora permite hacer un traslado controlado del patch cord, manteniéndolo en la posición desde que se coloca al inicio del recorrido hasta llegar al final del mismo.
- Los sensores de presencia tienen un 100% de efectividad para las muestras que se utilizaron.
- El operario de empaque en cajas tiene el tiempo suficiente para realizar su trabajo más los elementos casuales que realizaba el operario de selladora semiautomática
- Los operarios de etiquetado pueden realizar la lectura de código de barras y la alimentación del sistema sin problemas de tiempo.

5.2 Recomendaciones

- Construir prototipo para realizar pruebas con patch cord de diámetro variable.
- Realizar un estudio de la parte de seguridad laboral para evitar que el diseño no incumpla con las normas de seguridad ocupacional.
- Proponer un sistema de visión artificial para inspeccionar el resultado de las impresiones en las bolsas de empaque.
- Crear una rutina de trabajo para los operarios que interactúen con el alimentador automático de patch cords.
- Comprobar si existe la necesidad de agregar más sensores en las etapas que no se probó en el prototipo constructivo.
- Seleccionar algún tipo de sustancia que pueda eliminar las superficies filosas que podrían llegar a alterar la calidad del producto.
- Realizar una depuración del diseño de la herramienta que empuja el cable a través de la parte final de los rieles guía.
- Comprobar y mejorar el diseño de las compuertas que abren la bolsa durante el movimiento del cable a través de la sección reducida al final del recorrido.
- Definir la posición exacta de los sensores para que puedan trabajar con todos los tipos de patch cord que se empaquetan en la máquina semiautomática (autobagger).

5.3 Bibliografía

- [1] G. d. producción, «distribución de ingresos por producto,» 2016.
- [2] «Autobag,» [En línea]. Available:
<http://www.bidonequipment.info/pdf%20files/AUTOMATED%20PACKAGING%20SYSTEMS%20AUTOBAG%20HS-100%20Excel.pdf>. [Último acceso: 31 mayo 2017].
- [3] «ciscopress,» 14 Marzo 2003. [En línea]. Available:
<http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=31276>. [Último acceso: 23 Abril 2017].
- [4] F. Halsall, «Redes de computadoras e Internet,» Pearson, España, 2006.
- [5] «Cisco,» 3 Septiembre 2006. [En línea]. Available:
http://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/routers/7000-series-routers/12223-14.html. [Último acceso: 20 Abril 2017].
- [6] «Categoria 6,» 3M, 5 Agosto 2010. [En línea]. Available:
<http://multimedia.3m.com/mws/media/3611740/categoria-6-utp.pdf>. [Último acceso: 4 marzo 2017].
- [7] R. Carro, El sistema de producción y operaciones, Buenos Aires: Universidad mar de plata, 2000.
- [8] «Engineering-abc,» [En línea]. Available: <http://www.tribology-abc.com/default.htm>. [Último acceso: 25 mayo 2017].
- [9] P. P. Equipment, «Plastic Process Equipment Catalog,» PPE, Cleveland, 2000.
- [1] «Plásticos mecanizables,» [En línea]. Available: http://www.plasticos-0.com/mecanizables.com/plasticos_coeficiente_friccion.html. [Último acceso: 15 Abril 2017].
- [1] «METACRILATO PMMA,» Plásticos Ferplast, [En línea]. Available:
[1] <https://www.plasticosferplast.com/files/producto/pmma.pdf>. [Último acceso: 20 Abril 2017].
- [1] R. & H. Resnick, Física 4, México: CECOSA, 2004.
2]
- [1] J. Salazar, Resistencia de materiales básica para estudiantes de ingeniería,
3] Manizales: Centro de publicaciones Universidad Nacional de Colombia, 2007.
- [1] P. Tipler, Física para la ciencia y tecnología, Barcelona: Reverté, 2000.
4]
- [1] «Wilkerson,» Wilkerson, [En línea]. Available:
5] <http://www.wilkersoncorp.com/products/c08.shtml>. [Último acceso: 4 Mayo 2017].
- [1] «Direct solenoid and solenoid pilot operated valves,» MAC, [En línea]. Available:
6] <http://cdn2.hubspot.net/hub/97890/docs/45catalog.pdf?t=1494444848988>. [Último acceso: 16 Mayo 2017].

- [1] «Conceptos básicos de neumática e hidráulica,» [En línea]. Available:
7] <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica9.htm>. [Último acceso: 26 abril 2017].
- [1] J. Escalera, «Actuadores Neumáticos,» [En línea]. Available:
8] [http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Tra bajos%20IM%202009-10/Manuel%20Jesus%20Esacalera-Antonio%20Rodriguez-Actuadores%20Neumaticos.pdf](http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Tra%20bajos%20IM%202009-10/Manuel%20Jesus%20Esacalera-Antonio%20Rodriguez-Actuadores%20Neumaticos.pdf). [Último acceso: 20 mayo 2017].
- [1] «Calculos de vástagos y velocidades,» [En línea]. Available:
9] <https://neumaticahidraulica.files.wordpress.com/2011/04/sesion-6.pdf>. [Último acceso: 3 mayo 2017].
- [2] «Ingenieriaindustrialonline,» 8 enero 2005. [En línea]. Available:
0] <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/estudio-de-tiempos/>. [Último acceso: 7 marzo 2017].
- [2] Champman, Máquinas eléctricas, Bogotá: Mc Graw Hill, 2000.
1]

Anexo A

Se agregan las distribuciones de los patch cord, su número de vueltas de acuerdo a su largo, su diámetro de arrollado entre otros.

En la tabla 26 se muestra también el tipo de bolsa y caja que se utiliza para cada uno:

TABLA 26

Información de los patch cord de acuerdo al largo del mismo

Length min		Length max		Bag	Box	Qty per box	Min Coil diameter (inches)	Laps QTY
FT	M	FT	M					
0	0	1.4	0.43	34106-7	136NPC-44	10	-	0
1.5	0.46	2	0.61	34106-7	136NPC-44	10	-	0
2.1	0.64	3.9	1.19	34106-8	136NPC-684	10	5	2
4	1.22	5.9	1.80	34106-8	136NPC-684	10	5	3
6	1.83	6.9	2.10	34106-8	136NPC-684	10	5	4
7	2.13	7.9	2.41	34106-8	136NPC-684	10	5	5
8	2.44	9.9	3.02	34106-9	136NPC-52	10	5	6
10	3.05	10.9	3.32	34106-9	136NPC-52	10	5	7
11	3.35	11.9	3.63	34106-9	136NPC-304	10	7	5
12	3.66	13.9	4.24	34106-9	136NPC-304	10	7	6
14	4.27	15.9	4.85	34106-9	136NPC-304	10	7	7
16	4.88	17.9	5.46	34106-9	136NPC-304	10	7	8
18	5.49	19.9	6.07	34106-9	136NPC-304	10	7	9

20	6.10	21.9	6.68	34106-9	136NPC-304	10	7	10
22	6.71	23.9	7.29	34106-9	136NPC-304	10	7	11
24	7.32	25.9	7.90	34106-9	136NPC-304	10	7	12
26	7.93	27.9	8.51	34106-9	136NPC-305	10	7	13
28	8.54	29.9	9.12	34106-9	136NPC-306	10	7	14
30	9.15	31.9	9.73	34106-9	136NPC-306	10	7	15
32	9.76	33.9	10.34	34106-9	136NPC-306	10	7	16
34	10.37	35.9	10.95	34106-9	136NPC-306	10	7	17
36	10.98	36.9	11.25	34106-9	136NPC-306	10	7	18
37	11.28	38.9	11.86	34106-9	136NPC-306	10	7	19
39	11.89	40.9	12.47	34106-9	136NPC-306	10	7	20
41	12.50	42.9	13.08	34106-9	136NPC-306	10	7	21
43	13.11	43.9	13.38	34106-9	136NPC-306	10	7	22
44	13.41	44.9	13.69	34106-9	136NPC-306	10	7	23
45	13.72	46.9	14.30	34106-9	136NPC-306	10	7	24
47	14.33	48.9	14.91	34106-9	136NPC-306	10	7	25
49	14.94	50.9	15.52	34106-9	136NPC-306	10	7	26
55	16.77			34106-9	136NPC-176	10	7	31
60	18.29			34106-9	136NPC-176	10	7	34
65	19.82			34106-16	136NPC-176	10	7	33
	20.00			34106-16	136NPC-176	10	7	34

70	21.34		34106-16	136NPC-176	10	7	35
75	22.87		34106-16	136NPC-176	10	8	38
80	24.39		34106-16	136NPC-176	10	8	40
85	25.91		34106-16	136NPC-176	10	8	42

Apéndice A

En la tabla 25 se muestran las mediciones de fuerza para poder atravesar el patch cord más grande que se utiliza en las autobagger.

TABLA 27

mediciones de fuerza

Número de medición	Fuerza (libras o newtons)
1	11.0
2	13.0
3	13.0
4	13.5
5	12.8
6	12.0
7	11.0
8	11.7
9	13.0
10	14.0
11	14.1
12	12.1
Promedio	12.6

Las mediciones se realizaron manualmente a compresión sobre el cable, como lo haría el pistón. Estas mediciones se hicieron utilizando el cable cat 6, 24awg de 42 vueltas.

Apéndice B

Se muestran los diagramas de escalera tanto del diseño final como del prototipo funcional que se construyó.

