

DISEÑO DE CELDA PARA MANEJO DE MATERIALES EN SISTEMA DE
MANUFACTURA FLEXIBLE

EFRAÍN ARÉVALO BERMÚDEZ

UNIVERSIDAD EAN
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN
BOGOTÁ D.C.

2013

DISEÑO DE CELDA PARA MANEJO DE MATERIALES EN SISTEMA DE
MANUFACTURA FLEXIBLE

EFRAÍN ARÉVALO BERMÚDEZ

Proyecto de grado presentado para optar el título de Ingeniero de Producción

Tutor

Ing. Luz Marina Patiño Nieto

UNIVERSIDAD EAN
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN
BOGOTÁ D.C.

2013

Nota de Aceptación

Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, Julio de 2013

Agradecimientos

A mis padres, hermanas y sobrinos, por su total apoyo e incondicional amor.

A mis amigos y compañeros por el aporte de grandes ideas.

A mi trabajo, por brindarme tantas pasiones y nuevos conocimientos que he logrado aplicar en la realización de este trabajo.

A los docentes de la Universidad EAN, por sus enseñanzas, entendimiento y apoyo ante las diferentes situaciones presentadas.

Tabla de Contenido

Lista de Tablas	1
Lista de Figuras.....	2
Resumen.....	4
Introducción	5
1. Planteamiento del Problema	7
1.1. Descripción del Problema	7
1.2. Formulación del Problema	7
2. Justificación	8
3. Objetivos.....	9
3.1. Objetivo General	9
3.2. Objetivos Específicos	9
4. Marco Teórico	10
4.1. Marco Histórico.....	10
4.2. Marco Referencial	12
4.3. Marco Conceptual	15
5. Marco Metodológico	16
6. Condiciones Iniciales.....	18
7. Sistema Mecánico.....	19
7.1. Sistema de Transporte.	19
7.1.1. Antecedentes	19

7.1.2.	Generalidades	19
7.1.3.	Piezas a transportar	21
7.1.4.	Cinta transportadora.....	22
7.1.5.	Tambores.....	25
7.1.6.	Fuerza de accionamiento.....	27
7.1.7.	Tensión.....	28
7.1.8.	Potencia mecánica tambor motriz.....	29
7.1.9.	Potencia mecánica teórica del motor	30
7.1.10.	Ancho de tambor	30
7.1.11.	Diámetro de tambor.....	31
7.1.12.	Guiado de la cinta en el tambor.....	31
7.1.13.	Tambor de cola.....	34
7.1.14.	Dispositivo tensor.....	35
7.1.15.	Base de deslizamiento	35
7.1.16.	Piezas móviles	36
7.2.	Sistema de Transmisión de Potencia.....	38
7.2.1.	Potencia de diseño.....	38
7.2.2.	Perfil de la correa	39
7.2.3.	Correa.....	40
7.2.4.	Relación de transmisión.....	40
7.2.5.	Distancia entre centros de eje	41
7.2.6.	Potencia nominal transportada.....	41
7.3.	Conjunto Estructural de Soporte	44

8.	Sistema Neumático	45
8.1.	Antecedentes	45
8.2.	Generalidades	45
8.3.	Unidad de Mantenimiento.....	46
8.4.	Cilindros Neumáticos.....	47
8.5.	Válvulas.....	51
8.5.1.	Válvulas de bloqueo	51
8.5.2.	Válvulas distribuidoras	52
8.6.	Fuente de Aire Comprimido.....	54
8.7.	Distribución del Aire Comprimido	55
8.8.	Circuito Neumático	56
9.	Sistema Eléctrico de Potencia y Control	57
9.1.	Antecedentes	57
9.2.	Generalidades	57
9.3.	Sistema Eléctrico de Potencia	58
9.3.1.	Motor eléctrico.....	59
9.3.2.	Protecciones eléctricas	61
9.3.3.	Variación de la frecuencia	66
9.3.4.	Gabinete eléctrico	67
9.4.	Sistema Eléctrico de Control.....	68
9.4.1.	Sensores	68
9.4.2.	PLC	69

9.4.3. HMI.....	69
9.4.4. Circuito de potencia y control.....	71
10. Presupuesto	74
Conclusiones	79
Recomendaciones	81
Abreviaturas	82
Bibliografía	85

Lista de Tablas

Tabla 1. Coeficiente de seguridad cinta	24
Tabla 2. Coeficiente de rozamiento entre cinta y tambor	28
Tabla 3. Recomendaciones ancho tambor	30
Tabla 4. Altura de abombado	34
Tabla 5. Coeficiente de corrección de potencia de diseño.....	38
Tabla 6. Potencia nominal transmitida por correa	42
Tabla 7. Tabla fuerza del émbolo	49
Tabla 8. Consumo de aire	50
Tabla 9. Tabla para selección de motores monofásicos	61
Tabla 10. Tabla para selección protección magnética.....	62
Tabla 11. Tabla para selección de DPS.....	64
Tabla 12. Selección de variadores de frecuencia.....	66
Tabla 13. Costo subsistema mecánico.....	75
Tabla 14. Costo subsistema neumático	76
Tabla 15. Costo subsistema eléctrico.....	77
Tabla 16. Costo celda sin diseño y ensamble.....	78

Lista de Figuras

Figura 1. Innovación de las industrias manufactureras	11
Figura 2. Relación de volúmen vs. variedad en los sistemas de producción.....	12
Figura 3. Concepto para celda de manejo de materiales.....	15
Figura 4. Método para diseño de celda para manejo de materiales.....	17
Figura 5. Mesa brazo robótico	18
Figura 6. Sistema de transporte por cinta	20
Figura 7. Cargue de piezas	22
Figura 8. Cabeza de accionamiento	26
Figura 9. Distribución de cargas	27
Figura 10. Tensión simple.....	28
Figura 11. Formas para guiado de cinta	32
Figura 12. Tensor fijo.....	35
Figura 13. Altura base a tambor	36
Figura 14. Selección de perfil.....	39
Figura 15. Relación de transmisión.....	40
Figura 16. Sistema estructural	44
Figura 17. Unidad de mantenimiento y simbología	46
Figura 18. Desviador de piezas	47
Figura 19. Cilindro neumático de simple efecto y simbología	48
Figura 20. Válvula antiretorno y simbología	52
Figura 21. Válvula de 3/2 vías y simbología	53
Figura 22. Símbolos de conexiones.....	55

Figura 23. Circuito neumático para celda de manejo de materiales.....	56
Figura 24. Tipos de corriente eléctrica	58
Figura 25. Motor jaula de ardilla	59
Figura 26. Ubicación para selección de un DPS	63
Figura 27. Recomendaciones para conexión de sistema a tierra	65
Figura 28. Disposición de aparatos en un gabinete	67
Figura 29. Sensor inductivo.....	68
Figura 30. Circuito de potencia y control.....	71

Resumen

Tomando como base cálculos de ingeniería y diversos criterios técnicos de compañías especializadas en la fabricación de componentes para FMS (Flexible Manufacturing System), se desarrolla el diseño de celda para manejo de materiales que permitirá ser integrada a la mesa de brazo robótico que posee la Universidad EAN y que le transferirá piezas clasificadas de diferente material. Se plantean sus tres sistemas principales: Mecánico, Neumático, Eléctrico de Potencia y Control, se suministran los diferentes planos de diseño con las especificaciones técnicas de los elementos constitutivos más relevantes y se proporciona un presupuesto para su construcción.

Palabras clave: celda, estación de trabajo, manejo de materiales, manufactura, flexibilidad, automatización.

Introducción

Cuando efectuar un cambio en la producción se vuelve un evento traumático que toma tiempo y nos obliga a contar con personal, no solo formado, sino con una destreza especial para su rápida ejecución y puesta a punto; surgen los FMS con el ánimo de lograr de la mano con la última tecnología una fácil, ágil y flexible adaptación de los diversos subsistemas que pueden conformar el extenso mundo de los procesos en la industria.

Las FMS “son grupos de máquinas de producción organizadas en secuencia y conectadas mediante máquinas de manejo y transferencia de materiales automatizadas e integradas a través de un sistema computarizado” (Frazier, 2000, pág. 168).

La Universidad EAN, cuenta con una mesa donde se alojará un brazo robótico que le transferirá piezas unitarias a un carro inalámbrico para que sean dispuestas en seis estaciones según su naturaleza o material de fabricación; este proyecto está dirigido al diseño de una celda para manejo de materiales que permita ser fácilmente integrada a esta mesa y cuya función sea transferir las piezas de forma organizada y clasificada.

Tomando como base parámetros de la mesa existente, se ha desarrollado el diseño de tal forma que piezas de tres materiales diferentes como: Madera, Metal y Plástico, puedan ser alimentadas de forma manual a una banda transportadora para luego ser detectadas y dispuestas según su naturaleza a través de actuadores electro-neumáticos en un encauzador que se encargará de entregarlas en la mesa existente en la Universidad EAN. La celda para manejo de materiales se ha dividido en tres subsistemas: Mecánico, Neumático, Eléctrico de Potencia y Control, los cuales se han calculado acudiendo a las diferentes formulas de ingeniería establecidas y a las recomendaciones de fabricantes especializados, de tal forma que sea fácil de ajustar e integrar

otras estaciones de trabajo. Se procede al desarrollo y entrega de planos, especificaciones, referencias de las partes seleccionadas y preparación de un presupuesto.

Este desarrollo pretende generar en alumnos, docentes y directivos de la academia, la iniciativa para implementación de herramientas tecnológicas que permitan simular y aportar una experiencia real en diferentes situaciones que se pueden presentar en la industria, donde se puedan aplicar análisis con diversos métodos y modelamientos de procesos.

1. Planteamiento del Problema

Con el desarrollo de este proyecto se busca plantear la solución más adecuada para resolver el problema descrito a continuación.

1.1. Descripción del Problema

La Universidad EAN cuenta con una mesa, un brazo robótico y un carro inalámbrico que desean ser implementados en un FMS, y requieren del cálculo y diseño de un sistema que le transfiera las piezas necesarias para su trabajo, de forma ordenada, clasificada, que sea abierto y fácil de integrar con nuevas celdas y/o sistemas; permitiendo su uso en el entorno académico para el análisis de procesos y modelos de producción.

1.2. Formulación del Problema

¿Cómo diseñar una celda versátil y abierta que permita entregar piezas a la mesa de la Universidad EAN de forma ordenada y clasificada?

2. Justificación

Me he propuesto el diseño de una celda para manejo de materiales, aplicando los cálculos de ingeniería para la concepción de sus subsistemas constitutivos: Mecánico, Neumático, Eléctrico de Potencia y Control de tal manera que sea fácil de incorporar a la mesa de la Universidad EAN y le suministre las piezas requeridas para su funcionamiento. Buscando que sea abierto, es decir que tenga la bondad de ser integrado a nuevos sistemas; versátil, que se pueda adaptar rápida y flexiblemente a nuevas configuraciones.

También se busca sensibilizar y promover su integración con los demás componentes existentes, de tal manera que redunden en el beneficio de los interesados en aplicar el uso de la tecnología e incentivar la investigación en la academia a través de la simulación de procesos y quedando abierta a la imaginación para la utilización de modelos y métodos de procesos.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Diseñar y calcular celda para manejo de materiales que permita recibir, transportar, seleccionar y posicionar piezas ligeras de diferente naturaleza y ser entregadas en la mesa del brazo robótico existente en la Universidad EAN y que sea de fácil integración en un FMS; permitiendo ser una herramienta de aprendizaje.

3.2. Objetivos Específicos

- Utilizar los cálculos de ingeniería para diseñar los subsistemas principales: Mecánico, Neumático, Eléctrico de Potencia y Control que conformarán la celda, de manera que se logre el recibo, transporte, selección y entrega de piezas ligeras.
- Proponer una configuración versátil y flexible que permita ser adaptada a la mesa existente en la Universidad EAN y a nuevas celdas y/o sistemas que a futuro se desean integrar.
- Seleccionar elementos de última tecnología y en su gran mayoría estandarizados por fabricantes.
- Entregar presupuesto que permita conocer la inversión requerida para su fabricación.

4. Marco Teórico

4.1. Marco Histórico

“La idea de un FMS se propuso en Inglaterra (1960) bajo el nombre System 24, un sistema de mecanizado flexible que pudiera operar sin operadores humanos las 24 horas del día bajo control del ordenador. Desde el principio se hizo hincapié en la automatización en lugar de la reorganización del flujo de trabajo” (University of Kentucky, 2013)

Existen diversos tópicos sobre el surgimiento de los FMS. Henry Ford antes de la segunda guerra mundial decía que la gente podría pedir cualquier color para su auto, siempre y cuando fuera negro. Sin embargo, luego de la Segunda Guerra mundial un cambio se presentaría globalmente con el descubrimiento de nuevos materiales y técnicas de producción; la apertura de los mercados internacionales y la necesidades imperiosas de los fabricantes en ser cada vez más demandantes y competitivos que la competencia, despertaron su conciencia hacía el uso de nuevas tecnologías. De esta forma empezaron a surgir ideas con la llegada de los microprocesadores, la flexibilidad y la eficiencia en la producción.

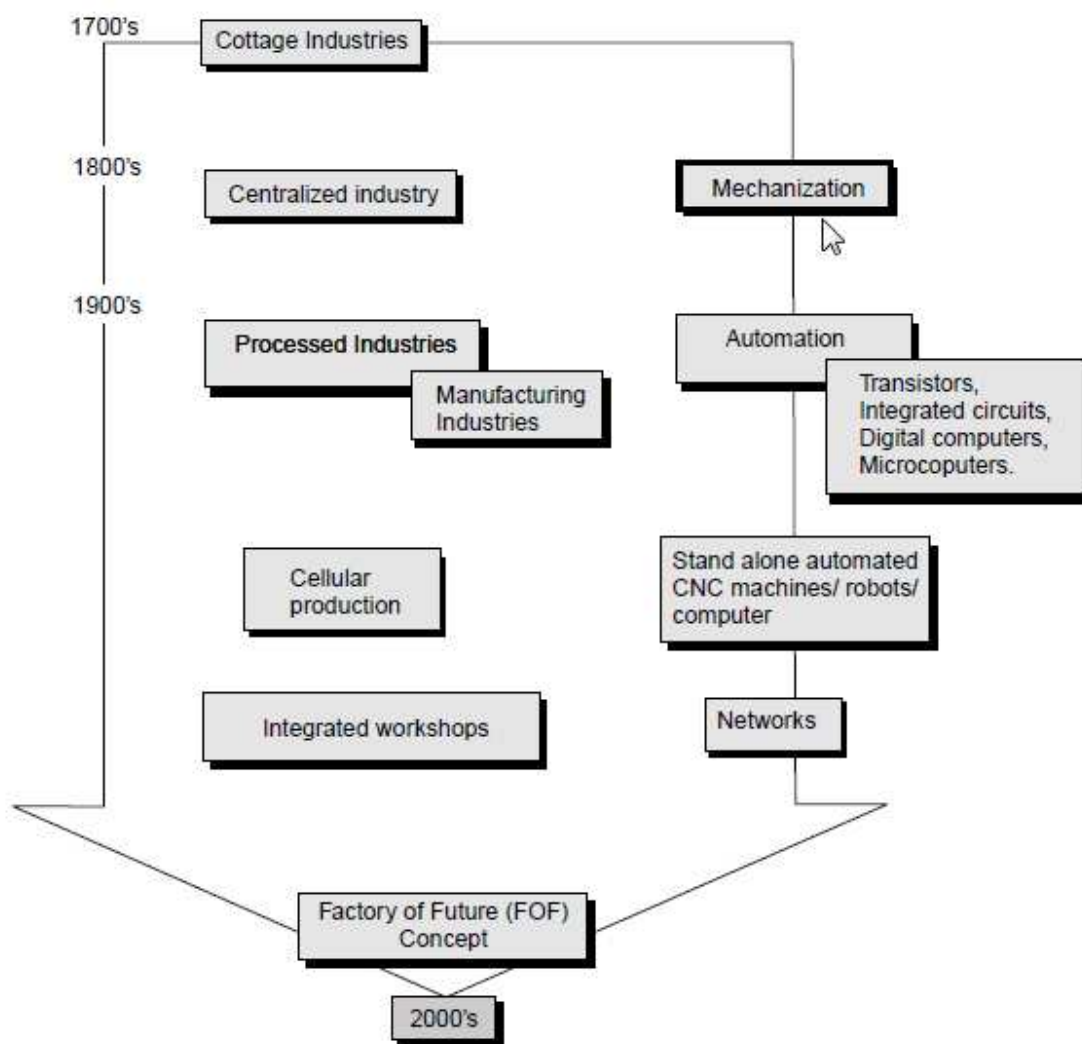


Figura 1. Innovación de las industrias manufactureras
Fuente: (Shivanand, 2006, pág. 13)

"La base de FMS instalada en todo el mundo en 1989 se estimó en alrededor de 500 a 1.200 sistemas, la cifra más alta que se produce cuando un sistema se define en tener dos o más máquinas herramientas CNC (Computer Numerical Control) conectados por un sistema de manejo de materiales, y controlado por un ordenador central. Ranta y Tchijov sugieren que esta cifra se elevará a alrededor de 2500 a 3500 para el año 2000" (Shivanand, 2006, pág. 4)

4.2. Marco Referencial

Las compañías manufactureras se han colocado en la tarea de mejorar los tiempos de respuesta en la producción, frente a la capacidad de innovación y lanzamiento de nuevos productos que demanda un mercado cada vez más globalizado.

