



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
TRABAJO DE GRADO**



**REDISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE ALAMBRE PARA EL
DEVANADO EN UNA MÁQUINA CABLEADORA
DE CONDUCTOR DE ALUMINIO**

**POR:
LUIS FERNANDO ALVAREZ
C.I.: 17.237.737**

VALENCIA, ABRIL DE 2008



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
TRABAJO DE GRADO**



**REDISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE ALAMBRE PARA EL
DEVANADO EN UNA MÁQUINA CABLEADORA
DE CONDUCTOR DE ALUMINIO**

*TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO*

**POR:
LUIS FERNANDO ALVAREZ
C.I.: 17.237.737**

VALENCIA, ABRIL DE 2008



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
TRABAJO DE GRADO**



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para evaluar el Trabajo de Grado titulado **“REDISEÑO DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE ALAMBRE PARA EL DEVANADO EN UNA MÁQUINA CABLEADORA DE CONDUCTOR DE ALUMINIO”**, realizado por el bachiller: Luis Fernando Alvarez, cédula de identidad: 17.237.737, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo de grado.

Prof. Luis Waldo Escalona
Tutor

Dr. Luis Valles
Jurado

Prof. José Gutierrez
Jurado

VALENCIA, ABRIL DE 2008



DEDICATORIA

A mi familia,

Por ser el pilar de apoyo en cada momento de mi vida.

A mi madrina,

Por probar que si se puede tener una segunda madre.

A mis amigos,

Porque sin ustedes no hubiera podido lograrlo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios,

Por nunca abandonarme en el transcurso de mi carrera.

A mi tutor el Profesor Luis Escalona,

Por su dedicación y apoyo en el desarrollo de este trabajo de grado.

A los profesores del jurado,

Por su completa colaboración.

Al personal de Phelps Dodge International (sede ALCAVE),

En especial a la Ingeniera María Teresa Soto y al Ingeniero Luis Colorado,

Por toda la ayuda prestada.

A Hector Ruiz y Cristhian Lamas,

Por su invaluable colaboración en la realización de este trabajo de grado.

RESUMEN

La premisa de este trabajo se basa en la problemática que en la actualidad presenta el proceso de producción de la empresa ALCAVE C.A., específicamente la máquina Buncher 1600 del área de cableado, la cual está generando tiempos muertos elevados como consecuencia de fallas en el suministro del alambre para el devanado y por ende ocasionando *cuellos de botella* en el proceso como un todo.

El estudio comenzó con un análisis exhaustivo de las causas y consecuencias que pueden generar la existencia de tiempos muertos, así como también de las condiciones actuales de funcionamiento de la línea de cableado. Se determinó que el devanado del alambre se lleva a cabo a través de cestas de alimentación que deben ser trasladadas por el montacargas desde la zona de trefilación, generando retrasos durante cada cambio de proceso.

Se procedió a buscar alternativas que pudieran solventar la situación, hasta encontrar que la mejor solución era diseñar un dispositivo de alimentación continua que permitiera la continuidad del proceso de cableado cada vez que las cestas contenedoras del alambre se vaciaran. Dicho mecanismo se basó en transportadores de rodillos a gravedad, sobre los cuales se deslizan las cestas de alimentación con la ayuda de una barra de empuje sostenida por dos actuadores lineales sin vástago, que a su vez son elevados por 4 cilindros guiados. El sistema de control se basó en lógica programa o PLC.

El proyecto resultó económicamente rentable porque pudo demostrarse que la inversión puede ser recuperada en un período menor a dos años, generando de igual forma un aumento en la producción de cable conductor de aluminio.