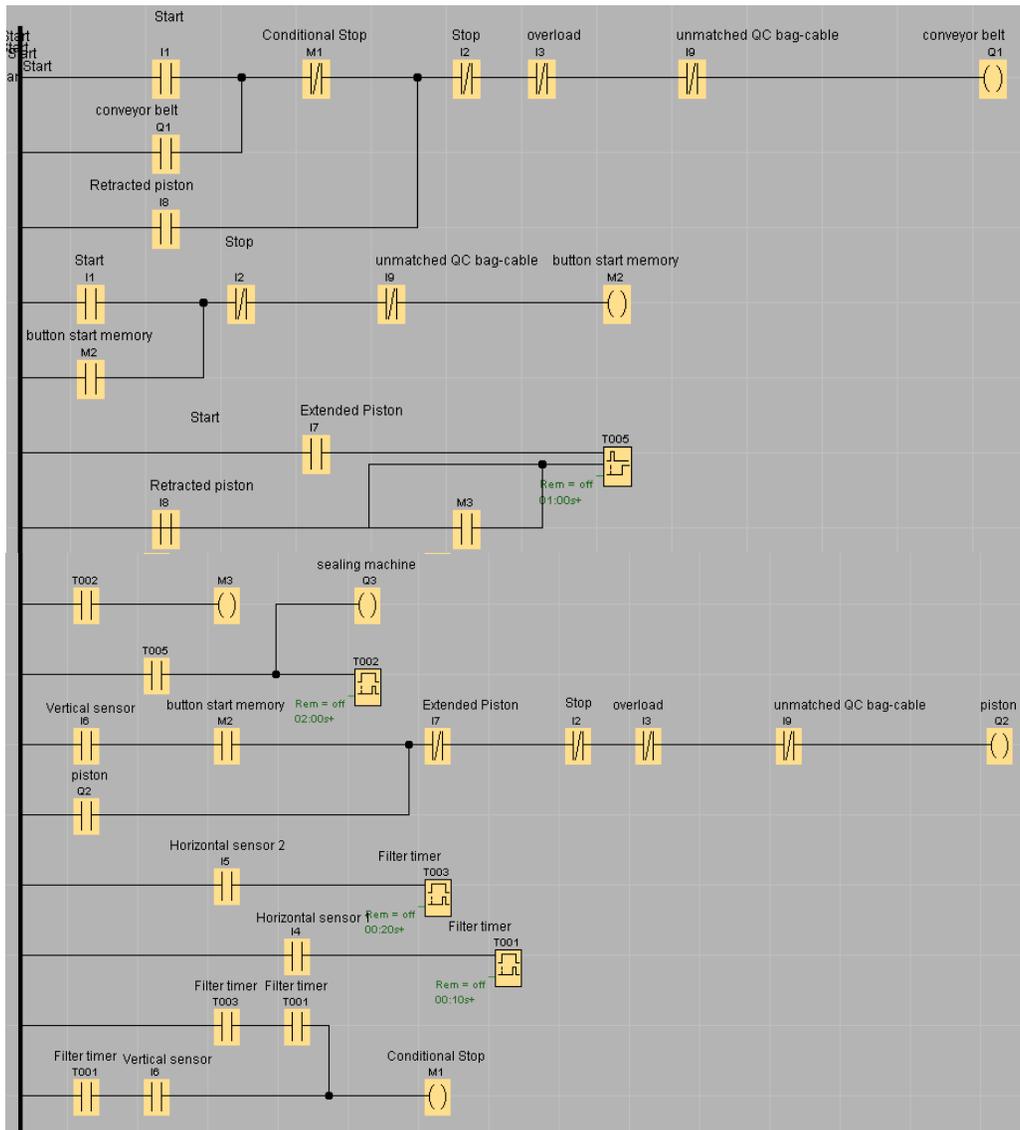


Fig. 33 Diagrama escalera lógica de control

Fuente Captura de pantalla propia

Diagrama escalera prototipo

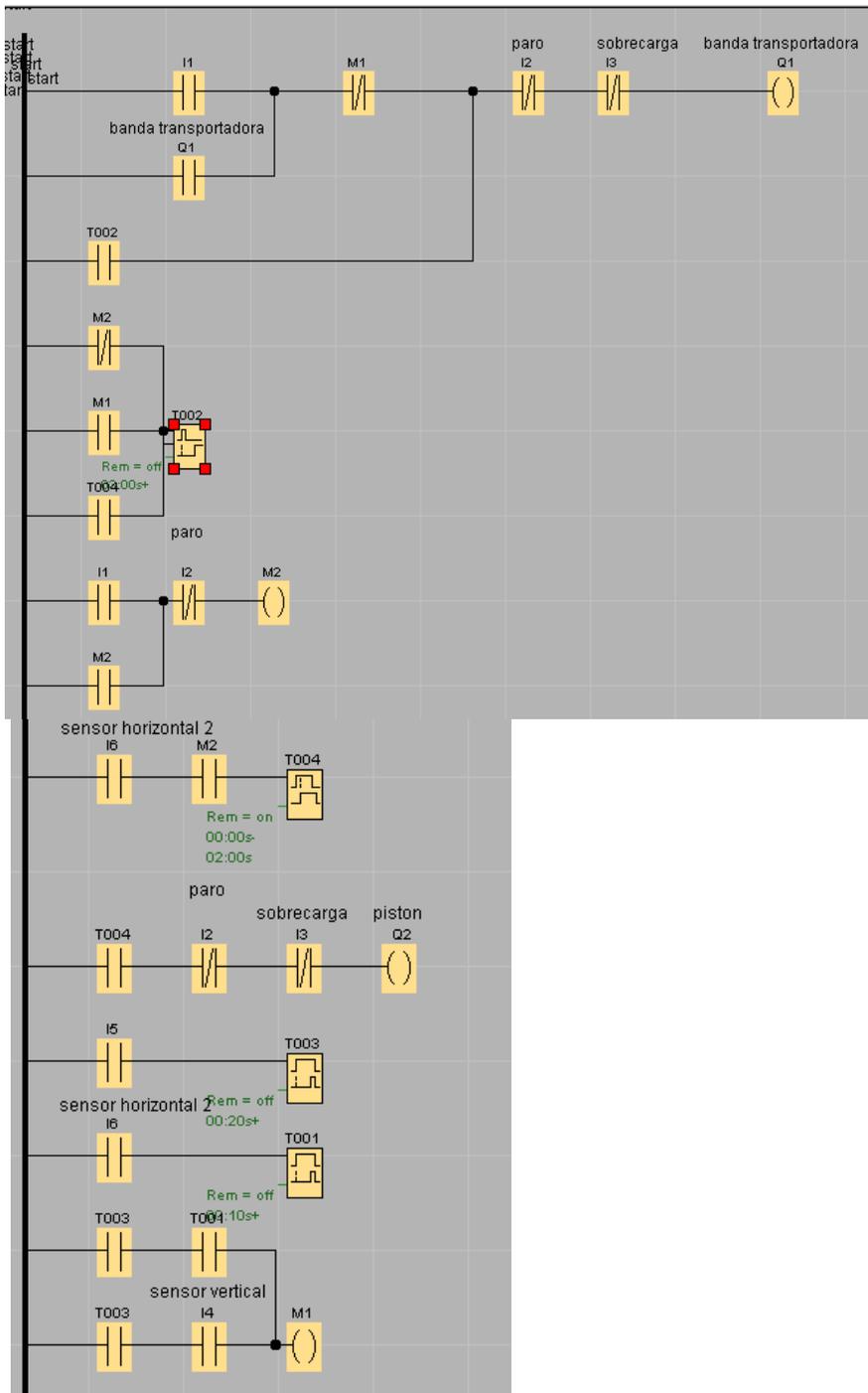
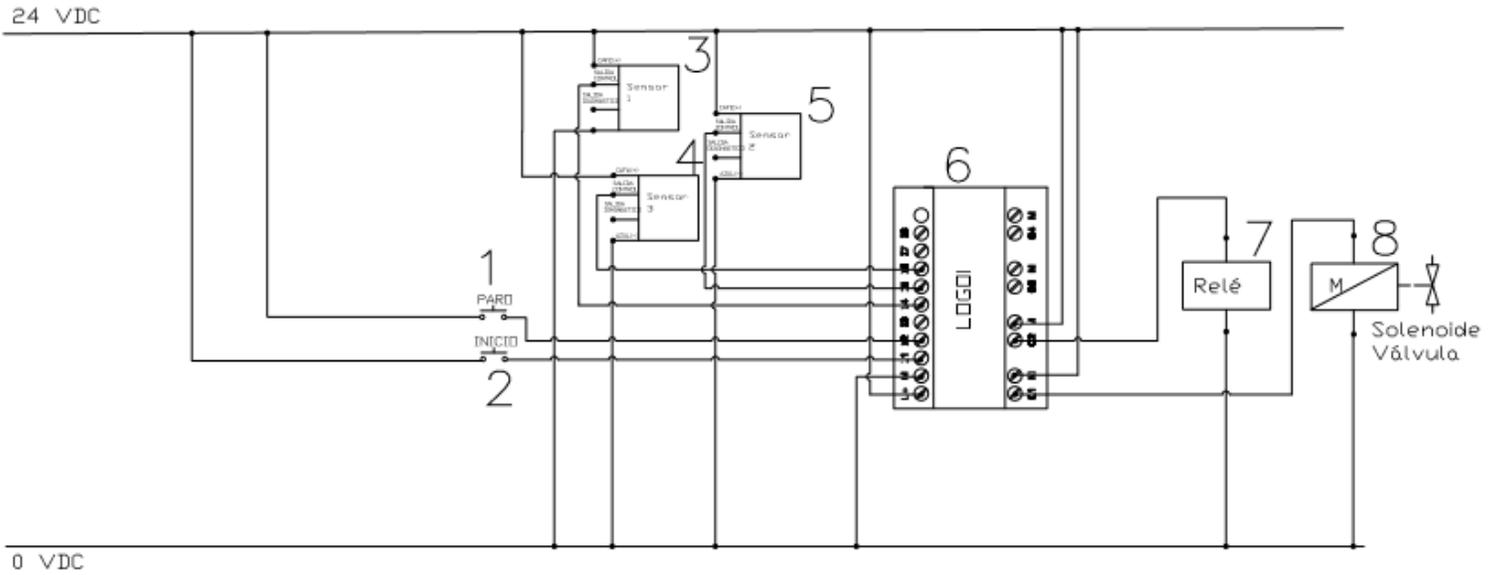