Manufactura. “En años recientes, el uso de este término se ha ampliado para referirse a todos los tipos de equipo y sistemas de producción que brindan la capacidad de responder a las necesidades cambiantes del mercado. La flexibilidad en la manufactura es la capacidad de mejorar o mantener la penetración en el mercado.” (Frazier, 2000, pág. 179)

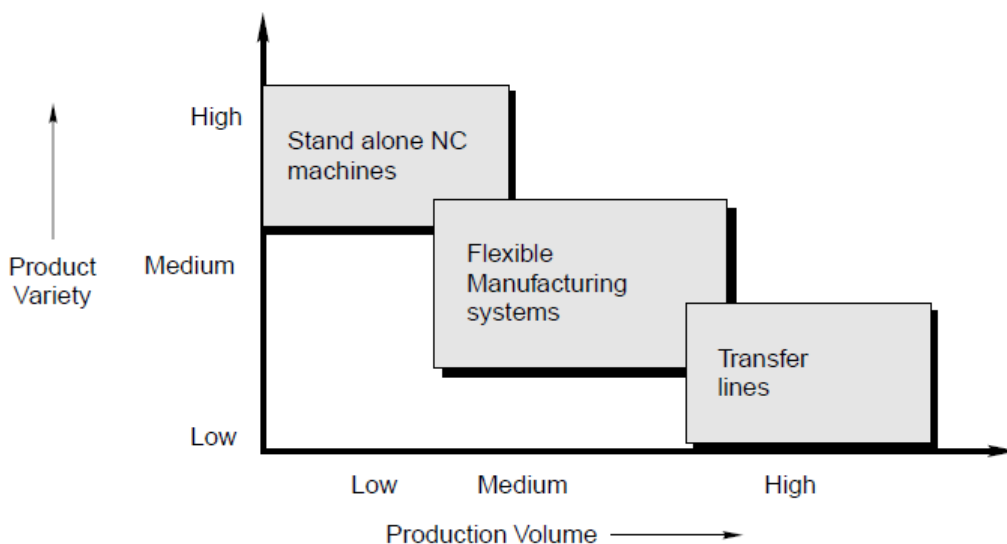


Figura 2. Relación de volumen vs. variedad en los sistemas de producción
Fuente: (Shivanand, 2006, pág. 3)

Existe con los FMS una posibilidad de acomodar cambios en el volumen de partes, mezclar productos y hacer cambios en el diseño, sin tener grandes problemas. Debido a la mayor velocidad de procesamiento de las partes, se puede reducir notablemente el inventario, especialmente si se usan los sistemas JIT (Just In Time) y MRP (Material Requirements Planning).

“Un estudio llevado a cabo con la fabricación de la Alemania Occidental ha mostrado los principales objetivos de la instalación de FMS: disminución en los plazos de entrega, incremento del rendimiento, aumento en la utilización de las máquinas, mejora de fechas debido a la fiabilidad, decrecimiento en los niveles de inventario y almacenamiento, disminución de trabajo en proceso, incremento en la calidad” (Shivanand, 2006, pág. 9)

Flexibilidad. “Dentro del dominio de los FMS, tipos heterogéneos de máquinas controladas por ordenador (robots de soldadura, máquinas de perforación, máquinas herramientas CNC, cinta transportadora, vehículo guiado automático, etc) se mezclan con los sistemas de producción puramente mecánicos” (A, 2008, pág. 1)

“Con los recursos principales, procesos flexibles y trabajadores flexibles se crearía plantas flexibles como plantas que se adaptan a los cambios en tiempo real, utilizando equipo móvil, paredes desmontables, de fácil acceso y servicios redireccionables” (Shivanand, 2006, pág. 8)

Automatización. “Técnicamente, la plataforma es un todo-en-uno donde sensores, actuadores y hardware de comunicación, contienen la ejecución de la plataforma (CPU Central Processing Unit, memoria, interfaces estandarizadas)... La comunicación inalámbrica (basada en protocolos IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers 802.11 y IEEE 802.15) sirve para apoyar la comunicación con sistemas cercanos” (A, 2008, pág. 3)

“La experiencia industrial nacional e internacional denota varias consideraciones que direccionan cómo acometer el proyecto de automatización, destacándose algunas pautas como el mejoramiento de estándares de calidad, la reducción de pérdidas en producción, el incremento de la repetitividad y la estabilidad de los procesos de manufactura, reducción del trabajo físico, obtención de mayor continuidad de la producción en días feriados, mejoramiento de la relación costo – beneficio, el predominio de visión abierta para dimensionar la necesidad, y selección de

la oferta técnica y económica más viable en términos de tecnología de automatización” (Córdoba, 2006)

Academia. “El Centro Tecnológico de Automatización Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana, se amplió a principios del año 2004, el sistema de manufactura flexible mediante la incorporación de nuevas estaciones integradas con el objetivo de desarrollar proyectos de investigación y generar nuevos conocimientos en los temas relacionados con la manufactura de producto en ambientes automatizados” (Fúquene, 2013, pág. 60)

La Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada RENATA y la red de Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas CLARA con participación de Colciencias, la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de los Andes, la universidad Autónoma de Occidente, el Instituto Tecnológico y de Estudios Tecnológicos de Monterrey y la empresa privada, desarrollaron en el año 2008-2009 proyecto que permite la integración “por medio de aplicativos en realidad virtual, telecontrol y supervisión por internet” (Duque, 2013) de diferentes celdas de manufactura automatizadas.

4.3. Marco Conceptual

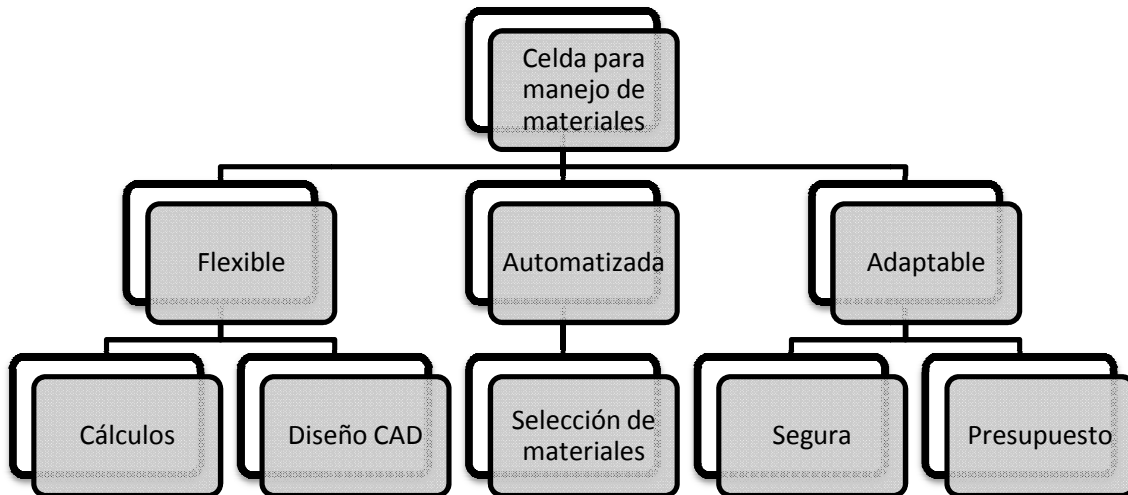


Figura 3. Concepto para celda de manejo de materiales
Fuente: (Autor)

En síntesis lo que se busca es plantear con base en formulas y recomendaciones de fabricantes, el diseño CAD (Computer Aided Design) y selección de las partes para la celda que permitirá el recibo, transporte y selección de materiales de una forma segura y contar con la idea de cuánto puede ser el presupuesto para su fabricación. Esta celda debe ser flexible, automatizada y se debe permitir adaptar a nuevos sistemas.

5. Marco Metodológico

Para el diseño de máquinas se pueden encontrar varias metodologías de las cuales depende su aplicación y complejidad. Para nuestro caso emplearemos la metodología propuesta por (Ertas, 1997) quien describe que en general el proceso de diseño de ingeniería tiene diez etapas o pasos, de las cuales los siete primeros caben dentro de lo que se conoce como diseño preliminar. Para estas etapas se han compilado y seleccionado distintas formulas para cálculo, recomendaciones, catálogos y tablas de selección, descritas por fabricantes especializados las cuales han sido adaptadas de acuerdo con cada caso o subsistema.

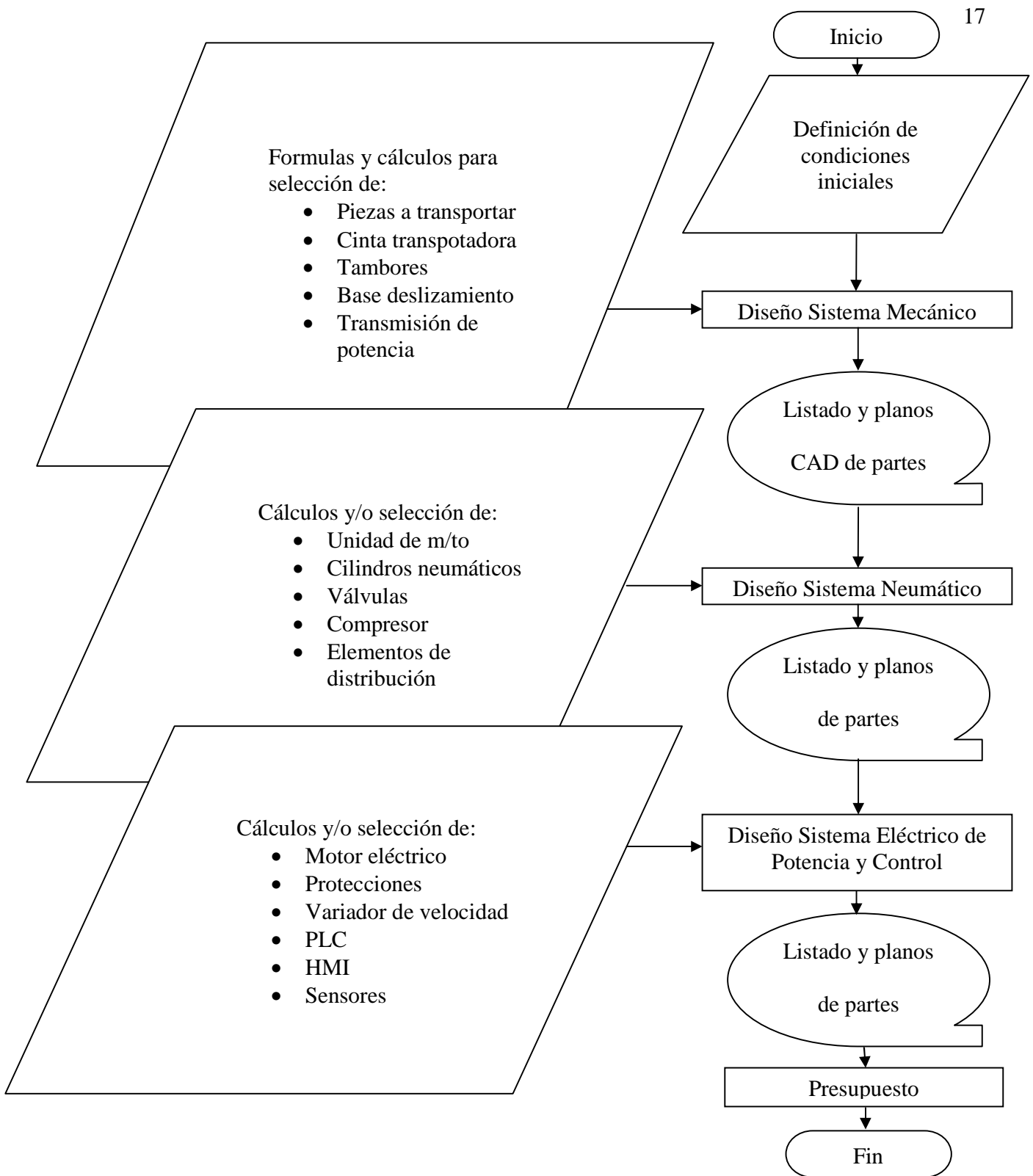


Figura 4. Método para diseño de celda para manejo de materiales
Fuente: (Ertas, 1997)

6. Condiciones Iniciales

Considerando la geometría con la cual fue fabricada la mesa de la Universidad EAN, partiremos para tomar los datos iniciales bajo las cuales deberá estar sujeto el diseño de la celda para manejo de materiales, por medio de la cual se alimentará de piezas la plataforma de recibo y posteriormente serán tomadas por el brazo robótico y dispuestas en el carro inalámbrico.

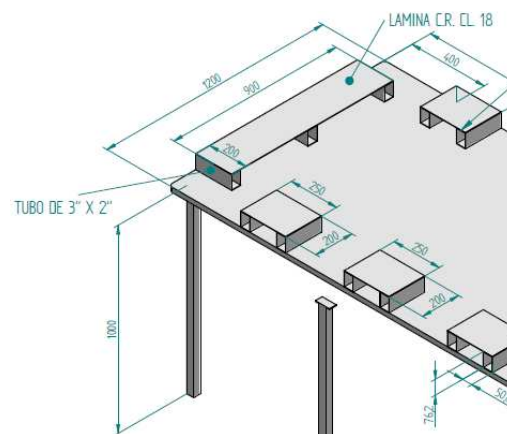


Figura 5. Mesa brazo robótico
Fuente: (Universidad EAN)

De acuerdo con este, se tienen las siguientes condiciones:

- Altura para entrega de piezas en la mesa ($h_m = 1,07 \text{ m}$)
- Ancho de la mesa para entrega de piezas ($w_m = 0,90 \text{ m}$)
- Mínimo desplazamiento de brazo robótico ($x_{<b} = 0,10 \text{ m}$)
- Máximo desplazamiento de brazo robótico ($x_{>b} = 0,28 \text{ m}$)
- Medida de las piezas a transportar ($0,03 \times 0,03 \times 0,03 \text{ m}$)
- Velocidad mínima de piezas a transportar ($v_{min} = 1 \text{ pieza / min}$)
- Velocidad nominal de piezas a transportar ($v_n = 2 \text{ piezas / min}$)
- Velocidad máxima de piezas a transportar ($v_{max} = 3 \text{ piezas / min}$)

- Señal libre de potencial para lazo de control con brazo robótico: (*NA/NC = Contacto Normalmente Abierto/ Normalmente Cerrado*)
- Tensión de alimentación: (*t: 110 Vac*)

7. Sistema Mecánico

Iniciaremos con el planteamiento de las formulas básicas y algunos cálculos requeridos para construir un sistema de transporte con su sistema mecánico para la transmisión de potencia.

7.1. Sistema de Transporte.

7.1.1. Antecedentes

“Transportadores de banda primitivos fueron fabricados desde el siglo XIX en 1901, Sandvik comenzó la producción de transportadores de banda de acero en 1913, Henry Ford introdujo líneas de producción basadas en transportadores de banda en la fábrica de Ford Motor Company de Dearborne, Michigan” (Wikipedia, 2013)

Desde su uso los sistemas de transporte han permitido al hombre realizar el movimiento de materiales de un lugar a otro disminuyendo sus esfuerzos con la posibilidad de enviar grandes volúmenes a través de largas distancias y terrenos de diferentes inclinaciones, optimizando tiempos y garantizando que los materiales transportados no se deterioren.

7.1.2. Generalidades

Los sistemas de transporte continuo son usados actualmente en diversas aplicaciones, por ejemplo: en el sector industrial son usadas para el movimiento de materiales a granel o productos unitarios, en el sector infraestructura para el movimiento de equipajes en aeropuertos y movimiento de personas en hospitales; brindando una forma rápida, segura y económica. La asociación de fabricantes de equipos transportadores CEMA según sus siglas en inglés, aborda su

análisis de ingeniería, formulas, información sobre seguridad y casos de éxito. Existen aplicaciones con procesos y materiales específicos que requieren de diseños especializados.

Encontramos diferentes sistemas de transporte que son seleccionados de acuerdo con su aplicación:

- Transportador de tornillo.
- Transportador de rodillos.
- Transportador de cadena.
- Transportador de cangilones.
- Transportador de suelo móvil.
- Transportador de banda o cinta.

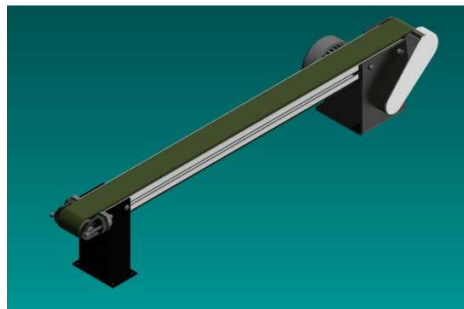


Figura 6. Sistema de transporte por cinta
Fuente: (Autor)

Para el desarrollo de la celda, realizaremos el diseño y selección de un sistema de transporte horizontal por medio de banda o cinta para piezas unitarias. A continuación se describirán cada una de sus partes componentes, incluyendo cálculos de diseño y selección.

7.1.3. Piezas a transportar

Para nuestro caso tendremos tres (3) materiales de diferente naturaleza y densidad teórica

(ρ):

- Madera: ($\rho = 480 \text{ Kg/m}^3$)
- Metal: ($\rho = 7874 \text{ Kg/m}^3$)
- Plástico: ($\rho = 905 \text{ Kg/m}^3$)

De acuerdo con las condiciones iniciales, tendremos piezas a transportar de $0,03 \times 0,03 \times 0,03 \text{ m}$

$$V = h_c * w_c * d_c$$

$$m_n = \rho * V$$

De donde,

V : Volumen de la pieza (m^3)

h_c : Altura cubo (m)

w_c : Ancho cubo (m)

d_c : Profundo cubo (m)

m_n : Masa de la pieza transportada (Kg)

ρ : Densidad material (Kg/m^3)

Reemplazando, se obtiene:

m_n madera: $0,01 \text{ Kg}$

m_n metal: $0,21 \text{ Kg}$

m_n plástico: $0,02 \text{ Kg}$

El cargue de las piezas a transportar se debe realizar en el mismo sentido en que circula la cinta y a velocidad similar, en lo posible se trata de evitar los impactos al caer la carga, el movimiento de las piezas y la cinta. Se pueden usar elementos encauzadores que guíen las piezas de forma centrada y la entreguen a la cinta sin mayor impacto.

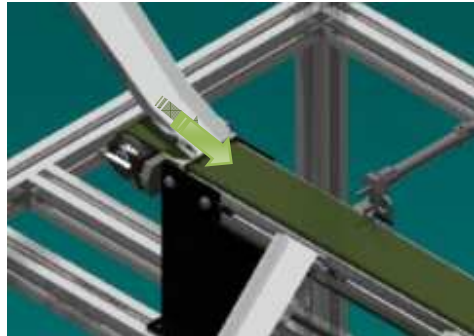


Figura 7. Cargue de piezas
Fuente: (Autor)

7.1.4. Cinta transportadora

Las cintas de transporte ligeras con estructura de tejido cumplen la norma internacional ISO (International Organization for Standardization) 21183-1 cintas transportadoras ligeras, parte 1: Características y aplicaciones principales; utilizadas, principalmente, para el transporte en interiores de cargas unitarias, como productos industriales de cualquier tipo y alimentos, paquetes, cajas, jaulas, latas, contenedores, equipaje, etc. (Habasit, 2010)

El fabricante (Habasit, 2010), menciona que estas cintas son fabricadas de tejidos formados por varias estructuras y capas sintéticas. Para la parte estructural son usados materiales como poliésteres, poliamidas o aramidas y son unidas por medio de agentes adhesivos o capas intermedias de materiales termoplásticos como TPU (Thermoplastic Polyurethane), TPO (Thermoplastic Olefin), PVC (Polyvinyl Chloride) o alástómeros como caucho, PUR (Polyurethane), etc. La unión de la cinta se puede lograr por medio de soldaduras (unión térmica) o con empalmes metálicos (unión mecánica).

Los fabricantes ofrecen una amplia gama de cintas que son seleccionadas según su aplicación y la naturaleza de los materiales a transportar. Por ejemplo: líneas de empaque, productos higiénicos, productos a granel, fabricación de vidrio, productos farmacéuticos, transferencia de partes, vacío, impresión, etc.

Las fuerzas transversales que actuarán en la cinta deben ser lo más bajas posibles para que su acción no afecten el curso de la cinta y se desalinee. En esta zona de desvío la cinta se someterá a elevados esfuerzos mecánicos, por lo cual se recomienda instalar cinta con bajo coeficiente de fricción, elevada resistencia a la abrasión y alta rigidez transversal.

La cinta a seleccionar debe cumplir condiciones mecánicas, térmicas y químicas apropiadas para que el funcionamiento del sistema sea efectivo. Para nuestra aplicación, por tratarse de piezas unitarias sólidas y pequeñas, las características más relevantes de la cinta serán:

Características para su selección.

- Cinta plana
- Alta resistencia
- Bajo estiramiento
- Suave y uniforme funcionamiento
- Sin vibraciones
- Uso con tambores de diámetro pequeño
- Borde sellado sin hilachas
- Fácil guiado
- Sin necesidad de lubricar
- Pequeño radio de flexión
- Resistente al aceite y al corte

- Para ambientes severos

Ancho de cinta. Según el ancho máximo de las piezas a transportar se escoge el ancho de cinta, se recomienda usar una medida estándar para recambio y de fácil consecución en el mercado local. Para nuestro sistema se ha seleccionado:

B : Ancho cinta (0,05 m)

Espesor de cinta. De acuerdo con las especificaciones de la cinta seleccionada (Ver Anexo A). Se toma el espesor estándar que cumpla con el ancho de la cinta.

E : Espesor cinta (0,003175 m)

Longitud de cinta. De acuerdo con los parámetros iniciales, tomaremos como medida la longitud de la mesa donde se desean entregar las piezas seleccionadas. (Ver figura 5).

l : Longitud cinta (1700 mm)

Número de capas. Nuestro sistema consta de cinta fabricada con estructura de tejido, para conocer el número de capas, tomamos los datos que nos suministra en fabricante y se aplican en la ecuación:

$$z = \frac{S * T_m}{100 * B * R}$$

Donde,

S : Coeficiente de seguridad según *DIN (Instituto Alemán de Normalización) 22101*

Tabla 1. Coeficiente de seguridad cinta

Número de capas (z)	de 3 a 5	de 6 a 9	más 9
Coeficiente de seguridad (S)	11	12	13

Fuente: (Universidad carlos III de madrid, 2013)

T_m : Tensión máxima de la cinta (1648 Kgf)

B: Ancho cinta (0,05m)

R: Resistencia nominal de capa (1100 *Kgf/m*)

Remplazando hallamos:

z: Número de Capas (3 *Uni.*) (Tabla No. 1)

7.1.5. Tambores

Tambor motriz. “La función principal del tambor motriz es la de transferir la fuerza tangencial desde el sistema de accionamiento hasta la cinta transportadora” (Habasit, 2010)

Una transmisión de potencia efectiva depende de la fricción entre las superficies de la cinta y el tambor motriz. Factores como la humedad, el aceite, la grasa, el óxido, la suciedad y partículas del producto transportado, pueden reducir la fricción y producir un potencial de deslizamiento. Esta fuerza aplicada al tambor motriz debe ser transmitida a la banda por rozamiento sin que se produzca deslizamiento. Puede diseñarse de forma cilíndrico-cónica para que produzca un efecto auto-centrante. Los tambores cilíndricos no ejercen ningún efecto de centrado sobre la cinta.

Accionamiento de cabeza. Este tambor aporta el accionamiento de cabeza es decir que este tira de la cinta por el lado portante, sometiendo la cinta a menor estrés y disminuyendo la transmisión de fuerzas al tambor de cola y rodamientos. El tambor motriz forma parte del sistema de transmisión de potencia, el cual acoplado a un eje y por medio de poleas unidas por correa de potencia, transmitirá el movimiento aportado por un motor eléctrico.

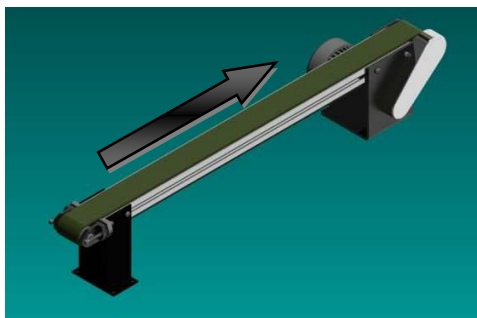


Figura 8. Cabeza de accionamiento
Fuente: (Autor)

7.1.6. Fuerza de accionamiento

Distribución de la carga para calcular la fuerza tangencial máxima.

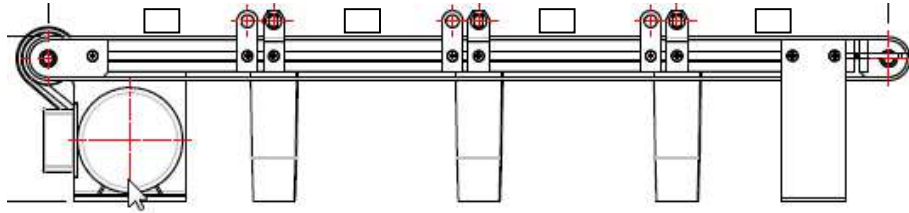


Figura 9. Distribución de cargas
Fuente: (Autor)

Se puede usar la siguiente ecuación:

$$F = \mu * g (m_1 + m_2 + m_n)$$

Donde,

μ : Coeficiente de rozamiento entre la cinta y el tambor motriz 0,30, (Tabla No. 2)

g : Aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$)

m_n : Masa de la pieza transportada (Kg), donde tomaremos la masa del material más pesado

Reemplazamos y obtenemos:

F : Fuerza de accionamiento en el tambor motriz ($1,88 \text{ Kg}$)

Tabla 2. Coeficiente de rozamiento entre cinta y tambor

Condiciones del Tambor	Condiciones del Ambiente	Valor de μ
Sin recubrir	Mojado	0,10
	Húmedo	0,10 ÷ 0,20
	Seco	0,30
Recubierto	Mojado	0,25
	Húmedo	0,25 ÷ 0,30
	Seco	0,35

Fuente: (Kauman, 2013)

7.1.7. Tensión

Las tensiones de entrada y salida en un solo tambor de accionamiento, están dadas por la ecuación de *Euler - Eytelwein* (en usencia de deslizamiento):

$$\frac{T_1}{T_2} \leq e^{\mu\phi}$$

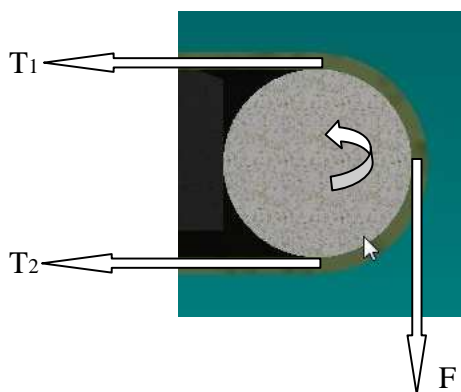


Figura 10. Tensión simple
Fuente: (Autor)

Tensiones mínimas cuando se llegue al límite de adherencia entre cinta y tambor, en cuyo momento la ecuación se convierte en igualdad:

$$T_1 = T_2 + F$$

De estas dos ecuaciones, resulta:

$$T_1 = F \left(1 + \frac{1}{e^{\mu\varphi} - 1} \right)$$

$$T_2 = F \left(\frac{1}{e^{\mu\varphi} - 1} \right)$$

Donde,

F : Fuerza de accionamiento en el tambor motriz (1,88 Kg)

e : Base de los logaritmos Neperianos (2,7182)

μ : Coeficiente de rozamiento entre la cinta y el tambor motriz 0,30

φ : Ángulo del tambor motriz abrazado por la cinta (π Radianes)

Reemplazando se obtiene:

T_1 : Tensión de la cinta a la entrada en tambor motriz (3,1 Kg)

T_2 : Tensión de la cinta a la salida del tambor motriz (1,2 Kg)

7.1.8. Potencia mecánica tambor motriz

Se halla por medio de la ecuación:

$$P_A = \frac{F * v}{1000}$$

Donde,

v : Velocidad de la banda (0,02 m/s)

Hallamos,

P_A : Potencia mecánica del tambor motriz (0,0000375 KW)

7.1.9. Potencia mecánica teórica del motor

$$P_M = \frac{P_A}{\eta}$$

Donde,

η : Eficiencia motor (0,8)

Hallamos,

P_M : Potencia teórica del motor (0,0000469 KW)

La potencia requerida del motor eléctrico que se requiere para mover el sistema mecánico de la banda transportadora es muy pequeña, por lo tanto no será problema en el momento de la selección del motor.

7.1.10. Ancho de tambor

Para que la cinta tenga pleno contacto con el tambor y se aproveche su tensión, se debe dimensionar un tambor ancho. Recomendaciones sobre el ancho de tambor:

Tabla 3. Recomendaciones ancho tambor

Ancho cinta B	Ancho tambor b
$B \leq 100 \text{ mm}$	$b = B + 20 \text{ mm}$
$B > 100 \text{ mm}$	$b = (1,08 * B) + 12 \text{ mm}$

Fuente: (Habasit, 2010)

Donde,

B : Ancho cinta (50,8 mm)

Aplicando,

b : Ancho tambor (54 mm) Tomado de acuerdo a las restricciones de espacio que tenemos.

7.1.11. Diámetro de tambor

Es un factor importante ya que nos permite determina el grado de esfuerzo al que va a estar sometida la cinta en las flexiones que provoca su paso. El diámetro del tambor motriz será calculado sin tener en cuenta capas de recubrimiento de goma, cerámica, o cualquier otro material que le de mayor resistencia al desgaste y mejor adherencia. La superficie de contacto entre la cinta y el tambor motriz ha de ser la suficiente para dar la fuerza de accionamiento necesaria evitando un tensionado excesivo (A mayor diámetro, más esfuerzo a transmitir).

Según las especificaciones y el tipo de las cintas, los fabricantes recomiendan el menor diámetro de los tambores. Con ello se logra una larga vida a la cinta.

d: Diámetro mínimo del tambor motriz (35 mm)

7.1.12. Guiado de la cinta en el tambor

Para lograr un excelente guiado de cinta se deben analizar diferentes circunstancias para ser tomadas en cuenta en el momento del diseño. Se presentan influencias externas sobre la cinta que alteran su alineación y posición central, como las fuerzas transversales y otras de especial incidencia según la aplicación y las condiciones de funcionamiento. Se debe garantizar una estructura rígida y estable, tambores con ajuste en ángulo recto respecto al eje de funcionamiento de la cinta, las partes en contacto con la cinta deben ser protegidas y de fácil limpieza.

Es importante que el sistema de transporte cuente con un método para mantener la cinta centrada. Hay diferentes métodos para realizar el guiado de la cinta por ejemplo suelen usarse rodillos guía, rodillos inclinados por el lado de retorno, rodillos portantes oscilantes, perfiles de guiado, guiado por control automático, enrollamiento de cinta adicional, rodillos portantes con recubrimiento adhesivo, rodillos cilíndrico-cónicos, rodillos oscilantes en lado portante,

escaneado de cinta combinado con rodillo portante oscilante, listones guía laterales y rodillos guía. Todo depende de la aplicación y ciertas condiciones que se deben identificar previamente.

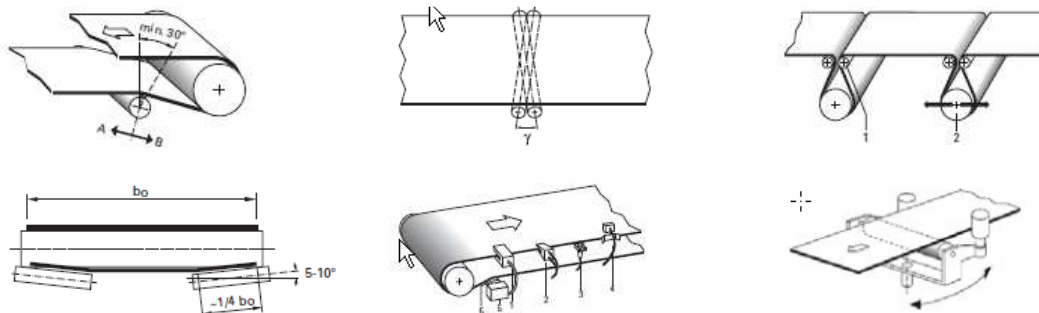


Figura 11. Formas para guiado de cinta

Fuente (Habasit, 2010)

El guiado se puede realizar también a través de tambores estriados o con surcos, pero poco se recomienda ya que producen problemas debido al desgaste excesivo que se presenta en la superficie accionada de la cinta.

En nuestro caso, la cinta se desplaza por medio de tambores cilíndricos los cuales se encuentran en ángulo recto respecto al sentido de marcha y las fuerzas que actúan sobre la cinta son paralelas al sentido de marcha. No se ejercerán fuerzas de guiado sobre la cinta. Los dos tambores deberán ser posicionados adecuadamente en ángulo recto con respecto al eje del sentido de marcha. Para que exista efecto de auto-guiado dispondremos de tambor cilíndrico-cónico, si se presenta deslizamiento variable o si invierte el sentido de marcha, la cinta se centra sin la necesidad de ajustes al eje.

“La cinta tiende a desplazarse hacia el punto más elevado del diámetro del tambor los extremos cónicos la dirigen permanentemente hacia el centro del tambor... Si la cinta se desplaza hacia algún lado, las fuerzas de centrado aumentan según crece el área de contacto y a la inversa, las fuerzas de guiado en el otro extremo se reducen. Consecuentemente la fuerza resultante dirige la cinta de nuevo a su posición central sobre el tambor, donde las fuerzas de

centrado se equilibran en cada lado... La forma abombada que corresponde a la relación de las partes cónicas respecto a la parte cilíndrica y a la altura de abombado (Conicidad), se expresa en las siguientes ecuaciones:" (Habasit, 2010)

Para $B \leq 2000 \text{ mm}$:

$$b_c = \frac{B}{2}$$

Para $B > 2000 \text{ mm}$:

$$b_c = B - 1000 \text{ mm}$$

Donde,

B : Ancho de cinta (50,8 mm)

d : Diámetro del tambor (35 mm)

h_a : Altura del abombado (mm)

Hallamos,

b_c : Longitud de la parte cilíndrica (25,4 mm)

La altura del abombado requerida para guiar una cinta transportadora depende de la flexibilidad lateral de la cinta y de la fricción entre la cinta y el tambor. (Habasit, 2010)

Algunos fabricantes recomiendan una altura de abombado de 2 a 3 mm para cintas de 2 capas, estas indicaciones se deben emplear con respecto a las recomendaciones sobre el ancho del tambor:

$$h_a = 0,001 * d + 0,075$$

Los valores resultantes para las cintas transportadoras frente a los tambores de acero, se listan en la siguiente tabla:

d	≤ 50	100	150	200	250
h	0,25 a 0,4	0,35 a 0,5	0,45 a 0,7	0,55 a 0,8	0,65 a 1,0

d	300	350	400	450	500
h	0,75 a 1,1	0,85 a 1,3	0,95 a 1,4	1,05 a 1,6	1,15 a 1,7

Tabla 4. Altura de abombado
(Habasit, 2010)

Los valores se consideran suficientes para cintas transportadoras ligeras con estructura de tejido, la norma 402 de CEMA ha sido pensada para cintas pesadas y gruesas, por lo cual los valores recomendados por la tabla de arriba, pueden diferir.