Fig. 34 Diagrama escalera control para prototipo

Fuente Captura de pantalla propia

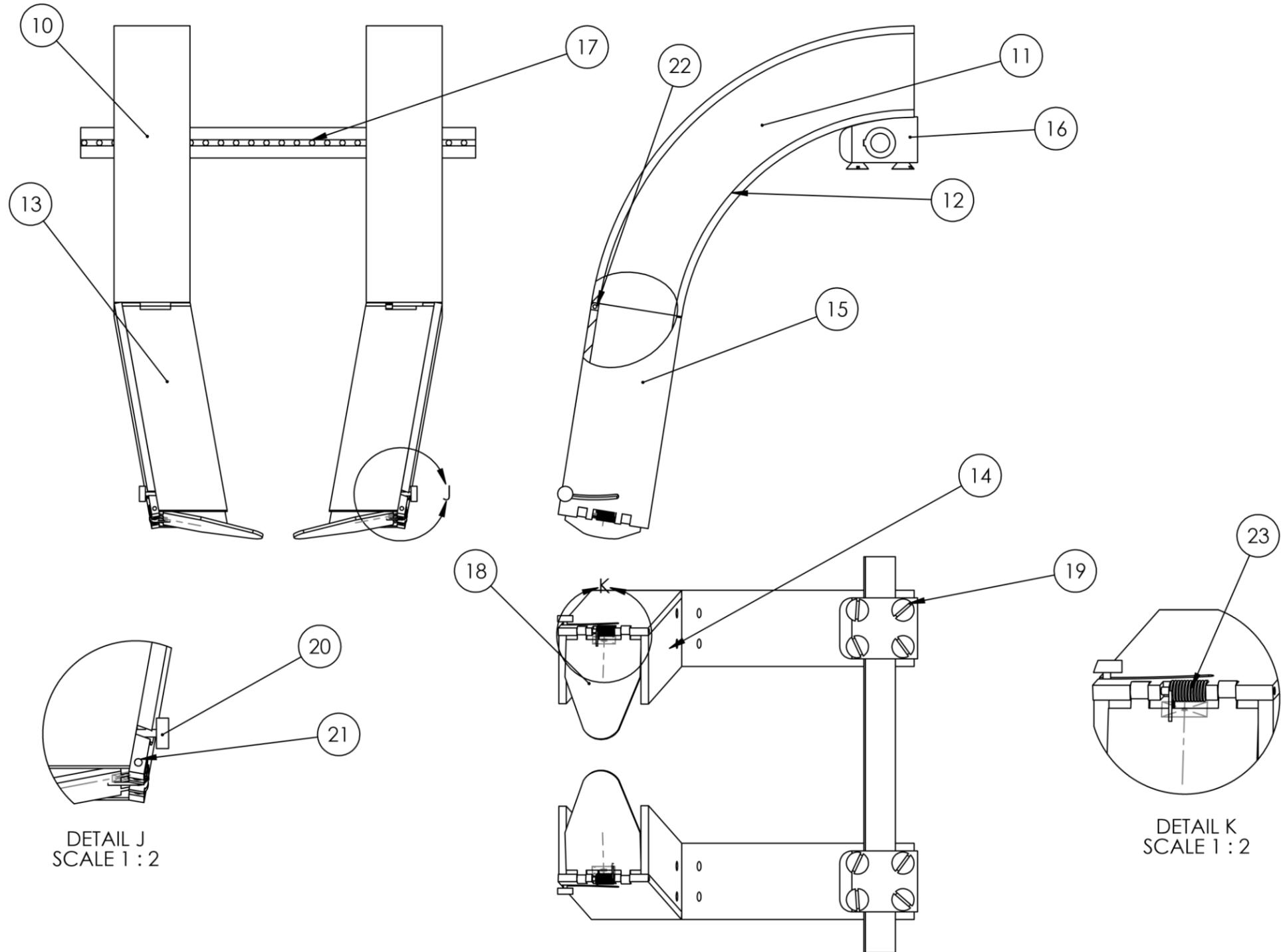
Apéndice C

Este apartado muestra el diagrama eléctrico con más detalle y una presentación formal del mismo.



Apéndice D

Se adjuntan los planos constructivos de la máquina alimentadora automática de patch cord para Panduit Costa Rica



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
10	00716NBD-00	2
11	00716NBE-00	2
12	00716NBF-00	2
13	00716NBH-00	2
14	00716NBG-00	2
15	00716NBI-00	2
16	00716NBK-00	2
17	00716NBK-00	1
18	00716NBL-00	2
19	91255A046	8
20	91185A253	2
21	97395A614	2
22	97395A612	2
23	9271K584	2

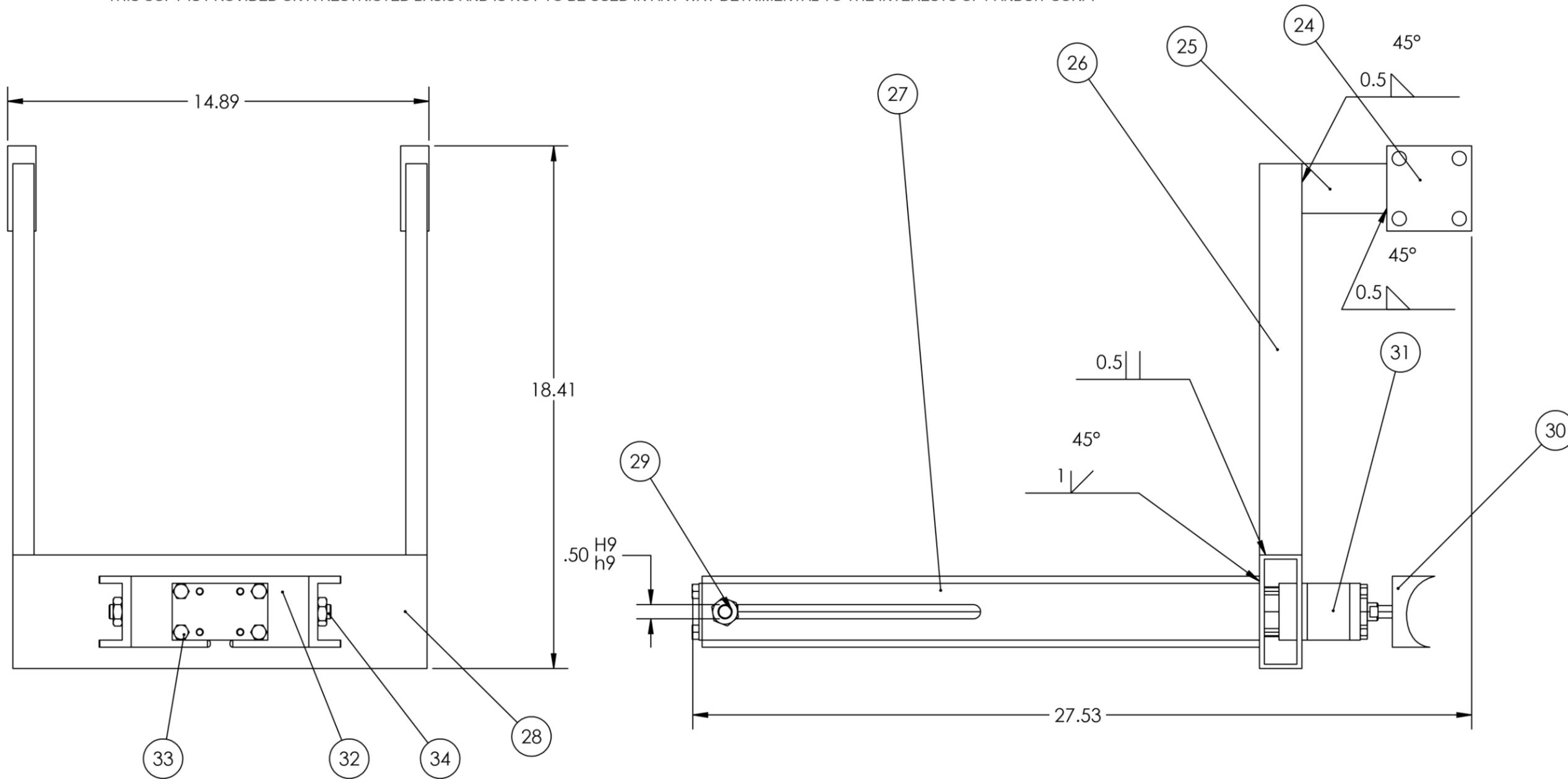
DETAIL J
SCALE 1 : 2

DETAIL K
SCALE 1 : 2

REV	DATE	BY	CHK	APR	DESCRIPTION	ECN
00	5/17/2017	D.RODRIGUEZ			FIRST REVISION OF THE SUBASSEMBLY	

PRODUCT SPEC	PACKAGING SPEC			
PART NUMBER	WORK INSTRUCTION			
INSPECTION INSTRUCTION NUMBER	FMEA & CONTROL PLAN NUMBER			
TITLE				
FINAL SECTION OF THE MECHANICAL GUIDES				
CONTROL DRAWING				
ITEM REVISION NAME	PANDUIT			
00716NAB-00				
DATASET FILE NAME	MATERIAL:			
00716NAB-DS-00				
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONAL TOLERANCES ARE: IN [mm]				
X: .1 [2.54]	XXX: .005 [.127]			
XX: .01 [.25]	ANGLES: 5°			
THIRD ANGLE PROJECTION				
DRAWN BY	DATE	CHK	SCALE	DRAWING NUMBER:
D.RODRIGUEZ	5/17/2017		1:4	SHT 2 OF 21
				SIZE
				B

D:\01000DB\17



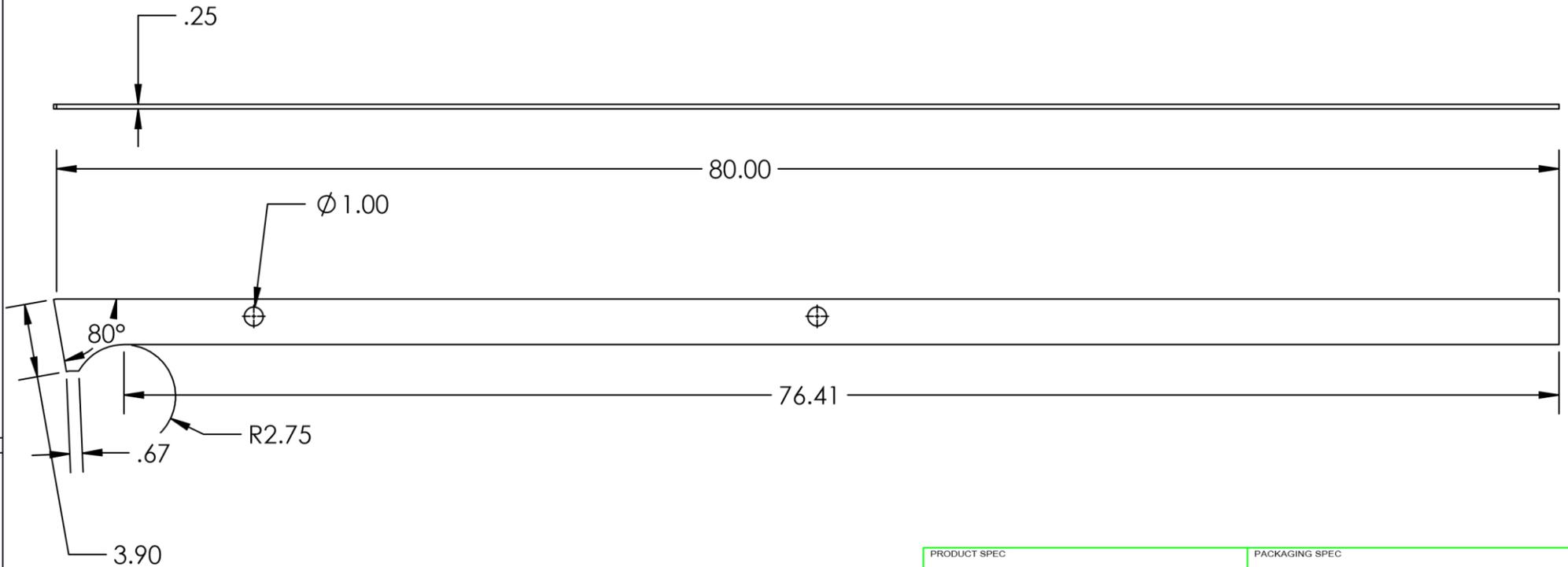
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
24	00716NBM-00		2
25	00716NBN-00		2
26	00716NBO-00		2
27	00716NBP-00		2
28	00716NBQ-00		1
29	95036A024		1
30	00716NBS-00		1
31	TA_MF2_1_50x18_ELH		1
32	00716NBR-00		4
33	90201A222		2
34	90201A415		2

REV	DATE	BY	CHK	APR	DESCRIPTION	ECN
00	5/18/2017	D.RODRIGUEZ			PROTOTYPE	

PRODUCT SPEC		PACKAGING SPEC	
PART NUMBER		WORK INSTRUCTION	
INSPECTION INSTRUCTION NUMBER		FMEA & CONTROL PLAN NUMBER	
TITLE			
ENSAMBLE SOPORTE PISTON			
CONTROL DRAWING			
ITEM REVISION NAME		00716NAC-00	
DATASET FILE NAME		00716NAC-DS-00	
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONAL TOLERANCES ARE: IN [mm]		MATERIAL:	
X: .1 [2.54]	XXX: .005 [.127]		
XX: .01 [.25]	ANGLES: 5°		
DRAWN BY: DANIEL.R		DATE: 5/17/2017	CHK: SCALE: 1:4
		THIRD ANGLE PROJECTION	
		DRAWING NUMBER:	
SHT 3 OF 21			SIZE: B

D:\10100DB\17

THIS COPY IS PROVIDED ON A RESTRICTED BASIS AND IS NOT TO BE USED IN ANY WAY DETRIMENTAL TO THE INTERESTS OF PANDUIT CORP.



PRODUCT SPEC	PACKAGING SPEC
PART NUMBER	WORK INSTRUCTION
INSPECTION INSTRUCTION NUMBER	FMEA & CONTROL PLAN NUMBER

TITLE
HORIZONTAL GUIDE
 CONTROL DRAWING

ITEM REVISION NAME
 00716NBA

DATASET FILE NAME
 00716NBA-DS

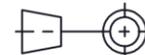


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED,
 DIMENSIONAL TOLERANCES ARE: IN [mm]

X± .1 [2.54] XXX± .005 [.127]
 XX± .01 [.25] ANGLES: 5°

THIRD ANGLE PROJECTION

MATERIAL:
 DRAWING NUMBER:



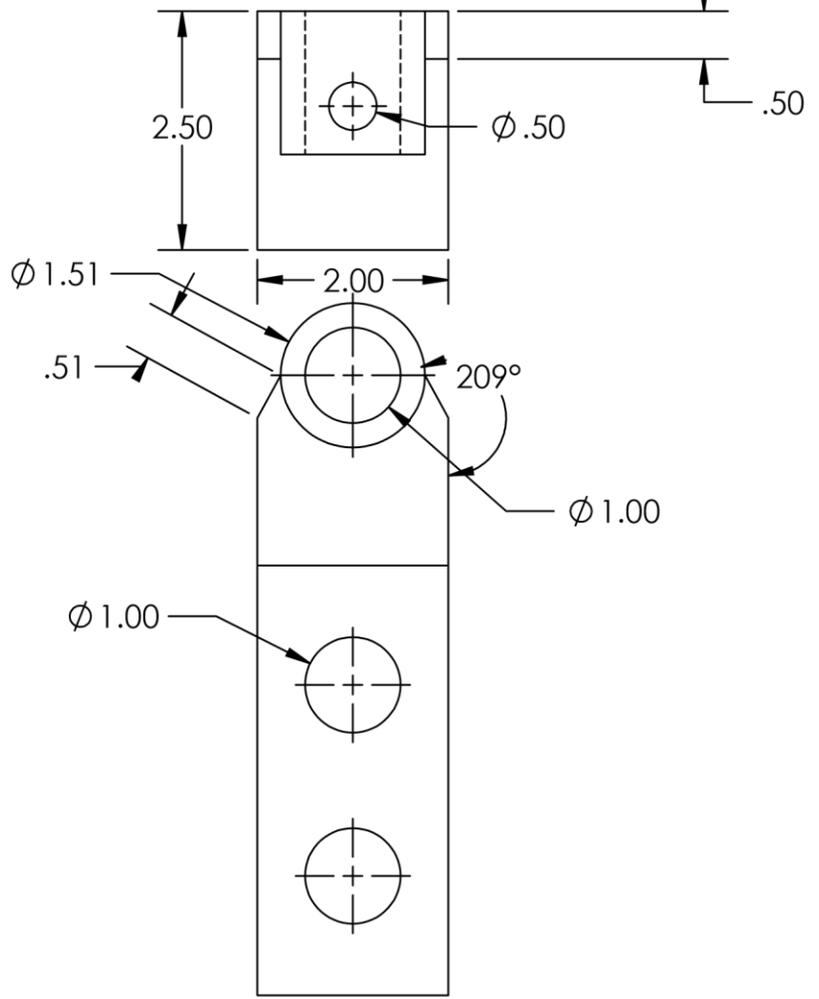
DRAWN BY D.RODRIGUEZ	DATE 5/17/2017	CHK	SCALE 1:8	SHT 4 OF 21	SIZE A
-------------------------	-------------------	-----	--------------	-------------	-----------

00	5/17/2017				PROTOTYPE					
----	-----------	--	--	--	-----------	--	--	--	--	--

REV	DATE	BY	CHK	APR	DESCRIPTION	ECN
-----	------	----	-----	-----	-------------	-----

D:\101000\A\20

THIS COPY IS PROVIDED ON A RESTRICTED BASIS AND IS NOT TO BE USED IN ANY WAY DETRIMENTAL TO THE INTERESTS OF PANDUIT CORP.



PRODUCT SPEC	PACKAGING SPEC
PART NUMBER	WORK INSTRUCTION
INSPECTION INSTRUCTION NUMBER	FMEA & CONTROL PLAN NUMBER

TITLE
MECHANICAL SUPPORT FOR GUIDES
 CONTROL DRAWING

ITEM REVISION NAME: 00716NBB
 DATASET FILE NAME: 00716NBB-DS



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONAL TOLERANCES ARE: IN [mm]
 X±: .1 [2.54] XXX±: .005 [.127]
 XX±: .01 [.25] ANGLES: 5°

THIRD ANGLE PROJECTION

DRAWING NUMBER:

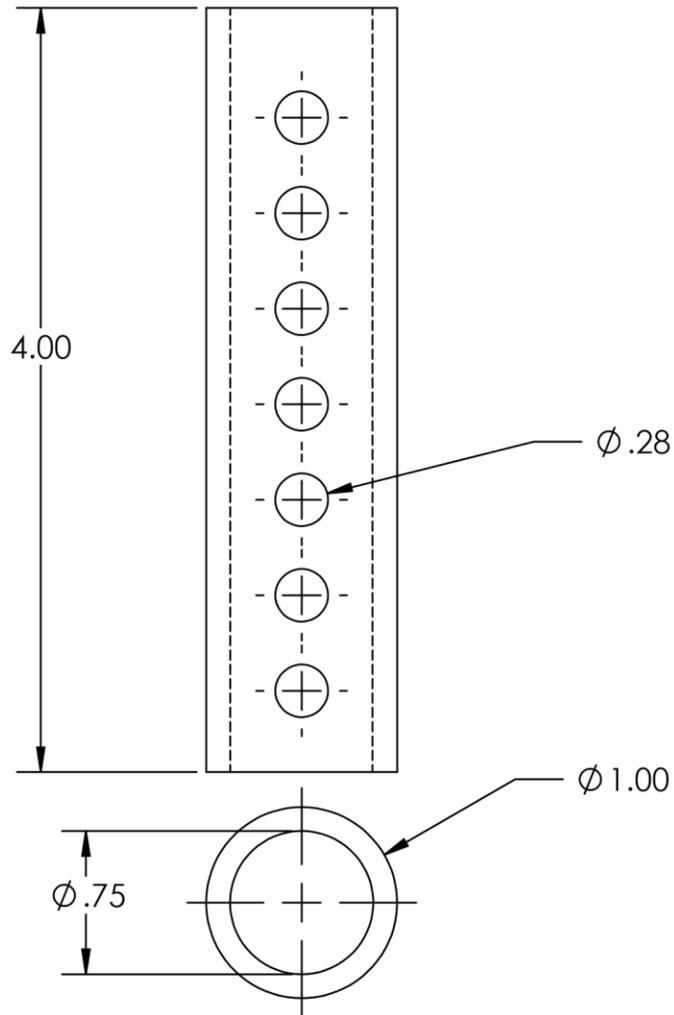
DRAWN BY: D.RODRIGUEZ	DATE: 5/17/2017	CHK:	SCALE: 1:X	SHT 5 OF 21	SIZE: A
-----------------------	-----------------	------	------------	-------------	---------

00	5/17/2017				PROTOTYPE		
----	-----------	--	--	--	-----------	--	--

REV	DATE	BY	CHK	APR	DESCRIPTION	ECN
-----	------	----	-----	-----	-------------	-----

D:\01000DA\20

THIS COPY IS PROVIDED ON A RESTRICTED BASIS AND IS NOT TO BE USED IN ANY WAY DETRIMENTAL TO THE INTERESTS OF PANDUIT CORP.