“Una altura de abombado excesiva puede provocar efecto de pérdida del efecto de guiado, ya que la cinta no se adapta suficientemente a los extremos cónicos, provocando el plegado longitudinal de la cinta y en algunos casos el solape de la cinta. Para el caso de citas muy delgadas de una sola capa o en aplicaciones con tambores revestidos, se recomienda reducir la altura de abombado hasta el 50% de los valores mencionados” (Habasit, 2010)

7.1.13. Tambor de cola

“En transportadores simples de dos tambores normalmente son diseñados de forma cilíndrica. En sistemas con una relación del tamaño del transportador superior a un valor 5:1 (longitud del transportador respecto al ancho de banda) se recomienda que sea cilíndrico-cónico, así la cinta se puede mantener en su posición central, siempre y cuando no exista una excesiva deflexión en los tambores” (Habasit, 2010)

7.1.14. Dispositivo tensor

Existen diferentes formas de realizar la tensión de la cinta, entre ellos encontramos tensores de fuerza constante y tensores fijos (Ver figura 12). Estos últimos son usados donde no se requiere ajustar o compensar la longitud durante el funcionamiento de la banda, salvo si existiera movimiento reversible con carga plena. El dispositivo tensor es colocado en el tambor de cola y su desplazamiento es paralelo al eje de la cinta o a su sentido de marcha; se puede realizar ajustar manualmente, también se pueden colocar cilindros neumáticos o hidráulicos, incluso servomotores para lograr una posición de reglaje fija y precisa.



Figura 12. Tensor fijo
Fuente: (Autor)

7.1.15. Base de deslizamiento

Juega un papel importante en el diseño de bandas planas ya que las piezas transportadas se apoyarán con mayor estabilidad sobre la cinta e influyendo en el guiado de la cinta. La cinta seleccionada debe ser de un material apropiado para la base deslizante, por su ruido de funcionamiento, coeficiente de fricción y la vida útil de la cinta. El material de la base también debe ser resistente a la abrasión, resistente a la corrosión, con un buen acabado superficial; suele usarse láminas de acero decapadas, plásticos, maderas y cartones recubiertos con resinas fenólicas.

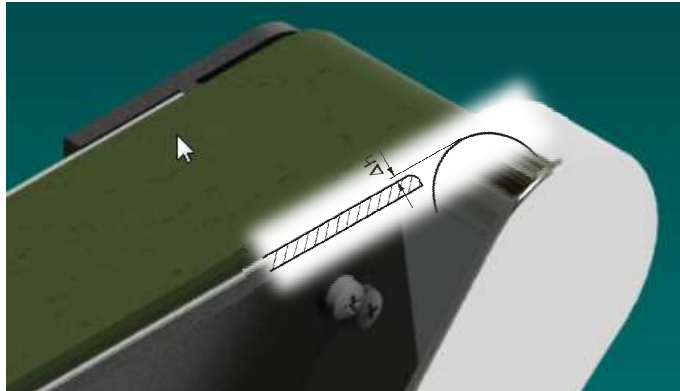


Figura 13. Altura base a tambor
Fuente: (Autor)

El borde de la base debe ser redondeado y estar más bajo de la superficie del tambor:

$$\Delta h = 2 \text{ mm aprox.}$$

Se debe contemplar en su diseño un mecanismo de fijación que no supere la superficie de deslizamiento; la base debe ser alineada con precisión con respecto al sentido de marcha de la cinta, nivelándose de tal manera que no se presenten inclinaciones para que la cinta no se salga. Periódicamente se debe realizar limpieza a los tambores, la cinta y la base de deslizamiento para reducir problemas de rendimiento del sistema, así como el rompimiento de la cinta, fallas en la marcha, mayor coeficiente de fricción, mayor grado de humedad que presente adhesión aumentando la demanda de energía.

7.1.16. Piezas móviles

Cálculo de *masa total* (M_t) de las partes móviles, por medio de la ecuación:

$$M_t = M_c + M_r + M_{tb}$$

M_c : Masa Cinta (1,2 Kg)

M_r : Masa rodillos (0 Kg)

M_{tb} : Masa tambores (2, 3 Kg)

Mt : Masa total (3.5 Kg)

Peso de las partes móviles por la longitud de la banda:

$$Pt = \frac{Mt}{l}$$

l : Longitud cinta (1,7 m)

Pt : Peso partes móviles (2,06 Kg/m)

7.2. Sistema de Transmisión de Potencia

7.2.1. Potencia de diseño

Las máquinas presentan formas particulares en su funcionamiento y para obtener la potencia de diseño se debe considerar la aplicación y el motor utilizado. Para ello se debe aplicar un factor de servicio C_1 que aumenta la potencia a transmitir:

Tabla 5. Coeficiente de corrección de potencia de diseño

Tipo de Máquina	C_1
Agitador de líquido Ventilador pequeño o mediano Bomba centrífuga	1,0 a 1,2
Mezclador Generador Compresor tornillo Prensa Punzonador Criba vibratoria	1,1 a 1,3
Elevador Compresor de pistón Ventilador grande Máquina textil Máquina herramienta	1,2 a 1,4
Malacate Molino Transportador	1,3 a 1,5

Fuente: (Hamrock, 2000)

$$P_d = C_1 * P_m$$

Donde,

C_1 : Factor de servicio (1,5)

P_M : Potencia teórica del motor (0,0000469 KW)

Hallamos,

P_d : Potencia de diseño (0,00007KW)

7.2.2. Perfil de la correa

Hallada la potencia de diseño y con la velocidad del eje más rápido que frecuentemente es la del eje del motor o conductor, nos ubicamos en el gráfico y obtenemos la sección de la correa que se recomienda usar.

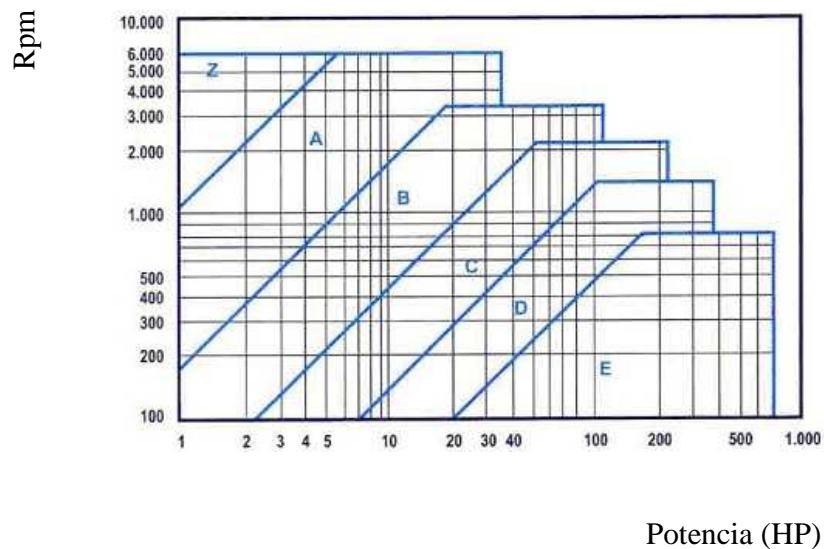


Figura 14. Selección de perfil

Fuente: (Norton, 2000)

Con los datos tomados (Ver Figura No. 14). Encontramos un perfil de correa tipo B.

7.2.3. Correa

Al utilizar correas de transmisión, los fabricantes recomiendan que sean planas. Algunas de sus ventajas es que permiten ahorrar espacio, son económicas, no requieren mantenimiento y son altamente eficientes. Para nuestra aplicación se requiere transmitir baja potencia, por medio de una transmisión compacta, por lo cual se requieren de poleas de reducido diámetro y bajas velocidades de giro, por lo que se recomienda usar correas planas dentadas o síncronas.

7.2.4. Relación de transmisión

Dejaremos planteada la fórmula para su cálculo:

$$R_t = \frac{N_1}{N_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

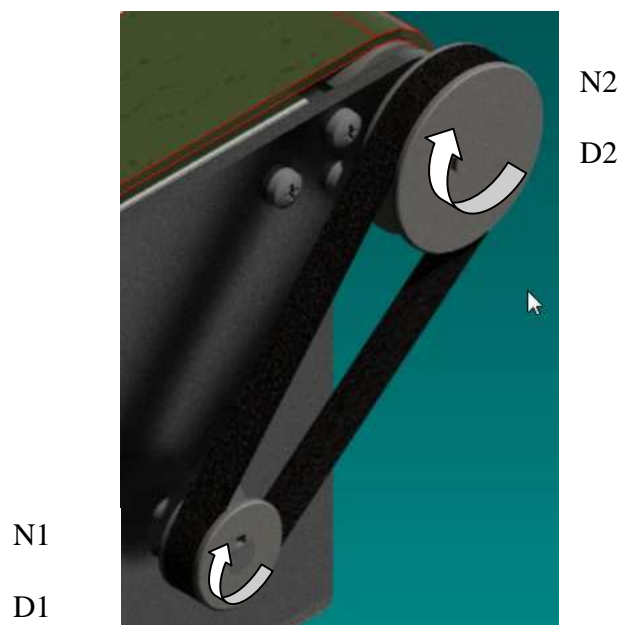


Figura 15. Relación de transmisión

Fuente: (Autor)

Donde,

N_2 : Velocidad polea menor (*rpm*)

N_1 : Velocidad polea mayor (*rpm*)

D_1 : Diámetro polea mayor (mm)

D_2 : Diámetro polea menor (mm)

R_t : Relación de transmisión

7.2.5. Distancia entre centros de eje

El sistema de transmisión de potencia debe tener la opción de ajustar la distancia entre centros de eje, para cuando se realice el montaje inicial la correa sea puesta sin forzarla, darle tensión luego de montada, darle ajuste a la tensión durante su alargamiento por el uso.

$$k = \frac{N_1}{N_2}$$

Si, $1 < k < 3$, entonces:

$$C \geq \frac{(k - 1) D_2}{2}$$

Si, $k > 3$, entonces:

$$C \geq (k - 1) D_2$$

Donde,

k : Relación de velocidad (rpm)

C : Distancia tentativa entre centros (mm)

$$L = (2C) + ((1,57 (D_1 + D_2)) + \frac{(D_1 - D_2)^2}{4C})$$

Donde,

L : Longitud correa (mm)

7.2.6. Potencia nominal transportada

Se halla por medio de la formula:

$$v_l = \frac{\pi * D_1 * N_1}{60000}$$

Donde,

v_l : Velocidad lineal correa (m/s)

P_n : Potencia nominal (HP)

De acuerdo con v_l y el tipo de perfil, encontramos P_n (Ver Tabla No. 6).

Tabla 6. Potencia nominal transmitida por correa

VELOCIDAD CORREA	PERFIL A (13 x 8)	PERFIL B (17 x 10,5)	PERFIL C (22 x 13,5)	PERFIL D (32 x 19)	PERFIL E (40 x 25)
4.0	0.8	1.1	2.4	4.7	6.5
5.0	0.9	1.3	3.0	5.5	7.9
6.0	1.0	1.5	3.4	6.7	9.4
7.0	1.2	1.7	3.9	7.9	10.9
8.0	1.4	1.9	4.5	9.0	12.3
9.0	1.6	2.2	5.2	10.0	13.7
10.0	1.8	2.5	5.8	11.0	15.0
11.0	1.9	2.6	6.2	11.8	16.3
12.0	2.0	2.9	6.7	12.6	17.5
13.0	2.2	3.1	7.1	13.0	18.7
14.0	2.3	3.3	7.5	14.2	19.8
15.0	2.5	3.5	7.9	15.0	21.0
16.0	2.6	3.6	8.3	15.5	21.7

17.0	2.6	3.7	8.7	15.9	22.6
18.0	2.7	3.9	9.0	16.3	23.4
19.0	2.8	4.1	9.2	16.6	24.2
20.0	2.9	4.2	9.4	17.0	25.0
21.0	2.9	4.3	9.6	17.3	25.6
22.0	3.0	4.3	9.7	17.5	26.0
23.0	3.0	4.4	9.8	17.7	26.3
24.0	3.1	4.4	9.9	17.9	26.7
25.0	3.1	4.5	10.0	18.0	27.0

Fuente: (Norton, 2000)

7.3. Conjunto Estructural de Soporte

La estructura donde ira soportado el sistema motriz de la banda transportadora debe ser rígida, no debe permitir deformaciones, ni curvarse debido a las fuerzas a la que está sometida como la tensión de la cinta, el peso de las piezas transportadas, la irregularidad del terreno, etc.

Sus diferentes ángulos deben ser alineados con precisión, su puesta en escuadra debe ser tomada por la medición de sus diagonales; debe ser fácil de mover de un lado a otro por lo cual su diseño no debe contener ningún elemento fijo. La cinta debe ser preferiblemente visible en su recorrido por el transportador, permitiendo mayor accesibilidad para mantenimiento y limpieza.

Se puede observar el planteamiento de la estructura, para la cual se propone uso de perfil estructural diseñado especialmente para lograr fácil adaptación (Ver Figura No. 16). Las partes pueden ser sujetas a través de tornillos especiales que permiten ser retirados y puestos en otras ubicaciones, sin necesidad de perforaciones. Para conocer sus medidas y especificaciones (Ver Anexo A).



Figura 16. Sistema estructural
Fuente: (Autor)

8. Sistema Neumático

8.1. Antecedentes

“Durante años el aire comprimido ha sido una de las formas de energía que el hombre ha usado principalmente en la industria, aprovechándolo para reforzar los recursos físicos. Hace más de dos mil años el griego Ktesibios fabrico una catapulta de aire comprimido” (Meixner, 1988).

De los mismos griegos viene la expresión *Pneuma* que designa la respiración, el viento y también el alma.

Solo desde el año 1950 aproximadamente se puede hablar del verdadero uso de la neumática en procesos industriales con la aplicación de principios y reglas investigadas.

8.2. Generalidades

Algunas propiedades del aire han contribuido a su popularidad, por ejemplo su abundancia en el medio ambiente, su fácil transporte por medio de tuberías y por largas distancias, su almacenamiento en depósitos permite que los compresores no estén en funcionamiento todo el tiempo, el aire comprimido es insensible a las variaciones de temperatura, no existe riesgo de explosión o incendio, es limpio, permite obtener velocidades de trabajo muy elevadas. Para delimitar su campo de utilización se deben conocer también sus propiedades adversas ya que el aire comprimido debe ser preparado antes de su uso, eliminando impurezas y humedad, en émbolos no es posible obtener velocidades uniformes y constantes, es económico solo hasta cierta presión (7 bar) y fuerza (20.000 a 30.000 N), el escape del aire produce ruido, es una fuente de en energía costosa, que se compensa con el precio económico de sus partes.

Como consecuencia de la automatización y la racionalización, la fuerza de trabajo manual ha sido reemplazada por otras formas de energía, como el aire comprimido. Por ejemplo es muy

usado en el traslado de paquetes, accionamiento de palancas, selección y transporte de piezas, etc.

8.3. Unidad de Mantenimiento

Las unidades de mantenimiento es el elemento primario que se dispondrá en el inicio de nuestro circuito neumático y tiene tres funciones importantes: recibir el aire de la fuente y contener la humedad que esta aporta, retener las partículas que viajan en el aire y regular la presión.

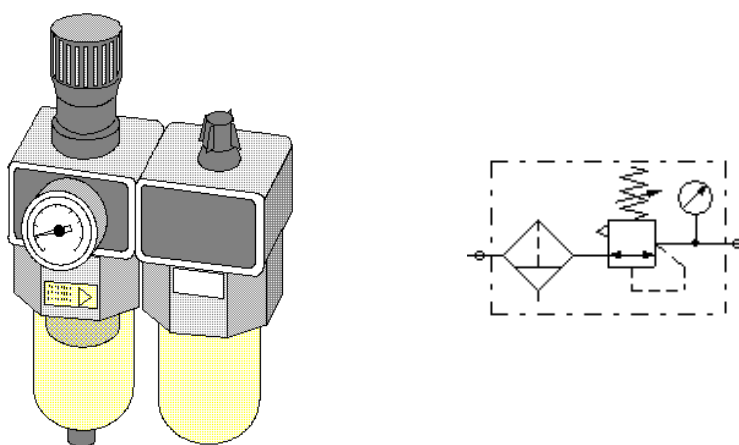


Figura 17. Unidad de mantenimiento y simbología
Fuente: (Festo AG & Co., 2011)

La unidad de mantenimiento se compone de un filtro de aire comprimido con separador de agua y una válvula reguladora que permite ajustar la presión de funcionamiento.

“El tamaño de las unidades de mantenimiento dependen del consumo de aire. Si las unidades son demasiado pequeñas, se producen oscilaciones de presión y los filtros se obstruyen más rápidamente. Aplicando criterios económicos, es recomendable utilizar aire muy puro únicamente si es absolutamente necesario. Para disponer de aire de calidades diversas puede recurrirse a módulos de derivación montados entre las unidades de mantenimiento” (Festo AG & Co., 2011)

8.4. Cilindros Neumáticos

Los cilindros neumáticos son unidades que transforman la energía potencial del aire comprimido en energía cinética. Consisten de un recipiente cilíndrico provisto de un émbolo o pistón; cuando un determinado caudal de aire comprimido ingresa en el cilindro, este se expande por la cámara provocando un desplazamiento lineal. Al émbolo se le acopla un vástago rígido que permitirá realizar el empuje de las piezas que viajan por la banda a un encauzador mecánico que se encargará de disponerla en la posición deseada.

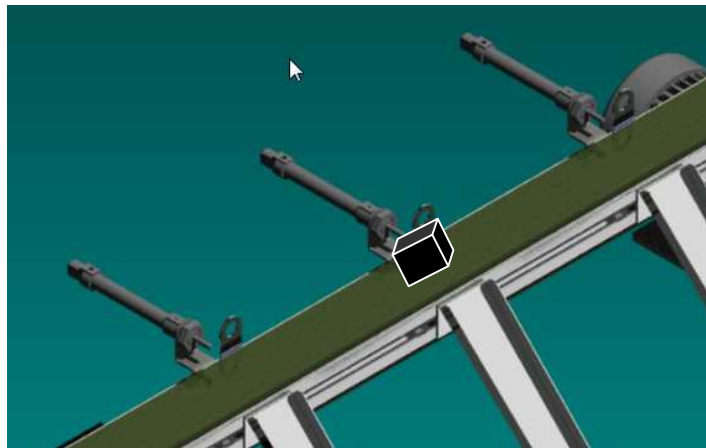


Figura 18. Desviador de piezas
Fuente: (Autor)

Existen diferentes tipos de cilindros:

- Cilindros de simple efecto (émbolo, membrana, membrana arrollable)
- Cilindros de doble efecto (con amortiguación interna, regulable)
- Cilindros de doble efecto en ejecución especial (cilindro de doble vástago, cilindro tándem, cilindro multiposicional, cilindro de impacto, cilindro de cable, cilindro de giro, cilindro de émbolo giratorio)

Para nuestro caso usaremos cilindros de simple efecto, donde la presión del aire se ejerce sobre toda la superficie del émbolo y la fuerza solo actúa en el sentido de avance.

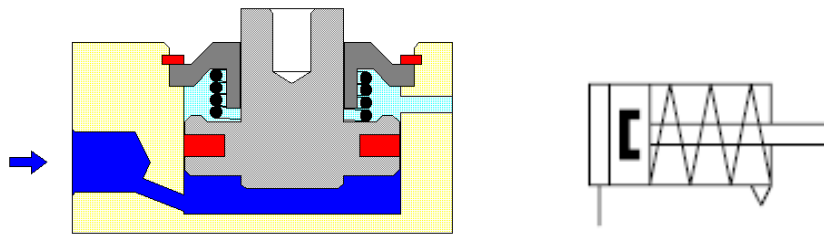


Figura 19. Cilindro neumático de simple efecto y simbología
Fuente: (Festo AG & Co., 2011)

Cuando se aplica aire comprimido, el vástago del cilindro de simple efecto se desplaza hacia la posición final delantera. Cuando el aire es descargado, el émbolo regresa a su posición de partida por efecto de un muelle. El émbolo del cilindro está provisto de un imán permanente que puede usarse para colocar un sensor que detecte su posición.

Se ha seleccionado un cilindro de simple efecto normalizado según DIN ISO 6432 fabricado bajo las características que se pueden acceder desde el Anexo A. Especial para aplicaciones de movimiento de masas pequeñas, bajas velocidades, bajas energías de impacto, no requiere ajustes.

La fuerza del émbolo en un cilindro de simple efecto, está dada por la siguiente tabla:

Tabla 7. Tabla fuerza del émbolo

Fuerza del émbolo [N]					
Ø	Presión de funcionamiento [bar]				
	1	2	6	7	8
2,5	0,4	0,9	2,7	3,1	3,5
3,5	0,9	1,7	5,2	6,1	6,9
5,35	2	4	12,1	14,2	16,2
6	2,5	5,1	15,3	17,8	20,4
8	4,5	9	27,1	31,7	36,2
10	7,1	14,1	42,4	49,5	56,5
12	10,2	20,4	61,0	71,3	81,4
16	18,1	36,5	109	127	145
20	28,3	56,5	170	198	226
25	44,2	88,4	265	309	353
32	72,4	145	434	507	579
40	113	226	679	792	905
50	177	353	1 060	1 240	1 410
63	281	561	1 680	1 960	2 240
80	452	905	2 710	3 170	3 620
100	707	1 410	4 240	4 950	5 650
125	1 100	2 210	6 630	7 730	8 840
160	1 810	3 620	10 900	12 700	14 500
200	2 830	5 650	17 000	19 800	22 600
250	4 420	8 840	26 500	30 900	35 300
320	7 240	14 500	43 400	50 700	57 900

Fuente: (Festo AG & Co., 2011)

(Ver Tabla No. 7). Donde encontramos que:

F_t : Fuerza teórica en el émbolo (226 N)

Sin embargo en la práctica debemos conocer la fuerza real:

$$F_n = A * p_t - (F_R + F_F)$$

A: Superficie útil del émbolo (4,9 cm²), dada por:

$$A = \frac{d_e^2 * \pi}{4}$$

Donde,

d_e : Diámetro émbolo (2,5 cm)

p_t : Presión de trabajo (9 Atmosferas) (8 Bar)

F_R : Fuerza de rozamiento (Representan entre 3 ... 20% de la fuerza calculada – 22,6 N)

F_F : Fuerza en el muelle de reposición (13,6 N)

Luego, reemplazando los valores hallamos:

F_n : Fuerza efectiva o real del émbolo (3,06 N)

La fuerza de un cilindro crece con mayor presión y mayor diámetro.

Consumo de aire en cilindros neumáticos:

$$Q_c = S_c * n * q_c$$

(Ver Tabla No. 8). Para hallar (q_c) con los siguientes datos:

R_e : Porcentaje de fricción (10%)

\emptyset : Diámetro cilindro neumático (27 mm)

Tabla 8. Consumo de aire

Presión de trabajo en atmósferas															
Diam. cilindro mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Consumo de aire en litros por cm de carrera del cilindro														
6	0.0005	0.0008	0.0011	0.0014	0.0016	0.0019	0.0022	0.0025	0.0027	0.0030	0.0033	0.0036	0.0038	0.0041	0.0044
12	0.002	0.003	0.004	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012	0.013	0.014	0.015	0.016	0.018
16	0.004	0.006	0.008	0.010	0.011	0.014	0.016	0.018	0.020	0.022	0.024	0.026	0.028	0.029	0.032
25	0.010	0.014	0.019	0.024	0.029	0.033	0.038	0.043	0.048	0.052	0.057	0.062	0.067	0.071	0.076
35	0.019	0.028	0.038	0.047	0.056	0.066	0.075	0.084	0.093	0.103	0.112	0.121	0.131	0.140	0.149
40	0.025	0.037	0.049	0.061	0.073	0.085	0.097	0.110	0.122	0.135	0.146	0.157	0.171	0.183	0.196
50	0.039	0.058	0.077	0.096	0.115	0.134	0.153	0.172	0.191	0.210	0.229	0.248	0.267	0.286	0.305
70	0.076	0.113	0.150	0.187	0.225	0.262	0.299	0.335	0.374	0.411	0.448	0.485	0.523	0.560	0.597
100	0.155	0.231	0.307	0.383	0.459	0.535	0.611	0.687	0.763	0.839	0.915	0.911	1.067	1.143	1.219
140	0.303	0.452	0.601	0.750	0.899	1.048	1.197	1.346	1.495	1.644	1.793	1.942	2.091	2.240	2.389
200	0.618	0.923	1.227	1.531	1.835	2.139	2.443	2.747	3.052	3.356	3.660	3.964	4.268	4.572	4.876
250	0.966	1.441	1.916	2.392	2.867	3.342	3.817	4.292	4.768	5.243	5.718	6.193	6.668	7.144	7.619

Fuente: (Buenache, 2010)

(Ver Tabla No. 8). Donde obtenemos:

S_c : Carrera cilindro (5 *cm*)

q_c : Consumo de aire (0,038 *l/ min * cm de carrera*)

n : No. Carreras por minuto (3 *Carreras * min*)

Q_c : Consumo de aire en cilindro neumático (0,57 *l/min*)

8.5. Válvulas

Son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión o el caudal del aire. De acuerdo con la norma DIN ISO 1219, las válvulas se dividen en cinco grupos según su función:

- Válvulas de vías o distribuidoras
- Válvulas de bloqueo
- Válvulas de presión
- Válvulas de caudal
- Válvulas de cierre

Para nuestra celda usaremos:

8.5.1. Válvulas de bloqueo

Son elementos que bloquean el paso del caudal preferentemente en un solo sentido y lo permiten únicamente en el otro sentido. Conocidas también como reguladores de velocidad, serán utilizadas para controlar la apertura y cierre de los cilindros neumáticos.

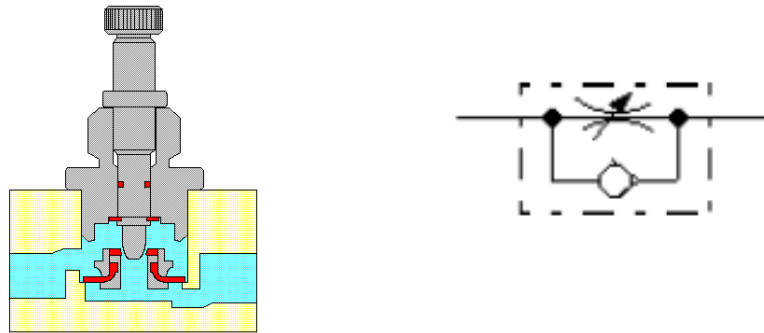


Figura 20. Válvula antiretorno y simbología
Fuente: (Festo AG & Co., 2011)

Esta válvula permite regular el caudal de forma unidireccional. Está compuesta por una válvula de estrangulación que regula el caudal por medio de un tornillo y de una válvula anti-retorno que impide el paso del aire en un sentido determinado.

Es seleccionada de acuerdo con el Q_c : Consumo de aire en cilindro neumático ($0,57 \text{ l/min}$) y Q_n : Caudal nominal.

8.5.2. Válvulas distribuidoras

Determinan el camino que ha de tomar la corriente de aire. Según su simbología las posiciones de las válvulas se representan por medio de cuadros, de tal forma que la cantidad de cuadros yuxtapuestos indican la cantidad de posiciones de la válvula; las líneas representan las tuberías y las flechas el sentido de circulación del fluido. Las posiciones de cierre dentro de las casillas se representan mediante líneas transversales y los ductos de escape se representan por medio de un triángulo.

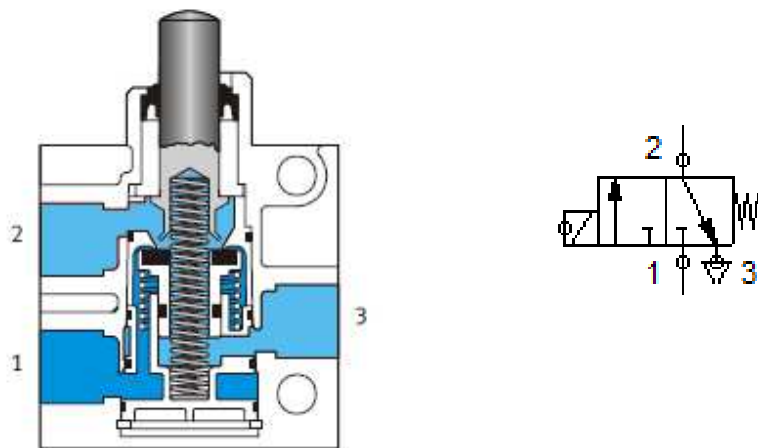


Figura 21. Válvula de 3/2 vías y simbología

Fuente: (Festo AG & Co., 2011)

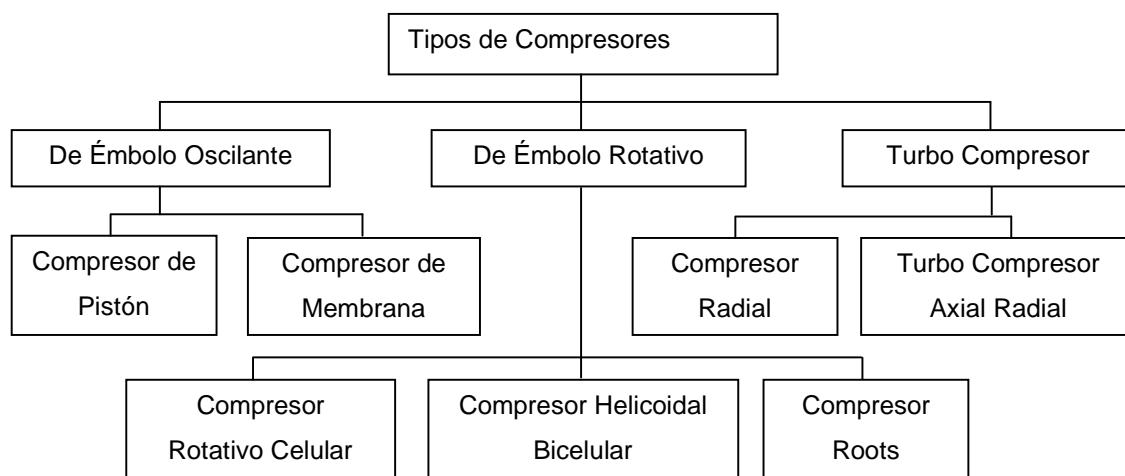
Usaremos válvulas tipo solenoide de 3 posiciones 2 vías, normalmente cerrada y con retorno por muelle, para comandar la apertura y cierre de los cilindros neumáticos. La electroválvula es accionada aplicando una señal de tensión eléctrica en la bobina del solenoide, el caudal circula libremente de 1 a 2. Cuando cambia la señal la válvula se sitúa de nuevo en posición de partida por medio del muelle de retorno. La conexión 1 se cierra, si no hay señal de tensión aplicada.

8.6. Fuente de Aire Comprimido

Un compresor es el encargado de la alimentación del aire comprimido proporcionando la fuente de energía necesaria.

Existen diversos tipos de compresores:

Tabla 9. Tipos de compresores



Fuente: (Meixner, 1988)

Los compresores contiene una válvula de presión que puede regularse para suministrar la presión de funcionamiento deseada.

Este deberá ser dispuesto por la Universidad EAN, ya que no solo alimentará esta celda sino los demas equipos neumáticos con que cuenta la Universidad.

8.7. Distribución del Aire Comprimido

El aire comprimido es distribuido a través del circuito neumático, por medio de un conducto principal representando por una línea continua. Este conducto permitirá la unión de los diferentes componentes del sistema, esta conexión es representada por un círculo pequeño. Para realizar la distribución de hasta tres conductos neumáticos se usan conexiones tipo T, representadas por un círculo relleno y las tres vías.



Figura 22. Símbolos de conexiones
Fuente: (Festo AG & Co., 2011)

8.8. Circuito Neumático

La simbología neumática está dada por el estándar DIN ISO 1219, bajo la cual nos basamos para proponer el circuito neumático para la celda de manejo de materiales (Ver Figura No. 23).

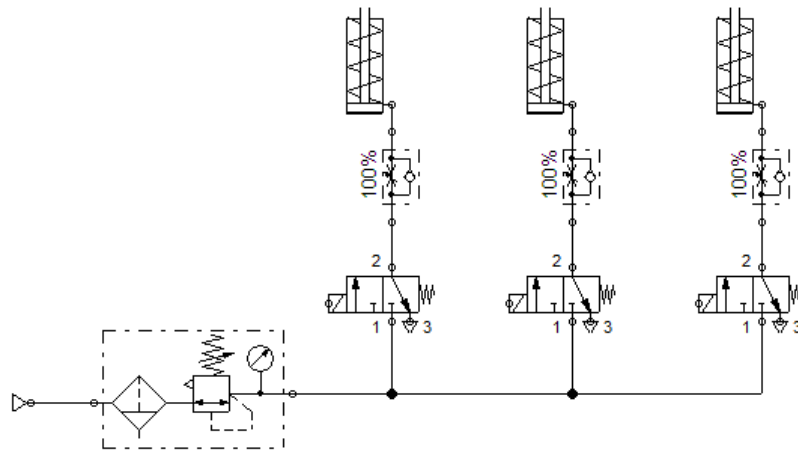


Figura 23. Circuito neumático para celda de manejo de materiales
Fuente: (Autor)

9. Sistema Eléctrico de Potencia y Control

“Para estudiar una instalación eléctrica, el conocimiento de la reglamentación y la normativa vigente es un paso previo imprescindible.” (Schneider Electric C. d., 2004)

9.1. Antecedentes

“Uno de sus hitos iniciales puede situarse hacia el año 600 a.C., cuando el filósofo griego Tales de Mileto observó que frotando una varilla de ámbar con una piel o con lana, se obtenían pequeñas cargas (efecto triboeléctrico) que atraían pequeños objetos, y frotando mucho tiempo podía causar la aparición de una chispa” (Historia de la electricidad, 2013)

Sobre la historia de la energía eléctrica se pueden conseguir un sin número de referencias por tanto nos enfocaremos en su uso como en nuestra celda para manejo de materiales.