PRODUCT SPEC	PACKAGING SPEC
PART NUMBER	WORK INSTRUCTION
INSPECTION INSTRUCTION NUMBER	FMEA & CONTROL PLAN NUMBER

TITLE
ADJUSTABLE TUBE
 CONTROL DRAWING

ITEM REVISION NAME
 00716NBC
 DATASET FILE NAME
 00716NBC-DS



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED,
 DIMENSIONAL TOLERANCES ARE: IN [mm]
 X± .1 [2.54] XXX± .005 [.127]
 XX± .01 [.25] ANGLES: 5°

THIRD ANGLE PROJECTION

MATERIAL:
 DRAWING NUMBER:

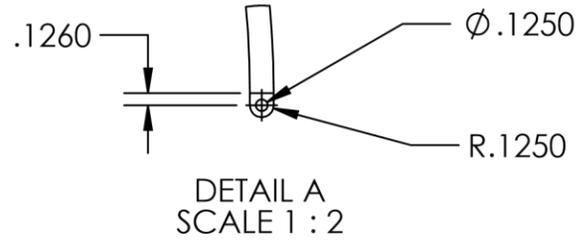
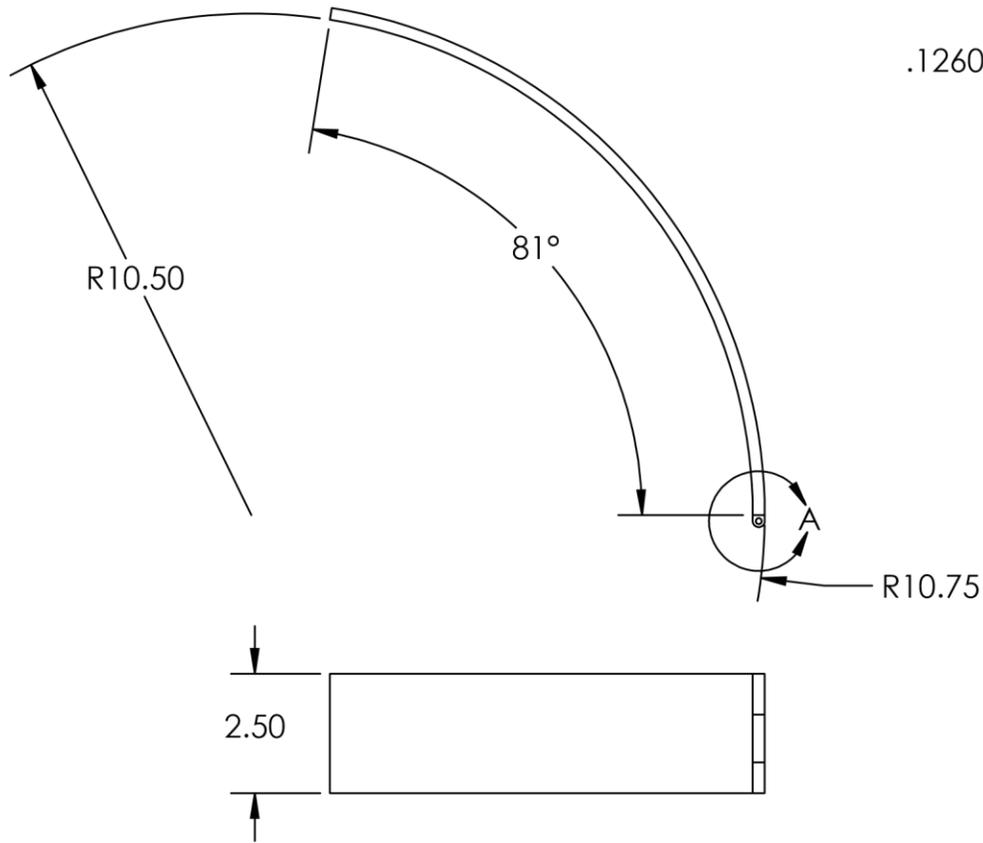
00	5/17/2017	D.RODRIGUEZ				PROTOTYPE		
----	-----------	-------------	--	--	--	-----------	--	--

REV	DATE	BY	CHK	APR	DESCRIPTION	ECN
-----	------	----	-----	-----	-------------	-----

DRAWN BY D.RODRIGUEZ	DATE 5/17/2017	CHK	SCALE 1:1	SHT 6 OF 21	SIZE A
-------------------------	-------------------	-----	--------------	-------------	-----------

D:\10100DA\20

THIS COPY IS PROVIDED ON A RESTRICTED BASIS AND IS NOT TO BE USED IN ANY WAY DETRIMENTAL TO THE INTERESTS OF PANDUIT CORP.



PRODUCT SPEC	PACKAGING SPEC
PART NUMBER	WORK INSTRUCTION
INSPECTION INSTRUCTION NUMBER	FMEA & CONTROL PLAN NUMBER

TITLE
SUPERIOR GUIDE COMPONENT
 CONTROL DRAWING

ITEM REVISION NAME
 00716NBD
 DATASET FILE NAME
 00716NBD-DS



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED,
 DIMENSIONAL TOLERANCES ARE: IN [mm]
 X± .1 [2.54] XXX± .005 [.127]
 XX± .01 [.25] ANGLES: 5°

THIRD ANGLE PROJECTION

MATERIAL:
 DRAWING NUMBER:

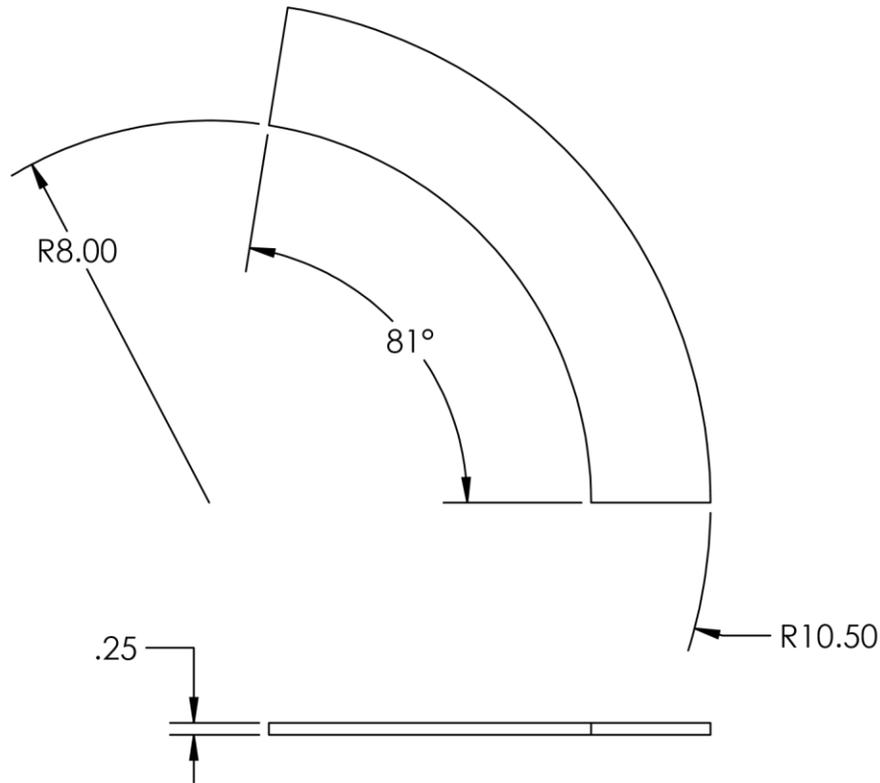
00	5/18/2017	D.RODRIGUEZ				PROTOTYPE		
----	-----------	-------------	--	--	--	-----------	--	--

REV	DATE	BY	CHK	APR	DESCRIPTION	ECN
-----	------	----	-----	-----	-------------	-----

DRAWN BY D.RODRIGUEZ	DATE 5/18/2017	CHK	SCALE 1:4	SHT 7 OF 21	SIZE A
-------------------------	-------------------	-----	--------------	-------------	-----------

D:\101000DA\20

THIS COPY IS PROVIDED ON A RESTRICTED BASIS AND IS NOT TO BE USED IN ANY WAY DETRIMENTAL TO THE INTERESTS OF PANDUIT CORP.