9.2. Generalidades

“La corriente eléctrica se define como un movimiento, como un traslado de cargas eléctricas o electrones...Los electrones se dirigen hacia potenciales crecientes, es decir hacia la parte más positiva o menos negativa del cuerpo conductor” (Monpín, 1973, pág. 7)

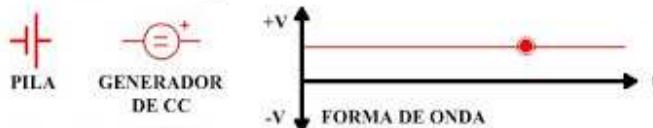
La corriente se clasifica en dos tipos, AC: Corriente Alterna y CC: Corriente Continua.

“Si las cargas eléctricas se trasladan con velocidad uniforme tendremos la llamada Corriente Continua. Si por el contrario las cargas eléctricas se mueven con velocidad no constante, tendremos una corriente variable con el tiempo” (Monpín, 1973, pág. 7)

TIPOS DE CORRIENTE ELÉCTRICA

* Corriente Continua (CC)

Producida por baterías, pilas o por generadores de corriente continua (dinamos). Se caracteriza porque los electrones en su recorrido no cambian de sentido, es decir, la tensión es constante en valor y polaridad.



* Corriente Alterna (CA)

Producida por generadores de corriente alterna (alternadores). Se caracteriza porque los electrones cambian su sentido constantemente, es decir, la tensión varía en valor y polaridad.

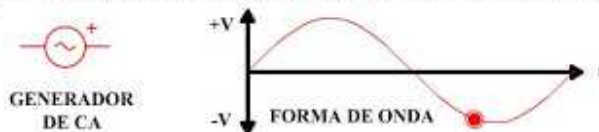


Figura 24. Tipos de corriente eléctrica

Fuente: (Gómez, 2012)

En nuestro país existe el RETIE (Reglamento Técnico de las Instalaciones Eléctricas) expedido por el Ministerio de Minas y Energía que rige los deberes y estándares que se deben cumplir en el ejercicio con la Electricidad; además existe la Norma Técnica Colombiana 2050 que la sustenta.

La fuente y potencia requerida para que la celda trabaje, debe ser suministrado por la Universidad EAN.

9.3. Sistema Eléctrico de Potencia

Llamamos sistema de potencia en baja tensión al circuito que nos suministrará la carga eléctrica para alimentar los equipamientos que aportarán la fuerza a los mecanismos de nuestra celda para manejo de materiales; a continuación describiremos estos equipos y sus principales características para selección.

9.3.1. Motor eléctrico

Es aquel mecanismo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Existen dos familias de motores eléctricos:

Motores asíncronos. También llamados de inducción, están formados por un rotor y un estator. Los hay de jaula de ardilla o de rotor bobinado.

Motores síncronos. Su velocidad depende de la frecuencia de la red en que están conectados.

Para nuestra aplicación nos enfocaremos en motores Jaula de Ardilla ya que son los más usados en la industria, son de fácil consecución en el mercado local y está disponible para alimentación en red monofásica.

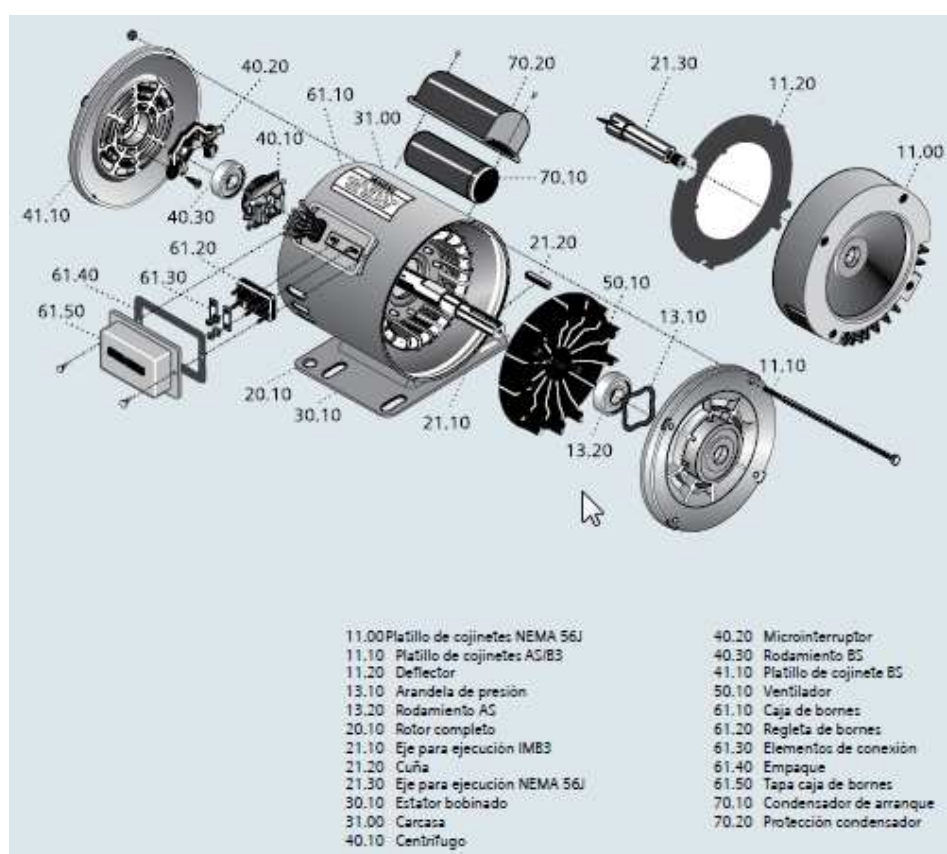


Figura 25. Motor jaula de ardilla
Fuente: (Lista de precios Siemens 2013, 2013)

Con el valor de potencia que se hayo anteriormente, en KW o HP, identificamos cuál es el voltaje disponible que nos proveerá la Universidad EAN. De acuerdo con nuestras condiciones iniciales tenemos que es 110 Vac. Las redes eléctricas de nuestro país se encuentran estandarizadas en 60 Hz, por ende es también importante tener la frecuencia presente, ya que existen países que se regulan bajo los 50 Hz y si no tenemos esto en cuenta podemos tener problemas de selectividad. También es importante conocer la aplicación con que trabajará el motor, para nuestro caso será una banda transportadora que debe permitir la regulación de su velocidad.

Planteando estos parámetros tenemos:

P_M : Potencia teórica del motor (0,0000469 KW) (0,0000629 HP)

f : Frecuencia (60 Hz)

t : Voltaje (110 Vac)

En la actualidad los fabricantes de motores se han estandarizado y cuentan con tablas donde podemos aplicar estos datos para la selección de nuestro motor.

Tabla 9. Tabla para selección de motores monofásicos

Referencia	Tamaño constructivo	Potencia HP	FS	Corriente (A) con FS a 115 V	Corriente (A) con FS a 230 V	Peso
VELOCIDAD 3.600 RPM (2 polos)						
1LF7 114 - 2YD99 184JM - TEFC		5	1,15	-	26,0	-
VELOCIDAD 3.600 RPM (2 polos)						
1LF7 081-2YD90	80	1/3	1,75	5,4	2,7	9
1LF7 082-2YD90	80	1/2	1,50	7,4	3,7	10
1LF7 083-2YD90	80	3/4	1,50	9,8	4,9	11
1LF7 091-2YD90	90	1	1,40	12,6	6,3	13
1LF7 093-2YD90	90	1,5	1,30	19,0	9,5	13
1LF7 094-2YD90	90	2	1,15	27,0	13,5	14
1LF3 095-2YA90	90	3	1,15	-	14,8	18
1LF7 114-2YD90	112 M	5	1,15	-	26,0	31
VELOCIDAD 1.800 RPM (4 polos)						
1LF7 073-4YD90	71	1/4	1,15	5,2	2,6	5
1LF7 081-4YD90	80	1/3	1,35	6,0	3,0	8
1LF7 082-4YD90	80	1/2	1,25	8,6	4,3	9
1LF7 091-4YD90	90	3/4	1,15	10,0	5,0	12
1LF7 093-4YD90	90	1	1,15	15,0	7,5	15
1LF7 094-4YD90	90	1,5	1,15	21,0	10,5	15
1LF7 095-4YE50	90	2	1,15	-	9,0	17
1LF7 095-4YD40	90	2	1,15	24,0	-	17
1LF7 112-4YD90	112 M	3	1,15	37,0	18,5	32
1LF7 114-4YD90	112 M	5	1,15	-	25,0	34

Fuente: (Lista de precios Siemens 2013, 2013)

Como la potencia que necesitamos es muy baja, podemos seleccionar la talla más baja que se encuentre en el mercado y no tendríamos problema ya que el motor tendría un sobre-dimensionamiento y estaría en todas las condiciones de trabajar para la aplicación de la banda transportadora.

9.3.2. Protecciones eléctricas

Son elementos que nos permiten salvaguardar los bienes y la vida humana en caso de una falla. Dentro de ellas podemos encontrar varios tipos; a continuación trataremos las que nos sugieren los fabricantes y que según normativa RETIE están avaladas para el uso industrial.

Térmicas y magnéticas para motores. “La continuidad del servicio es una exigencia en una instalación moderna. La falta de una adecuada selectividad puede provocar la apertura

simultánea de más de un elemento de protección situado aguas arriba de la falla” (Schneider Electric C. , 2000)

La protección térmica protege contra sobre cargas y la protección magnética protege contra cortos circuitos. Existen elementos que combinan ambos tipos de protecciones, sin embargo debemos analizar cuando se requieren y cuando no será necesaria una de ellas, ya que nos puede reducir los costes de aprovisionamiento.

Para realizar una correcta selectividad de las protecciones debemos conocer las siguientes variables:

In: Corriente nominal del motor 5,4 Amp.

Icc: Poder de corte > 100 k Amp.

La *In* la podemos tomar de la placa del motor que vamos a utilizar o podemos utilizar los valores (Ver Tabla No. 9). Según se halla seleccionado en la tabla y la *Icc* trae al menos dos valores que ya son estándar por los fabricantes para aplicaciones de protección motor. Con base a ello podemos seleccionar nuestra protección (Ver Tabla No. 10).

Tabla 10. Tabla para selección protección magnética

Referencia	Rango de relé térmico asociar (A)	Calibre (A)
GV2LE06	1.0 - 1.6	1,6
GV2LE07	1.6 - 2.5	2,5
GV2LE08	2.5 - 4	4
GV2LE10	4 - 6	6,3
GV2LE14	5.5 - 8 / 7 - 10	10
GV2LE16	9 - 13	14
GV2LE20	12 - 18	18
GV2LE22	16 - 24	25
GV2LE32	23 - 32	32

Fuente (Schneider electric C. d., 2012)

De esta forma se ha seleccionado una protección magnética que llamaremos Q1. La celda requiere de un variador de frecuencia y estos equipos traen integrada su protección térmica, de esta forma reducimos costes. Para conocer la protección seleccionada Q1 (Ver Anexo A).

DPS. (Dispositivo de Protección contra Sobretensiones), Es un dispositivo que permite la protección contra sobretensiones transitorias y es usado para proteger los bienes y las personas contra descargas atmosféricas. Es exigido en todo tablero eléctrico por el RETIE y cumplen los estándares internacionales (Ver Figura No. 26). Con base a esta ilustración nos ubicaremos en el lugar donde irá instalada la celda, para su selección.

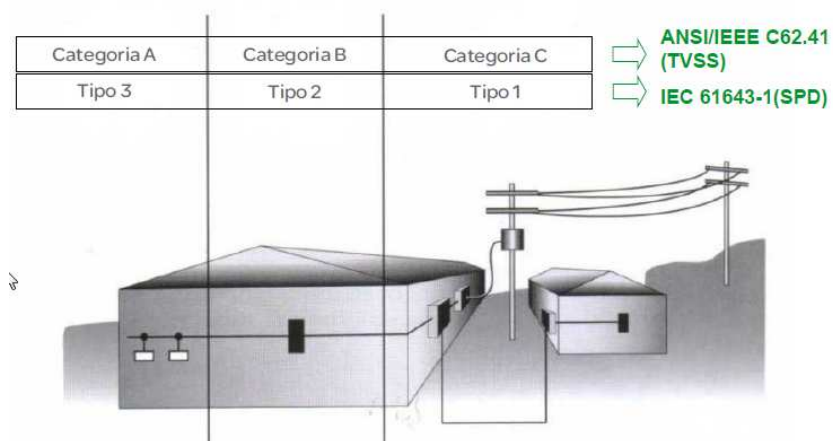


Figura 26. Ubicación para selección de un DPS
Fuente: (Cediel, 2009)

La ubicación de la celda para manejo de materiales será al interior de la Universidad EAN, de acuerdo con esto tomaremos como protección la ubicada en la categoría B o tipo 2.

Como el circuito disponible es monofásico, es decir que solo trae una fase y un neutro; nos remitiremos a los valores (Ver Tabla No. 11). Donde encontramos el DPS, junto con la protección asociada que recomienda el fabricante (Ver Anexo A).

Tabla 11. Tabla para selección de DPS

Referencia	Descripción	Número de Polos	Corriente de Descarga por Fase I _{max} - (kA) (8/20)	Voltaje de Protección U _p - (kV)	Máximo Voltaje de Operación Continuo U _c - (V)	Protección Dedicada Recomendada
Tipo 2						
A9L16556	*iPRD65r 1P	1P	65	≤1.5	340	50 A Curva C
A9L16557	*iPRD65r 1P+N	1P+N	65	≤1.5	340	50 A Curva C
A9L16443	*iPRD65r 3P	3P	65	≤1.5	340	50 A Curva C
A9L16559	*iPRD65r 3P+N	3P+N	65	≤1.5	340	50 A Curva C
A9L16566	iPRD40 1P	1P	40	≤1.4	340	40 A Curva C
A9L16567	iPRD40 1P+N	1P+N	40	≤1.4	340	40 A Curva C
A9L16568	iPRD40 3P	3P	40	≤1.4	340	40 A Curva C
A9L16569	iPRD40 3P+N	3P+N	40	≤1.4	340	40 A Curva C
A9L16571	iPRD20 1P	1P	20	≤1.1	340	25 A Curva C
A9L16572	iPRD20 1P+N	1P+N	20	≤1.1	340	25 A Curva C
A9L16447	iPRD20 3P	3P	20	≤1.1	340	25 A Curva C
A9L16574	iPRD20 3P+N	3P+N	20	≤1.1	340	25 A Curva C

Fuente (Schneider electric C. d., 2012)

EMC. La compatibilidad electromagnética por sus siglas en inglés, trata sobre la forma y recomendaciones que debemos seguir para que las estructuras de las máquinas y en general las instalaciones, sean seguras contra el potencial eléctrico o cargas estáticas que se pueden presentar.

Para la estructura soporte de la celda, resulta esencial contar con un sistema de tierra ya que a través de la cinta transportadora se puedan presentar descargas de potencial electrostático a través de los tambores y la base de deslizamiento, los cuales pueden causar perturbaciones a las personas y a los elementos de control.

El potencial eléctrico de la puesta a tierra es considerado a ser cero. Dentro de un sistema, la puesta a tierra se entiende como el conductor de protección utilizado para la protección de las personas, animales y bienes.

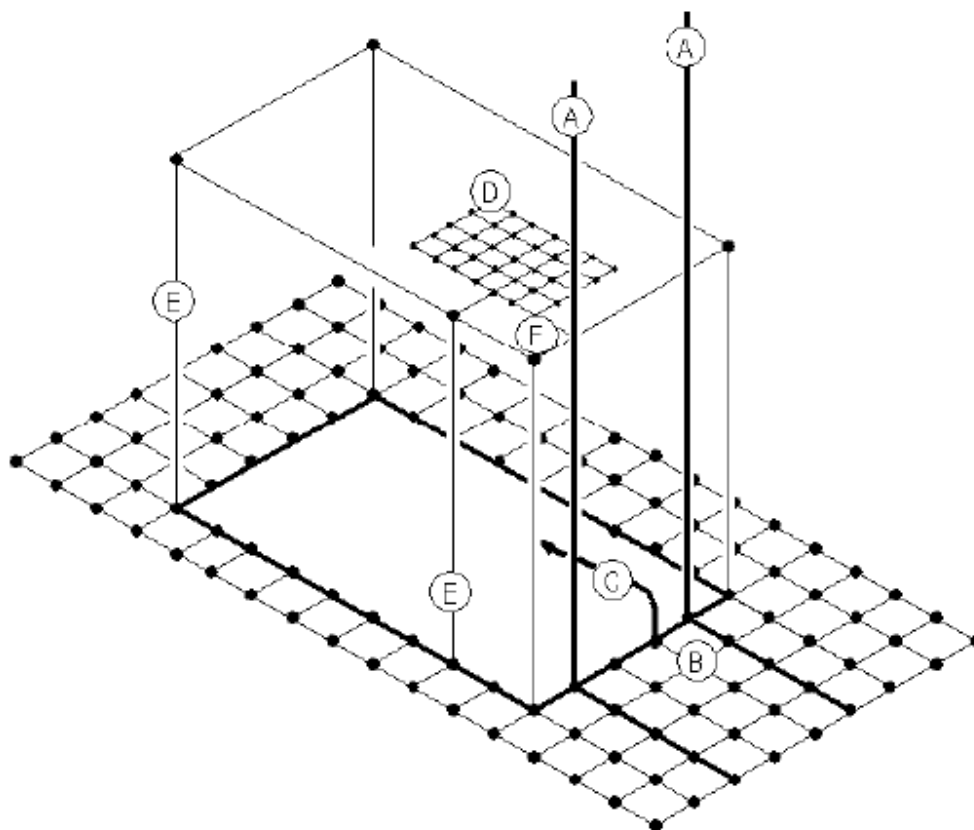


Figura 27. Recomendaciones para conexión de sistema a tierra
Fuente: (Schneider Electric c. , 2011, pág. 100)

- A. Bajada de los pararrayos
- B. Sistema de puesta tierra, reforzado a la malla subterránea.
- C. Conexión del sistema de puesta a tierra al sistema equipotencial
- D. Conexión de las estructuras metálicas al sistema de puesta a tierra y conexiones adicionales (Tomas corriente)
- E. Interconexión entre el descargador de rayos y el sistema de puesta a tierra, así como otras estructuras próximas.