PRODUCT SPEC	PACKAGING SPEC
PART NUMBER	WORK INSTRUCTION
INSPECTION INSTRUCTION NUMBER	FMEA & CONTROL PLAN NUMBER

TITLE
SIDE CURVE GUIDES COMPONENT
 CONTROL DRAWING

ITEM REVISION NAME: 00716NBE
 DATASET FILE NAME: 00716NBE-DS



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONAL TOLERANCES ARE: IN [mm]
 X± .1 [2.54] XXX± .005 [.127]
 XX± .01 [.25] ANGLES: 5°

THIRD ANGLE PROJECTION

DRAWING NUMBER:

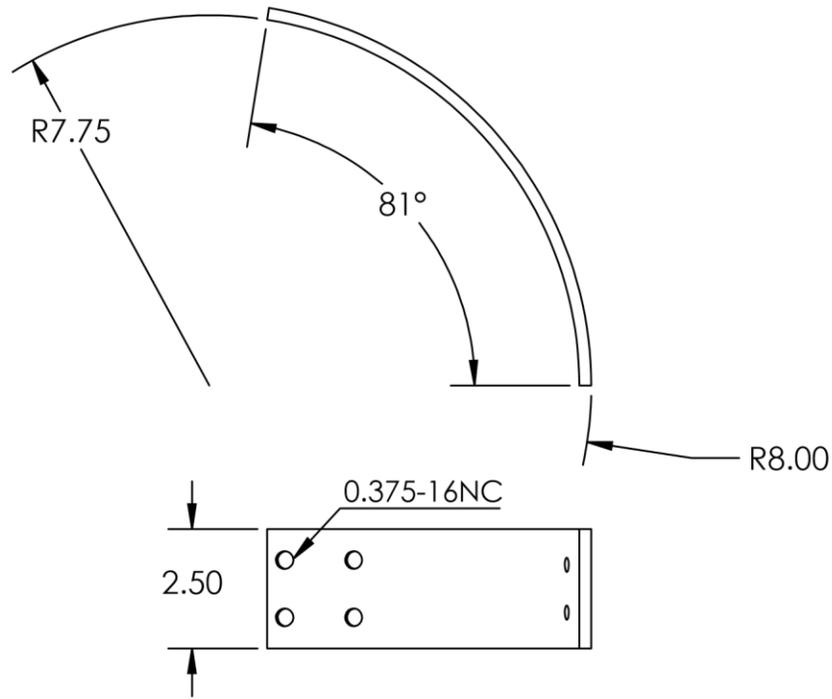
DRAWN BY: D.RODRIGUEZ	DATE: 5/18/2017	CHK:	SCALE: 1:4	SHT 8 OF 21	SIZE: A
-----------------------	-----------------	------	------------	-------------	---------

00	5/18/2017	D.RODRIGUEZ			PROTOTYPE					
----	-----------	-------------	--	--	-----------	--	--	--	--	--

REV	DATE	BY	CHK	APR	DESCRIPTION	ECN
-----	------	----	-----	-----	-------------	-----

D:\01000\A\20

THIS COPY IS PROVIDED ON A RESTRICTED BASIS AND IS NOT TO BE USED IN ANY WAY DETRIMENTAL TO THE INTERESTS OF PANDUIT CORP.



PRODUCT SPEC	PACKAGING SPEC
PART NUMBER	WORK INSTRUCTION
INSPECTION INSTRUCTION NUMBER	FMEA & CONTROL PLAN NUMBER

TITLE
INFERIOR CURVE GUIDES COMPONENT
 CONTROL DRAWING

ITEM REVISION NAME
 00716NBF
 DATASET FILE NAME
 00716NBF-DS



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED,
 DIMENSIONAL TOLERANCES ARE: IN [mm]
 X± .1 [2.54] XXX± .005 [.127]
 XX± .01 [.25] ANGLES: 5°

THIRD ANGLE PROJECTION

MATERIAL:

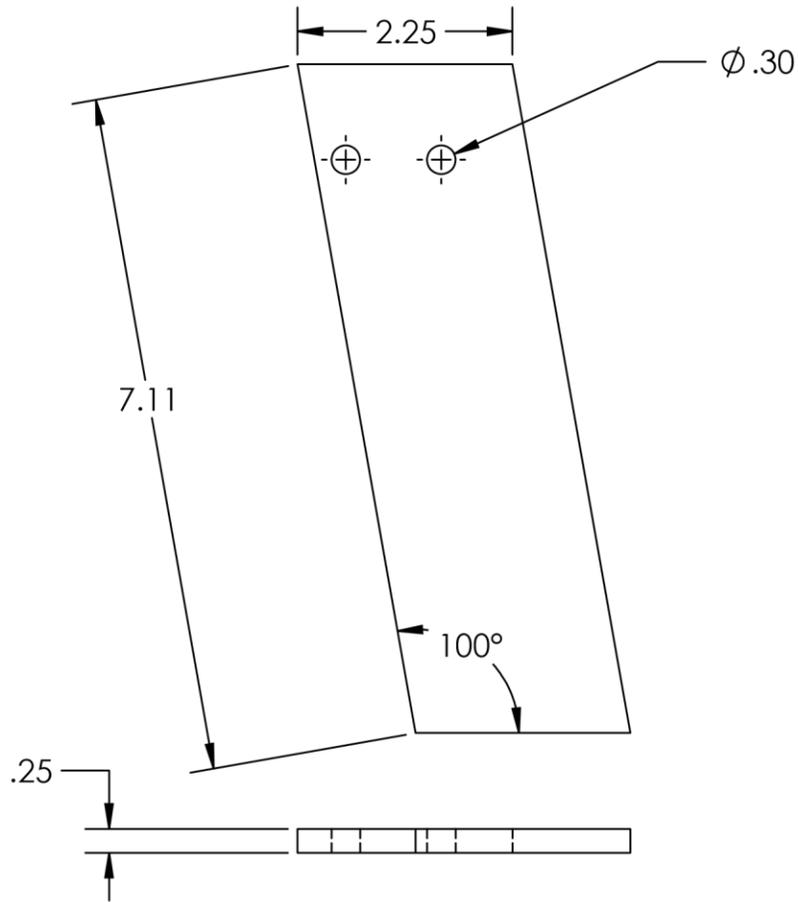
 DRAWING NUMBER:

00	5/18/2017	D.RODRIGUEZ				PROTOTYPE		
----	-----------	-------------	--	--	--	-----------	--	--

DRAWN BY D.RODRIGUEZ	DATE 5/18/2017	CHK	SCALE 1:4	SHT 9 OF 21	SIZE A
-------------------------	-------------------	-----	--------------	-------------	-----------

D:\01000\A\20

THIS COPY IS PROVIDED ON A RESTRICTED BASIS AND IS NOT TO BE USED IN ANY WAY DETRIMENTAL TO THE INTERESTS OF PANDUIT CORP.



PRODUCT SPEC	PACKAGING SPEC
PART NUMBER	WORK INSTRUCTION
INSPECTION INSTRUCTION NUMBER	FMEA & CONTROL PLAN NUMBER

TITLE
VERTICAL INFERIOR GUIDE COMPONENT
 CONTROL DRAWING

ITEM REVISION NAME
 00716NBG

DATASET FILE NAME
 00716NBG-DS



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED,
 DIMENSIONAL TOLERANCES ARE: IN [mm]

X± .1 [2.54] XXX± .005 [.127]
 XX± .01 [.25] ANGLES: 5°

THIRD ANGLE PROJECTION

MATERIAL:
 DRAWING NUMBER:

DRAWN BY D.RODRIGUEZ	DATE 5/18/2017	CHK	SCALE 1:2	SHT 10 OF 21	SIZE A
-------------------------	-------------------	-----	--------------	--------------	-----------

00	5/18/2017					PROTOTYPE			
----	-----------	--	--	--	--	-----------	--	--	--

REV	DATE	BY	CHK	APR	DESCRIPTION	ECN
-----	------	----	-----	-----	-------------	-----

B

B

A

A

D:\101000DA\20

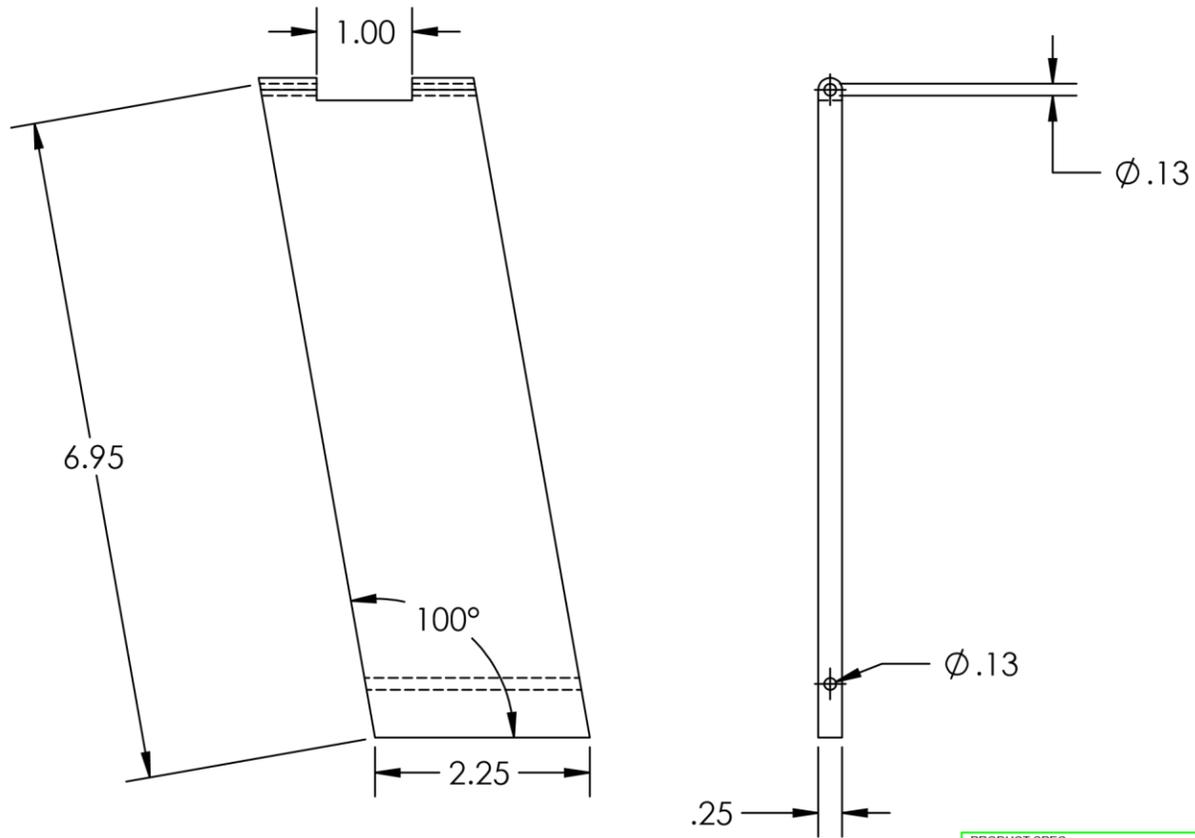
2

1

2

1

THIS COPY IS PROVIDED ON A RESTRICTED BASIS AND IS NOT TO BE USED IN ANY WAY DETRIMENTAL TO THE INTERESTS OF PANDUIT CORP.



PRODUCT SPEC	PACKAGING SPEC
PART NUMBER	WORK INSTRUCTION
INSPECTION INSTRUCTION NUMBER	FMEA & CONTROL PLAN NUMBER

TITLE
SUPERIOR VERTICAL GUIDE COMPONENT
 CONTROL DRAWING

ITEM REVISION NAME
 00716NBH
 DATASET FILE NAME
 00716NBH-DS



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED,
 DIMENSIONAL TOLERANCES ARE: IN [mm]
 X± .1 [2.54] XXX± .005 [.127]
 XX± .01 [.25] ANGLES: 5°

THIRD ANGLE PROJECTION

MATERIAL:
 DRAWING NUMBER:

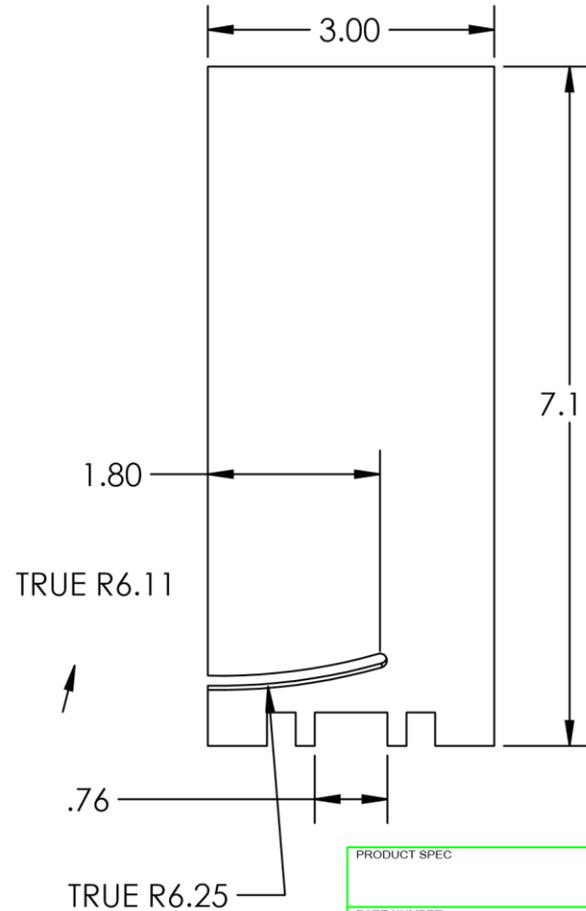
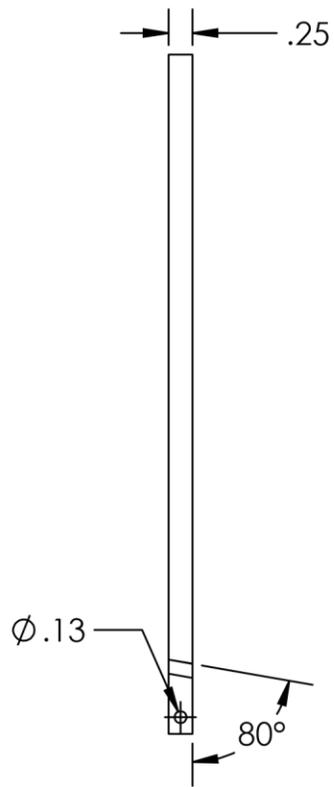
00	5/18/2017	D.RODRIGUEZ				PROTOTYPE		
----	-----------	-------------	--	--	--	-----------	--	--

REV	DATE	BY	CHK	APR	DESCRIPTION	ECN
-----	------	----	-----	-----	-------------	-----

DRAWN BY D.RODRIGUEZ	DATE 5/18/2017	CHK	SCALE 1:2	SHT 11 OF 21	SIZE A
-------------------------	-------------------	-----	--------------	--------------	-----------

D:\101000\A\20

THIS COPY IS PROVIDED ON A RESTRICTED BASIS AND IS NOT TO BE USED IN ANY WAY DETRIMENTAL TO THE INTERESTS OF PANDUIT CORP.



PRODUCT SPEC	PACKAGING SPEC
PART NUMBER	WORK INSTRUCTION
INSPECTION INSTRUCTION NUMBER	FMEA & CONTROL PLAN NUMBER

TITLE
SIDE VERTICAL GUIDE COMPONENT
 CONTROL DRAWING

ITEM REVISION NAME: 00716NBI
 DATASET FILE NAME: 00716NBI-DS



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED,
 DIMENSIONAL TOLERANCES ARE: IN [mm]
 X: $.1 [2.54]$ XXX: $.005 [.127]$
 Y: $.01 [.25]$ ANGLES: 5°

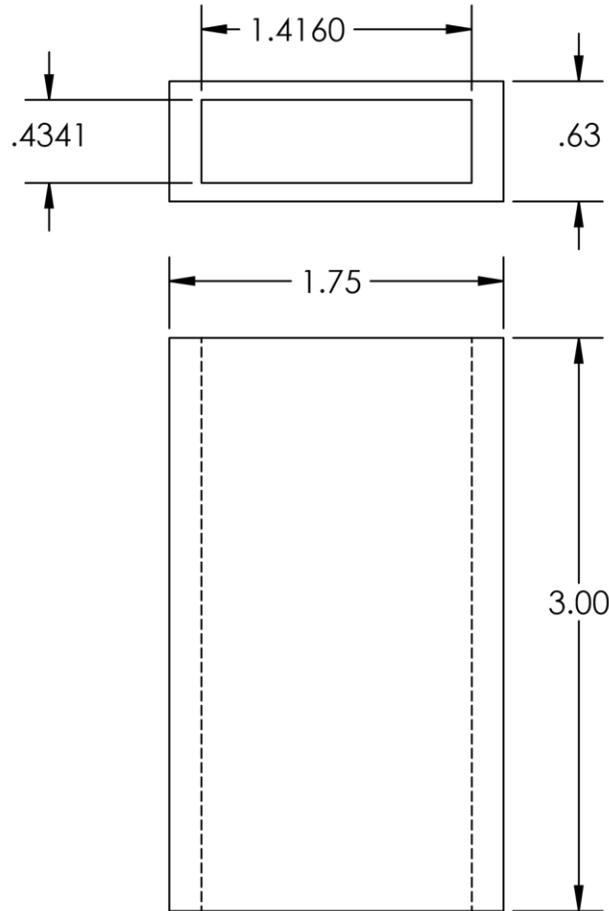
THIRD ANGLE PROJECTION

DRAWN BY: D.RODRIGUEZ	DATE: 5/18/2017	CHK:	SCALE: 1:2	SHT 12 OF 21	SIZE: A
-----------------------	-----------------	------	------------	--------------	---------

REV	DATE	BY	CHK	APR	DESCRIPTION	ECN
00	5/18/2017	D.RODRIGUEZ			PROTOTYPE	

D:\10100DA\20

THIS COPY IS PROVIDED ON A RESTRICTED BASIS AND IS NOT TO BE USED IN ANY WAY DETRIMENTAL TO THE INTERESTS OF PANDUIT CORP.



PRODUCT SPEC	PACKAGING SPEC
PART NUMBER	WORK INSTRUCTION
INSPECTION INSTRUCTION NUMBER	FMEA & CONTROL PLAN NUMBER

TITLE
STRUCTURE ARM
 CONTROL DRAWING

ITEM REVISION NAME
 00716NBN

DATASET FILE NAME
 00716NBN-DS

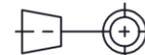


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED,
 DIMENSIONAL TOLERANCES ARE: IN [mm]

X±: .1 [2.54] XXX±: .005 [.127]
 XX±: .01 [.25] ANGLES: 5°

THIRD ANGLE PROJECTION

MATERIAL:
 DRAWING NUMBER:



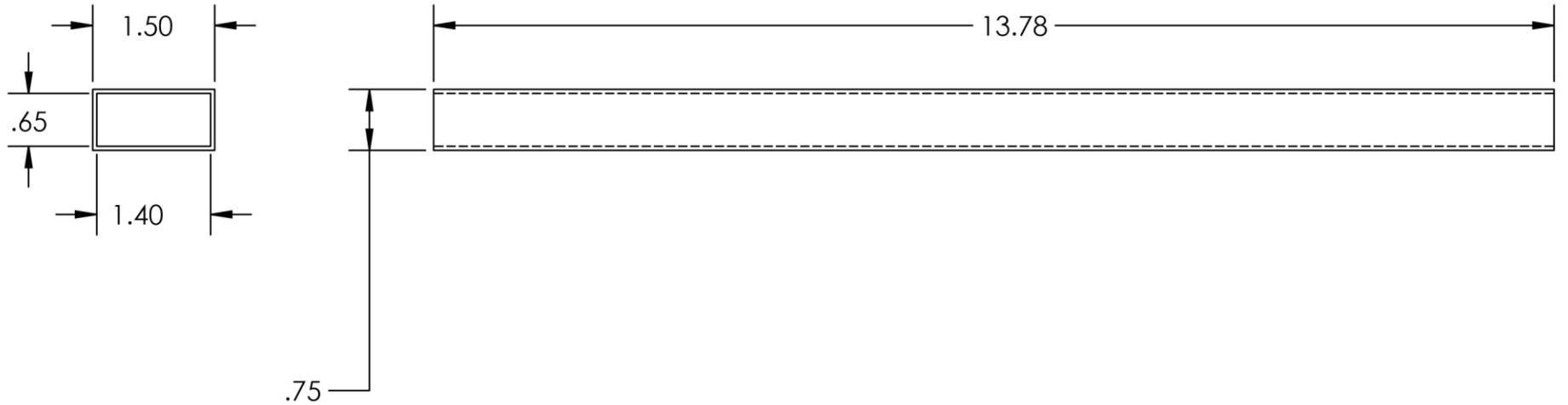
DRAWN BY D.RODRIGUEZ	DATE 5/18/2017	CHK	SCALE 1:1	SHT 17 OF 21	SIZE A
-------------------------	-------------------	-----	--------------	--------------	-----------

00	5/18/2017	D.RODRIGUEZ				PROTOTYPE		
----	-----------	-------------	--	--	--	-----------	--	--

REV	DATE	BY	CHK	APR	DESCRIPTION	ECN
-----	------	----	-----	-----	-------------	-----

D:\01000A\20

THIS COPY IS PROVIDED ON A RESTRICTED BASIS AND IS NOT TO BE USED IN ANY WAY DETRIMENTAL TO THE INTERESTS OF PANDUIT CORP.