Nota: Una conexión a tierra individual se requiere para todos los sistemas eléctricos.

9.3.3. Variación de la frecuencia

Con el surgimiento de la electrónica de potencia, se cuenta en la actualidad con equipos que permiten variar la frecuencia en las redes industriales, de tal forma que la velocidad de los motores pueda ser controlado según lo queramos; adicionalmente podemos controlar el torque y el par.

Como una de las características de la celda es que se pueda sintonizar según la producción, este equipo nos permitirá entregar piezas de forma más rápida o más lenta, según se requiera.

Para seleccionar un variador basta conocer la aplicación para la cual se va a utilizar y según la potencia, voltaje y corriente del motor que vamos a controlar.

Tabla 12. Selección de variadores de frecuencia

Referencia	Corriente Nominal In	Corriente Transitoria It	Motor Potencia HP
ATV71H037M3Z	3	4.5	0.5
ATV71H075M3Z	4.8	7.2	1
ATV71HU15M3Z	8	12	2
ATV71HU22M3Z	11	16.5	3
ATV71HU30M3Z	13.7	20.6	4
ATV71HU40M3Z	17.5	26.3	5
ATV71HU55M3Z	27.5	41.3	7.5
ATV71HU75M3Z	33	49.5	10
ATV71HD11M3XZ	54	81	15
ATV71HD15M3XZ	66	99	20
ATV71HD18M3X	75	112	25
ATV71HD22M3X	88	132	30
ATV71HD30M3X	120	180	40
ATV71HD37M3X	144	216	50
ATV71HD45M3X	176	264	60
ATV71HD55M3X	221	332	75
ATV71HD75M3X	285	428	100

Fuente (Schneider electric C. d., 2012)

Para lograr una mayor flexibilidad e interoperabilidad, estos equipos vienen dotados con puertos de comunicación por medio de los cuales les permite ser integrados en redes de comunicación industria.

El equipo seleccionado se relaciona (Ver Anexo A).

9.3.4. Gabinete eléctrico

Para alojar los equipos eléctricos se debe disponer de un encerramiento que permita garantizar condiciones de protección contra agentes externos que los pueda afectar como la humedad, el polvo o la intervención de personas no calificadas que podrían sufrir daños severos.

Existen grados de protección con los cuales se garantiza el aislamiento de los equipos de las condiciones externas; es importante tener en cuenta el lugar de la instalación, bien sea interior o exterior y las condiciones climáticas o de altitud al nivel del mar.

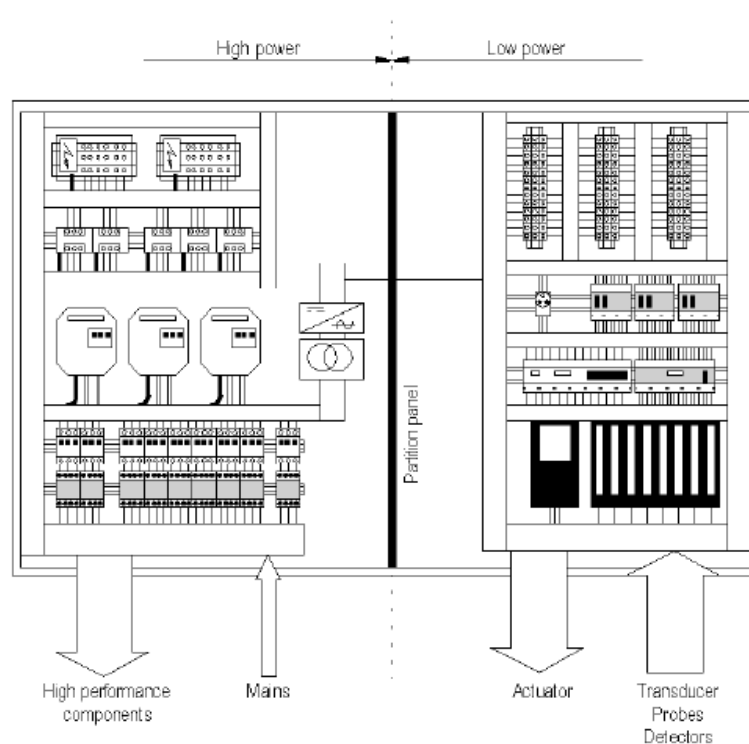


Figura 28. Disposición de aparatos en un gabinete
Fuente: (Schneider Electric c. , 2011, pág. 113)

9.4. Sistema Eléctrico de Control

Este sistema es el que nos permitirá tener control de lo que está sucediendo en nuestra celda de manejo de materiales, nos permitirá hacer cambios en la programación de la producción e incluso compartir información con otros sistemas como SCADA (System Control and Data Acquisition), ERP (Enterprise Resource Planner), MES (Manufacturing Execution System), etc.

9.4.1. Sensores

“Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida” (Pallás, 2001, pág. 3)

Sensor inductivo. Permiten detectar objetos metálicos sin contacto con el objeto que se desea identificar; no tienen piezas móviles por lo tanto su ciclo de vida es bastante largo y su resistencia a los ambientes industriales es bueno.

Para la aplicación usaremos sensores inductivos de tipo cilíndrico, ya que son fáciles de instalar, mover, cambiar y presentan buen alcance de detección.

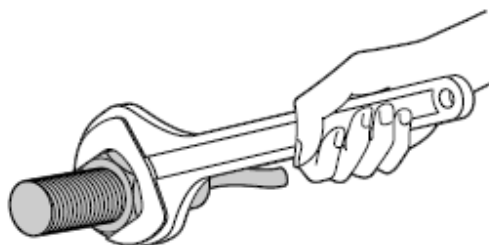


Figura 29. Sensor inductivo
(Schneider electric C. , 2010, pág. 2/16)

Sensor fotoeléctrico. Se compone de un diodo emisor de luz, asociado a un fototransistor que actúa como receptor sensible a la luz emitida. Es propicio para detectar objetos opacos como la madera.

Sensor ultrasonido. Su principio de medición se basa en la emisión de onda ultrasónica y la recepción de su eco es medida en el tiempo transcurrido. Este sensor lo utilizaremos para medir las piezas plásticas y que no sea engañado por las piezas de madera.

9.4.2. PLC

PLC (Programmable Logic Controller), este controlador lógico programable, será el encargado de procesar las rutinas y subrutinas de producción que se le ordenen. Por su gran acogida que tienen en la industria del país, es fácil de acceder a un equipo de buenas prestaciones y a un precio razonable.

Con la llegada de los protocolos industriales basados en el estándar TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) se pueden integrar fácilmente con otros dispositivos, lo cual les permite ser abiertos e interoperables.

Su selección la haremos tomando la cantidad de Entradas / Salidas, análogas y digitales de tal forma que reciba las señales emitidas por los sensores, variador de velocidad y elementos de seguridad que irán ubicados en la celda para efectuar cualquier acción de parada por emergencia. Para no incurrir en costos adicionales el fabricante seleccionado suministra software gratuito que permite realizar la programación del PLC desde un computador.

9.4.3. HMI

HMI (Human Machine Interface). Continuando con los equipos de alta tecnología, integraremos una interface humano máquina de pantalla táctil, que se encargará de ser el puente entre la máquina y el operario.

De igual forma como sucede con los PLCs, podemos conseguir un equipo en el mercado de grandes bondades, sin impactar de manera drástica la inversión.

Esta se conectará al PLC por medio de puerto de comunicación y permitirá realizar los cambios que se requieran tanto en la configuración de la celda, como en la programación de la producción de una forma ágil.

Para no incurrir en costos adicionales el fabricante seleccionado suministra software gratuito que permite realizar la programación de la HMI desde un computador.

9.4.4. Circuito de potencia y control

Se plantea un circuito con alimentación monofásica en la parte de potencia y su control para velocidad (Ver Figura No. 30).

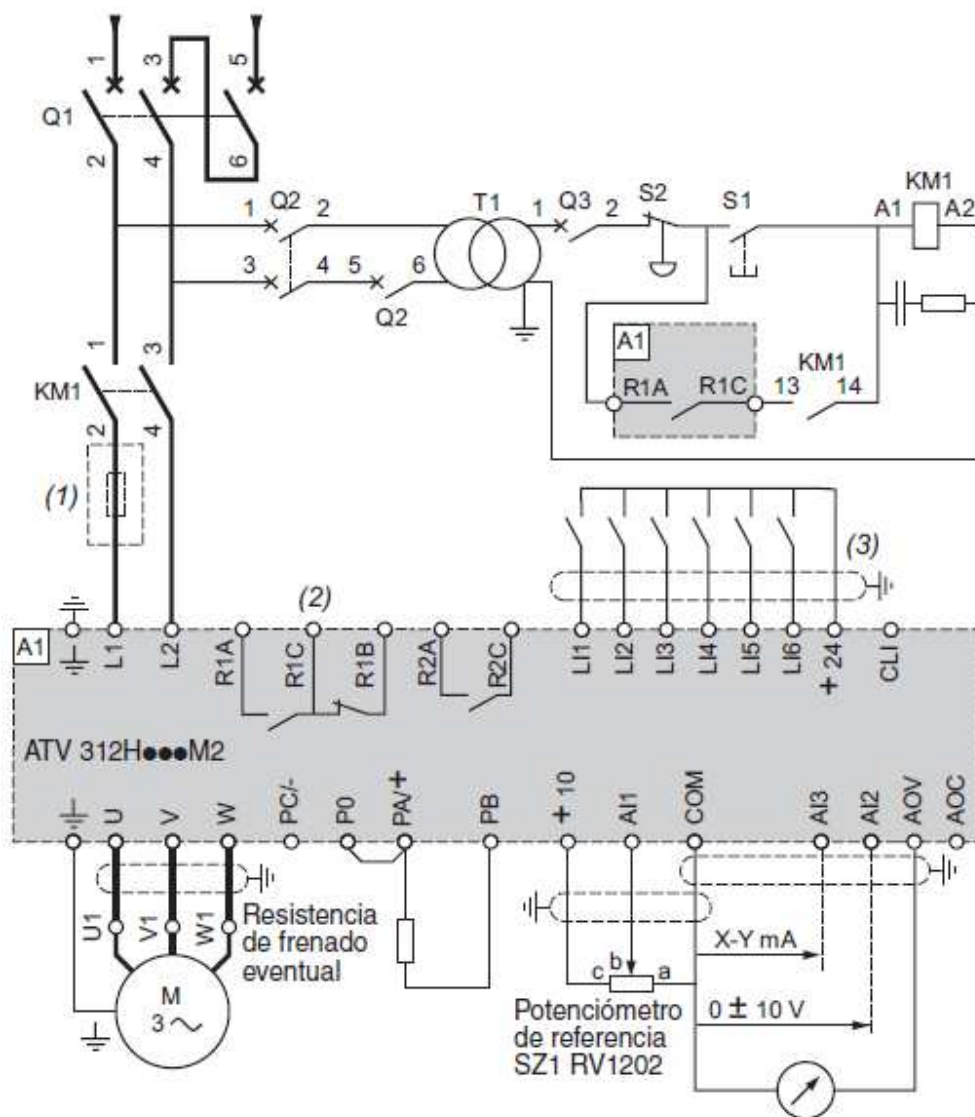


Figura 30. Circuito de potencia y control

- (1) Inductancia de línea (1 fase o 3 fases).
- (2) Contactos del relé de fallo. Permite indicar a distancia el estado del variador.
- (3) La conexión del común de las entradas lógicas depende de la posición del conmutador.

Fuente: (Schneider electric c. , 2009)

Donde,

Q1: Protección Magnética

KM1: Contactor de línea

Q2 y *Q3*: Protecciones magnéticas para transformador

S1 y *S2*: Pulsadores

T1: Transformador de control

Explicación del circuito: Este circuito consta de una parte de potencia y una parte de control.

La parte de potencia comienza en *Q1* donde se llegará con la alimentación de 110 Vac que debe disponer la Universidad EAN.

KM1 hace referencia a un contactor de línea que es usado en ocasiones con una inductancia de línea para evitar perturbaciones armónicas en las redes industriales; como nuestra red eléctrica no es industrial, no se requerirá de estos elementos y evitamos incluir costes innecesarios en el presupuesto. De esta forma salimos por los bornes del variador directamente a nuestro motor seleccionado, sin usar la mencionada resistencia de frenado la cual es requerida en aplicaciones de alta inercia.

En cuanto a la parte de control tenemos: *Q2*, *Q3* y *T1*, elementos que no requeriremos ya que al contar con una red monofásica a 110 Vac, alimentaremos directamente desde *Q1*.

Para *S1*, *S2* se usan para arrancar o parar nuestro motor y el potenciómetro de referencia se usa para regular la velocidad según se requiera, estos elementos no los usaremos ya que al contar con el PLC y la HMI interconectados por el puerto de comunicación al variador, estos tendrán la potestad de parar y arrancar cuando se desee, también variar la velocidad desde la pantalla táctil.

Para tener seguridad directa en el paro del motor frente a cualquier eventualidad que se pueda presentar usaremos una parada de emergencia con enclavamiento en S2. Esto permitirá que el PLC no pueda arrancar sin que se garantice que la falla sea evacuada.

10. Presupuesto

En un mundo donde los individuos, las sociedades, las organizaciones y el entorno tienden a cambiar rápidamente, los sistemas deben acoplarse al ritmo de estos cambios.

La justificación de costos de un FMS puede subdividirse en los costos de adquisición y los costos de operación. Los costos de adquisición deben realizarse una sola vez, e incluyen la preparación del lugar físico, el costo del equipo, el diseño del sistema y la preparación inicial de los operadores. Los costos de operación son comparables a los costos de otros tipos de plantas e incluyen programación de uso, mantenimiento, reprogramación y actividades de control de calidad actual y bajo posibles nuevas normas.

El método ABC (Activity Based Costing) o costo basado en actividades, se desarrolló como herramienta práctica para resolver un problema que se le presenta a la mayoría de las empresas actuales.

Las actividades se relacionan en conjuntos que forman el total del sistema productivo, los que son ordenados de forma secuencial y simultánea, para así obtener los diferentes estados de costo que se acumulan por subsistema y el valor que agregan.

De esta forma y como hemos venido trabajando, se han dividido los tres subsistemas y se han identificado cada uno de sus componentes obteniendo un conjunto de elementos y actividades que se relacionan a continuación:

Tabla 13. Costo subsistema mecánico

	Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Uni.	Precio Tot.
1. Sistema Mecánico	1	Diseño mecánico	80	h	\$ 30.000	\$ 2.400.000
	2	Ensamble mecánico	40	h	\$ 30.000	\$ 1.200.000
	3	Ensamble estructura	1	Gl	\$ 166.700	\$ 166.700
	4	Cinta transportadora	1,7	m	\$ 34.200	\$ 58.140
	5	Tambor motriz	1	Uni.	\$ 40.000	\$ 40.000
	6	Tambor de cola	1	Uni.	\$ 35.000	\$ 35.000
	7	Soporte tambor motriz	1	Uni.	\$ 160.000	\$ 160.000
	8	Soporte tambor cola	1	Uni.	\$ 120.000	\$ 120.000
	9	Bujes	4	Uni.	\$ 25.000	\$ 100.000
	10	Soporte motor	1	Uni.	\$ 27.000	\$ 27.000
	11	Base fijación chasis	1	Uni.	\$ 60.000	\$ 60.000
	12	Polea conductora	1	Uni.	\$ 25.000	\$ 25.000
	13	Polea conducida	1	Uni.	\$ 25.000	\$ 25.000
	14	Correa	1	Uni.	\$ 10.700	\$ 10.700
	15	Base de deslizamiento	1	Uni.	\$ 6.000	\$ 6.000
	16	Perfil estructural	17	m	\$ 21.000	\$ 357.000
	17	Pie articulado ajustable	4	Uni.	\$ 21.000	\$ 84.000
	18	Bisagra	4	Uni.	\$ 7.000	\$ 28.000
	19	Manija	2	Uni.	\$ 8.000	\$ 16.000
	20	Fungibles	1	Gl	\$ 120.000	\$ 120.000
Subtotal						\$ 5.038.540
IVA 16%						\$ 806.166
Total parcial						\$ 5.844.706

Fuente: (Autor)

Los costos presentan todo lo concerniente para la construcción de la parte mecánica, desde el diseño, ensamble, partes componentes y materiales fungibles requeridos -tornillos, tuercas, tapas plásticas, conectores, otros-. Los ítems 1 y 2 pueden ser obviados según se explica más adelante (Ver Tabla No. 16). El ítem 3 no puede ser obviado ya que se requieren maquinados con herramientas especiales que el proveedor de la perfilería posee.