PRODUCT SPEC	PACKAGING SPEC
PART NUMBER	WORK INSTRUCTION
INSPECTION INSTRUCTION NUMBER	FMEA & CONTROL PLAN NUMBER

TITLE
LARGE STRUCTURE ARM
 CONTROL DRAWING

ITEM REVISION NAME
 00716NBO

DATASET FILE NAME
 00716NBO-DS

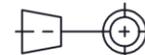


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED,
 DIMENSIONAL TOLERANCES ARE: IN [mm]

X± .1 [2.54] XXX± .005 [.127]
 XX± .01 [.25] ANGLES± 5°

THIRD ANGLE PROJECTION

MATERIAL:
 DRAWING NUMBER:



DRAWN BY D.RODRIGUEZ	DATE 5/18/2017	CHK	SCALE 1:2	SHT 18 OF 21	SIZE A
-------------------------	-------------------	-----	--------------	--------------	-----------

00	5/18/2017	D.RODRIGUEZ			PROTOTYPE		
----	-----------	-------------	--	--	-----------	--	--

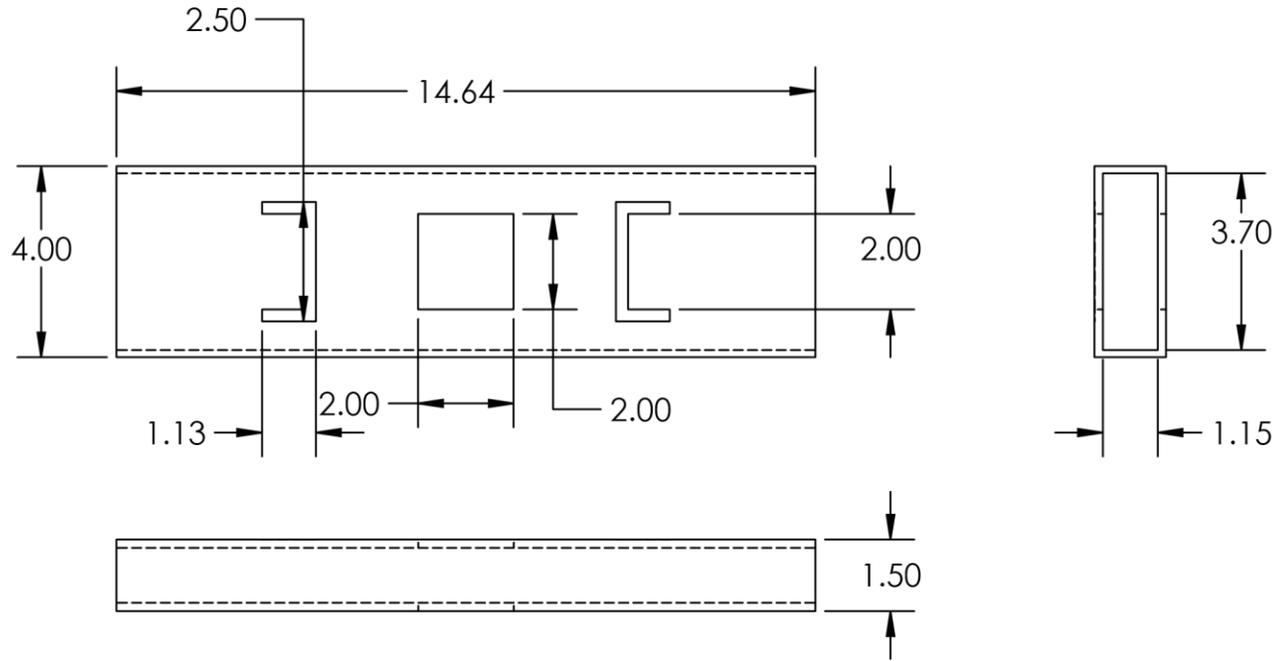
REV	DATE	BY	CHK	APR	DESCRIPTION	ECN
-----	------	----	-----	-----	-------------	-----

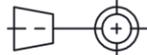
D:\01000DA\20

2

1

THIS COPY IS PROVIDED ON A RESTRICTED BASIS AND IS NOT TO BE USED IN ANY WAY DETRIMENTAL TO THE INTERESTS OF PANDUIT CORP.



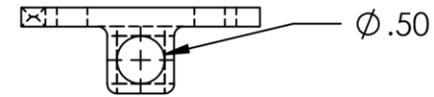
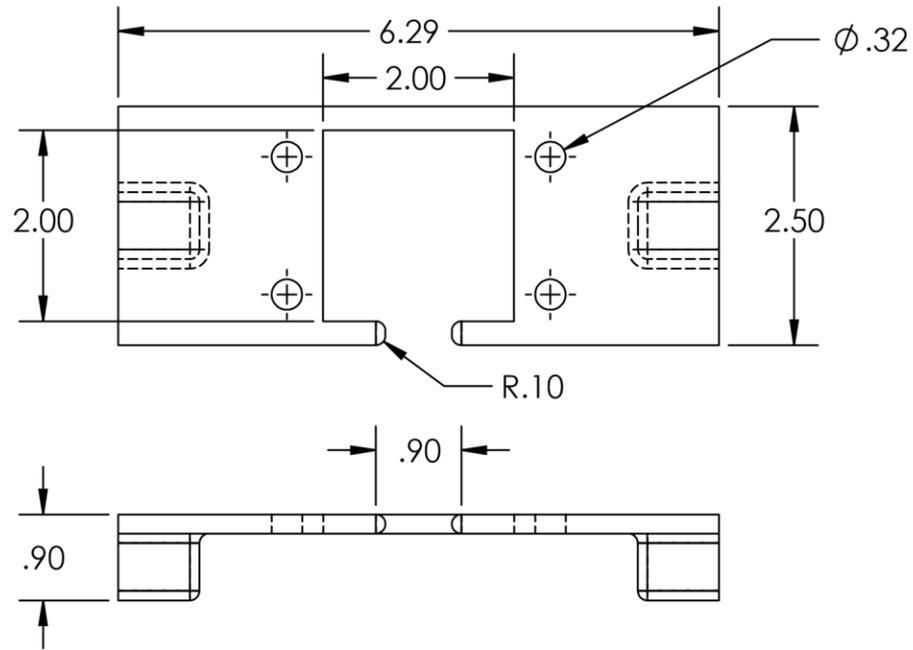
PRODUCT SPEC	PACKAGING SPEC						
PART NUMBER	WORK INSTRUCTION						
INSPECTION INSTRUCTION NUMBER	FMEA & CONTROL PLAN NUMBER						
TITLE							
STRUCTURE PLATE							
CONTROL DRAWING							
ITEM REVISION NAME	PANDUIT						
00716NBQ							
DATASET FILE NAME	MATERIAL:						
00716NBQ-DS							
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, DIMENSIONAL TOLERANCES ARE: IN [mm]							
X± .1 [2.54]	XXX± .005 [.127]						
XX± .01 [.25]	ANGLES: 5°						
 THIRD ANGLE PROJECTION							
DRAWN BY	DATE	CHK	SCALE	DRAWING NUMBER:			
D.RODRIGUEZ	5/18/2017		1:4	SHT 20 OF 21			
REV	DATE	BY	CHK	APR	DESCRIPTION	ECN	SIZE
00	5/18/2017	D.RODRIGUEZ			PROTOTYPE		A

2

1

D:\0100DA\20

THIS COPY IS PROVIDED ON A RESTRICTED BASIS AND IS NOT TO BE USED IN ANY WAY DETRIMENTAL TO THE INTERESTS OF PANDUIT CORP.



PRODUCT SPEC	PACKAGING SPEC
PART NUMBER	WORK INSTRUCTION
INSPECTION INSTRUCTION NUMBER	FMEA & CONTROL PLAN NUMBER

TITLE
PISTON SUPPORT
 CONTROL DRAWING

ITEM REVISION NAME
 00716NBR

DATASET FILE NAME
 00716NBR-DS



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED,
 DIMENSIONAL TOLERANCES ARE: IN [mm]

X: ± .1 [2.54] XXX: ± .005 [.127]
 XX: ± .01 [.25] ANGLES: 5°

THIRD ANGLE PROJECTION

MATERIAL:
 DRAWING NUMBER:

DRAWN BY D.RODRIGUEZ	DATE 5/18/2017	CHK	SCALE 1:2	SHT 21 OF 21	SIZE A
-------------------------	-------------------	-----	--------------	--------------	-----------

00	5/18/2017	D.RODRIGUEZ			PROTOTYPE															
----	-----------	-------------	--	--	-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

REV	DATE	BY	CHK	APR	DESCRIPTION	ECN
-----	------	----	-----	-----	-------------	-----

D:\10100DA\20

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

ACTA DE APROBACIÓN

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. Paula Monge Chanto

Profesor lector



Ing. Juan Carlos Jiménez Robles

Profesor lector



Msc. Marta Vilchez Monge

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Cartago, 19 de junio del 2017