Tabla 14. Costo subsistema neumático

2. Sistema Neumático	Ítem	Descripción	Cantida	Unida	Precio Uni.	Precio Tot.
	1	Diseño neumático	32	h	\$ 30.000	\$ 960.000
	2	Ensamble neumático	16	h	\$ 30.000	\$ 480.000
	3	Unidad de mantenimiento FRL	1	Uni.	\$ 254.000	\$ 254.000
	4	Cilindro neumático de simple efecto	3	Uni.	\$ 128.500	\$ 385.500
	5	Válvula 3/2 vías	3	Uni.	\$ 213.600	\$ 640.800
	6	Válvula reguladora	3	Uni.	\$ 54.300	\$ 162.900
	7	Racor rápido de 1/8G	5	Uni.	\$ 12.300	\$ 61.500
	8	Manguera neumática	10	Uni.	\$ 4.200	\$ 42.000
	9	Fungibles	1	Gl	\$ 150.000	\$ 150.000
Subtotal					\$	3.136.700
IVA 16%					\$	501.872
Total parcial					\$	3.638.572

Fuente: (Autor)

Los costos presentan lo requerido para la construcción de la parte neumática, desde el diseño, ensamble, partes componentes y materiales fungibles requeridos –tornillos, tuercas, conectores, bases adhesivas, abrazaderas, otros-. Los ítems 1 y 2 pueden ser obviados según se explica más adelante (Ver Tabla No. 16). Como se indico anteriormente la Universidad EAN debe proveer la fuente de alimentación de aire comprimido.

Tabla 15. Costo subsistema eléctrico

3. Sistema Eléctrico Potencia y Control	Ítem	Descripción	Cantida	Unida	Precio Uni.	Precio Tot.
	1	Diseño eléctrico	24	h	\$ 30.000	\$ 720.000
	2	Ensamble eléctrico	32	h	\$ 30.000	\$ 960.000
	3	Motor eléctrico	1	Uni.	\$ 296.170	\$ 296.170
	4	Guardamotor magnético	1	Uni.	\$ 123.200	\$ 123.200
	5	Interruptor termomagnético	1	Uni.	\$ 80.400	\$ 80.400
	6	DPS	1	Uni.	\$ 380.800	\$ 380.800
	7	Variador de frecuencia	1	Uni.	\$ 514.800	\$ 514.800
	8	Gabinete	1	Uni.	\$ 759.550	\$ 759.550
	9	Sensor inductivo	1	Uni.	\$ 112.000	\$ 112.000
	10	Sensor fotoeléctrico	1	Uni.	\$ 172.000	\$ 172.000
	11	Sensor ultrasónico	1	Uni.	\$ 320.000	\$ 320.000
	12	PLC	1	Uni.	\$ 1.040.000	\$ 1.040.000
	13	HMI	1	Uni.	\$ 881.200	\$ 881.200
	14	Parada de emergencia	1	Uni.	\$ 185.000	\$ 185.000
	15	Fungibles	1	Gl	\$ 240.000	\$ 240.000
Subtotal					\$ 6.545.120	
IVA 16%					\$ 1.047.219	
Total parcial					\$ 7.592.339	

Fuente: (Autor)

Los costos indicados corresponden a lo requerido para la construcción de la parte eléctrica, desde el diseño, ensamble, partes componentes y materiales fungibles requeridos –tornillos, tuercas, cables, terminales, bases adhesivas, abrazaderas, otros-. Los ítems 1 y 2 pueden ser obviados según se explica más adelante (Ver Tabla No. 16). Como se indico anteriormente la Universidad EAN debe proveer la fuente de alimentación de energía eléctrica.

Se han solicitado cotizaciones de los diversos componentes de cada subsistema y se han plasmado (Ver Anexo A). El tiempo requerido para diseño y ensamble ha sido estimado según mi experiencia.

Para concebir la construcción de la celda en su totalidad y desde cero, se estima una inversión total de 17'075.618 COP con el IVA incluido. Sin embargo y según se indica el presupuesto requerido es de 9'280.418 COP con el IVA incluido, ya que el costo de diseño se plantea en el presente trabajo 4'732.800 COP con el IVA incluido y el ensamble puede ser realizado por los estudiantes y docentes de la Universidad EAN en los laboratorios, valor estimado 3'062.800 COP con el IVA incluido (Ver Tabla No. 16).

Tabla 16. Costo celda sin diseño y ensamble

Subtotal celda antes de IVA		\$	14.720.360
IVA	16%	\$	2.355.258
Total global		\$	17.075.618
Total con IVA sin diseño		\$	12.342.818
Total con IVA sin diseño y ensamble		\$	9.280.418

Fuente: (Autor)

De esta forma se puede obtener un ahorro de 7'795.200 COP con el IVA incluido

Conclusiones

Se han logrado plantear las formulas básicas para el diseño mecánico del sistema de transporte tomadas de diversas fuentes y se han seleccionado sus partes constitutivas más relevantes, siguiendo los parámetros dados por los fabricantes consultados y de acuerdo con las condiciones iniciales establecidas. Con ayuda del software Inventor se ha modelado el diseño físico de la celda y se han entregado los planos mecánicos de cada parte.

Se ha planteado y simulado un circuito neumático siguiendo el alcance de entrega de piezas de tres materiales diferentes y se han seleccionado sus partes según las recomendaciones y catálogo estandarizado de fabricantes como Festo.

Tomando como referencia las especificaciones y variables definidas de fabricantes como Schneider Electric, se han seleccionado los elementos de protección eléctrica para las personas y los bienes. Con la ayuda de la tecnología logramos tener el control para suministrar las piezas de una forma selectiva y ordenada; también la celda queda abierta a nuevos sistemas que deseen ser integrados.

De esta manera se ha concebido el diseño básico y conceptual de celda para manejo de materiales, logrando flexibilidad, fácil adaptación, seguridad y su apertura a ser integrada con otros sistemas.

Para que la información se pueda consultar de una forma práctica, se ha compilado en el Anexo A, un listado por subsistema que identifica los componentes, sus referencias y acceso a planos y especificaciones de cada parte. Adicionalmente se ha incluido un presupuesto para la construcción total de la celda, mostrando los ahorros que se pueden obtener con la ejecución del diseño y el ensamble en la Universidad EAN.

Se espera que este trabajo despierte el interés de las partes académicas y que sea un referente para la implementación de herramientas tecnológicas con el ánimo de estar vinculados con organismos nacionales e internacionales que promueven la investigación.

Al final lo que se busca es contar con sistemas cada vez más autónomos, controlados constantemente y que sintonizan sus componentes para aumentar el rendimiento general del sistema y la eficiencia en la producción.

Recomendaciones

Aplicando la información contenida en el presente documento se recomienda realizar la construcción de la celda con la cual se podrán plantear sistemas de control paso a paso, por lógica difusa, determinísticos, entre otros. De igual forma se pueden simular procesos de manufactura aplicando métodos como las redes de petri, procesos cíclicos, tiempos y movimientos, entre otros.

Abreviaturas

A: Superficie útil del émbolo
 ABC: Activity Based Costing (Costo basado en actividades)
 AC: Altern Current (Corriente Alterna)
 Amp: Amperio
 ANSI: American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares)
 B: Ancho cinta
 b: Ancho tambor
 C_1: Factor de servicio
 CAD: Computer Aided Design (Diseño Asistido por Computador)
 CC: Corriente Continua
 CEMA: Conveyors Manufactures (Fabricantes de transportadores)
 CIM: Computer Integrated Manufacturing (Manufactura integrada por computador)
 CNC: Computer Numerical Control (Control numérico computacional)
 CPU: Central Processing Unit (Unidad central de procesamiento)
 d: Diámetro mínimo del tambor motriz
 D_1: Diámetro polea mayor
 D_2: Diámetro polea menor
 d_c: Profundo cubo
 DIN: Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización)
 DPS: Dispositivo de Protección contra Sobretensiones
 e: Base de los logaritmos Neperianos
 E: Espesor cinta
 EMC: Electromagnetic Compatibility (Compatibilidad Electromagnética)
 ERP: Enterprise Resource Planner (Panificador de recursos empresariales)
 f: Frecuencia
 F: Fuerza de accionamiento en el tambor motriz
 F_F: Fuerza del muelle de recuperación
 F_n: Fuerza efectiva o real del émbolo
 F_R: Fuerza de rozamiento
 F_t: Fuerza teórica en el émbolo
 FMS: Flexible Manufacturing System (Sistema flexible de manufactura)
 g: Aceleración de la gravedad
 h_a: Altura del abombado
 h_c: Altura cubo
 h_m: Altura para entrega de piezas en la mesa
 HMI: Human Machine Interface (Interface Humano Máquina)
 I_n: Corriente nominal
 IEC: International Electrotechnical Commission (Comisión Internacional Electrotécnica)
 IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)
 ISO: International Organization for Standardization (Organización Internacional para la Estandarización)

JIT (Just In Time)
 l: Longitud cinta (mm)
 L: Longitud correa (mm)
 m_n: Masa de la pieza transportada
 Mc: Masa Cinta
 MES: Manufacturing Execution System (Sistema de ejecución de manufactura)
 Mr: Masa rodillos
 MRP (Material Requirements Planning)
 Mt: Masa total
 Mtb: Masa tambores
 n: No. Carreras por minuto
 N₁: Velocidad polea mayor
 N₂: Velocidad polea menor
 ø: Diámetro cilindro neumático
 p: Capacidad de transmisión tambor motriz / cinta
 P_A: Potencia mecánica del tambor motriz
 P_d: Potencia de diseño
 P_M: Potencia teórica del motor
 P_n: Potencia nominal
 p_t: Presión de trabajo
 PLC: Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable)
 Pt: Peso partes móviles
 PUR: Polyurethane (Poliuretano)
 PVC: Polyvinyl Chloride (Policloruro de vinilo)
 Q: Capacidad de la banda
 q_c: Consumo de aire
 Q_c: Consumo de aire en cilindros neumáticos
 q_G: Peso de la carga por unidad de longitud banda
 R: Resistencia nominal de capa
 R_t: Relación de transmisión
 RETIE: Reglamento Técnico de las Instalaciones Eléctricas
 S: Coeficiente de seguridad
 S_c: Carrera cilindro
 SCADA: System Control and Data Acquisition (Sistema de control y adquisición de datos)
 t: Voltaje
 T₁: Tensión de la cinta a la entrada en tambor motriz
 T₂: Tensión de la cinta a la salida del tambor motriz
 T_m: Tensión máxima de la cinta
 TCP/IP: Transmission Control Protocol/Internet Protocol (Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet)
 TPO: Thermoplastic Olefin (Oleofina Termoplástica)
 TPU: Thermoplastic Polyurethane (Poliuretano termoplástico)
 v: Velocidad de la banda
 V: Volumen de la pieza
 v₁: Velocidad lineal correa

v_{max} : Velocidad máxima de piezas a transportar
 v_{min} : Velocidad mínima de piezas a transportar
 v_n : Velocidad nominal de piezas a transportar
 w_c : Ancho cubo
 w_m : Ancho de la mesa para entrega de piezas
 $x_{<b}$: Mínimo desplazamiento de brazo robótico
 $x_{>b}$: Máximo desplazamiento de brazo robótico
 z : Número de Capas
 Δh : Altura entre base deslizante y cinta
 η : Eficiencia accionamiento
 μ : Coeficiente de rozamiento entre la cinta y el tambor motriz
 ρ : Densidad material
 φ : Ángulo del tambor motriz abrazado por la cinta

Bibliografía

- A, F. M. (2008). Building flexible manufacturing systems based on peer-its. *EURASIP Journal on embedded systems*, 15.
- Buenache, A. J. (2010, Julio 5). *Web sobre neumática*. Retrieved Junio 22, 2013, from Maqlab.uc3m.es/NEUMATICA/principal.htm:
http://maqlab.uc3m.es/NEUMATICA/Capitulo2/C2_apartado2.htm
- Cediel, P. (2009, Abril). *Coordinación de protecciones en baja tensión*. Retrieved Julio 19, 2013, from Schneider electric: <http://www.schneider-electric.com.co/documents/press-release/coordinacin-de-protecciones-bt.pdf>
- Córdoba, E. (2006, Diciembre 3). *Manufactura y automatización*. Bogotá D.C, Bogotá D.C, Colombia.
- Duque, J. C. (2013, Junio 16). *Renata*. Retrieved from Renata web site: publicaciones.renata.edu.co/index.php/RCEC/article/download/1/pdf
- Ertas, A. &. (1997). *The engineering design process*. New York: Editorial wiley international.
- Festo AG & Co., K. (2011). *Cátalogo de productos interactivo*. Esslingen, Baden-Württemberg, Alemania.
- Frazier, G. &. (2000). *Administración de producción y operaciones*. México: Thomson editores.
- Frazier, G. &. (2000). *Administración de producción y operaciones*. México: Thomson editores.
- Fúquene, C. M. (2013, Junio 15). *Redalyc*. Retrieved from Redalyc: www.redalyc.org/pdf/477/477111104.pdf
- Gómez, A. (2012, Septiembre 5). *Mantenimiento correctivo y seguridad*. Retrieved Julio 19, 2013, from Ciudadodelapc blogspot: <http://ciudadodelapc.blogspot.com/2012/09/blog-post.html>

Habasit, C. (2010). *Cintas transportadoras*. Retrieved Junio 16, 2013, from Grupo habasit:

http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=calculos%20de%20ingenieria%20para%20bandas%20transportadoras&source=web&cd=3&cad=rja&sqi=2&ved=0CD8QFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.habasit.com%2Fes%2FgetToolDownloadFile.htm%3FDocId%3D7836%26language%3D21&ei=_LIqUYuXFp

Hamrock, B. &. (2000). *Elementos de máquinas*. México: McGraw Hill.

Historia de la electricidad. (2013, Julio 19). Retrieved Julio 20, 2013, from Wikipedia, la enciclopedia libre:

http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Citar&page=Historia_de_la_electricidad&id=68465290

Kauman. (2013). Retrieved Junio 17, 2013, from Alen multimedia:

http://www.alenmultimedia.com/@demos/kauman/fichas_tecnicas/es_Calculo_de_Tensiones.pdf

Lista de precios Siemens 2013. (2013, Febrero 1). Retrieved Julio 19, 2013, from Industry

siemens: https://www.industry.siemens.com/home/.../lista_de_precios_colombia.pdf

Meixner, H. y. (1988). *Introducción en la neumática*. Alemania: Festo Didactic.

Monpín, J. (1973). *Electrotécnia teoría y problemas*. España: Ediciones don bosco.

Motores eléctricos. (2013, Julio 19). Retrieved from Mcgraw hill: [http://www.mcgraw-](http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf)

[hill.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf](http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf)

Norton, R. (2000). *Diseño de maquinaria*. Bellisco: McGraw Hill.

Pallás, R. (2001). *Sensores y acondicionadores de señal*. México DF: Alfaomega marcombo.

Schneider Electric, C. (2000). *Manual y catálogo del electricista*. Caracas: Schneider electric.

Schneider electric, c. (2009, Junio 03). *Schneider electric glogal download*. Retrieved 07 14, 2013, from Catálogo variadores de velocidad: [http://www.global-download.schneider-electric.com/852575770039EC5E/all/51D896220B0F1856852575CA006361B8/\\$File/catalogo%20altivar%20312.pdf](http://www.global-download.schneider-electric.com/852575770039EC5E/all/51D896220B0F1856852575CA006361B8/$File/catalogo%20altivar%20312.pdf)

Schneider electric, C. (2010). *Global detection catalogue*. Carros: Schneider electric.

Schneider Electric, c. (2011). *Grounding and electromagnetic compatibility*. Rueil malmaison: Schneider electric.

Schneider Electric, C. d. (2004). *Instalaciones en baja tensión*. Bogotá: Schneider Electric S.A.

Schneider electric, C. d. (2012, Abril 18). *LPE Colombia 2012*. Retrieved Julio 19, 2013, from Disinel: <http://disinel.com.co/LISTAS%20DE%20PRECIOS/SCHNEIDER.pdf>

Shivanand, H. B. (2006). *Flexible manufacturing system*. New delhi: New age international pvt Ltd publishers.

Universidad carlos III de madrid. (2013). Retrieved Junio 17, 2013, from <http://www.uc3m.es>: http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=une+18+052&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CDYQFjAA&url=http%3A%2F%2Focw.uc3m.es%2Fingenieria-mecanica%2Fingenieria-de-transportes%2Fmaterial-de-clase-1%2Fbandas_transportadoras.pdf%2Fat_download%2Ffile&ei=f4tWUcvsH4

University of Kentucky. (2013, Junio 16). Retrieved from [uky.edu: www.uky.edu/~dsianita/611/fms.html](http://www.uky.edu/~dsianita/611/fms.html)

Wikipedia, C. d. (2013, Junio 16). *Transportador de banda*. Retrieved from Wikipedia, la enciclopedia libre: http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Transportador_de_banda&oldid=65692461