ÍNDICE GENERAL

TÓPICO	PÁGINA
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	11
1.1 Planteamiento del Problema	11
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivo General	14
1.2.2. Objetivos Específicos	14
1.3. Justificación de la Investigación	15
1.4. Limitaciones	15
1.5. Delimitaciones	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes de la Investigación	17
2.2. Bases Teóricas	19
2.2.1. Descripción del proceso de elaboración de cables en ALCAVE	19
2.2.2. Descripción del proceso de cableado en la máquina Buncher 1600	23
2.2.3. Conductores de aluminio. Definición e importancia	25
2.3. Transportadores de rodillos	29
2.3.1. Componentes de un Transportador de Rodillos	31
2.3.2. Tipos de Transportadores de Rodillos	32
2.3.3. Ancho del transportador y separación entre rodillos	33
2.3.4. Tipos de rodillos transportadores	33
2.3.5. Capacidad de carga de los rodillos transportadores	34
2.4. Fundamentos básicos de Electroneumática	35
2.4.1. Dispositivos eléctricos más comunes usados en Electroneumática	36
2.4.2. Electrohidráulica	39
2.4.3. Programmable logic controller (PLC)	40
2.5. Definición de términos básicos	43

TÓPICO (Continuación)	PÁGINA
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	48
3.1. Nivel de la Investigación	48
3.2. Diseño de la Investigación	48
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	50
4.1. Condiciones operacionales actuales del devanado en el proceso de cableado de la máquina Buncher 1600	50
4.2. Descripción y funcionamiento del sistema diseñado	58
4.3. Diseño del transportador de rodillos	63
4.3.1. Estudio de posibles cargas actuantes	63
4.3.2. Cálculo del diámetro de los rodillos	67
4.3.3. Selección de la viga de soporte de los rodillos	71
4.4. Diseño de la barra de empuje	72
4.4.1. Cálculo de la Fuerza de empuje	
4.4.2. Estudio de las cargas. Diseño a corte y flexión de la barra	77
4.5. Selección del actuador lineal sin vástago	79
4.6. Selección del actuador guiado (sube y baja)	85
4.7. Selección de electroválvulas	91
4.8. Diseño del sistema de control	95
4.8.1. Memoria descriptiva	95
4.9. Estudio de factibilidad económica	107
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114
BIBLIOGRAFÍA	116
APÉNDICES	120
ANEXOS	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Nº	FIGURA	PÁGINA
1.1	Diagrama del Proceso de Producción de Alcave C.A	12
1.2	Imagen de la máquina cableadora Buncher 1600	12
1.3	Cestas de Alimentación contenedoras de alambre	13
1.4	Transporte de las cestas a través de montacargas	13
2.1	Lingotes de aluminio dispuestos para ser fundidos en los hornos	19
2.2	Horno de fundición de 32TM de la línea FENN	20
2.3	Rollos de alambón al salir de los recogedores	21
2.4	Momento en el que la máquina de trefilado llena una cesta de alimentación con alambre	22
2.5	Cable conductor de aluminio terminado	22
2.6	Esquema de la Máquina Cableadora Buncher 1600	23
2.7	Sección Transversal de diversos tipos de conductores de aluminio	24
2.8	Plato Guía o de formación	24
2.9	Foto de la Máquina Cableadora Tipo Buncher 1600	25
2.10	Cable Conductor de Aluminio	26
2.11	Sección transversal de cables conductores de aleación de aluminio (AAC)	27
2.12	Sección transversal de cables conductores ACSR	28
2.13	Estructura Interna de un Rodillo Transportador con sus partes	30
2.14	Rodillos Transportadores	31
2.15	Transportadores de Rodillos	31
2.16	Rodillos Transportadores con tubo de acero con detalle de la estructura interna	33
2.17	Diversos tipos de pulsadores electrónicos	36
2.18	Representación simbólica de un relevador	37
2.19	Funcionamiento de un relé o relevador	38
2.20	Distintos tipos de válvulas electroneumáticas	39
3.1	Diagrama de etapas para la elaboración del proyecto	49
4.1	Layout de ALCAVE (sede Conal)	51
4.2	Gráfico de tiempo muerto vs. día del mes para el 1er. turno de trabajo	53
4.3	Gráfico de tiempo muerto vs. día del mes para el 2do. turno de trabajo	54

Nº	FIGURA (Continuación)	PÁGINA
4.4	Gráfico de tiempo muerto vs. día del mes para el 3er. turno de trabajo	54
4.5	Gráfico de Operatividad de la máquina vs. Parada por concepto de demoras en el devanado	55
4.6	Vista general del sistema diseñado con sus partes	57
4.7	Ubicación de la última cesta de alimentación llena en la zona de carga por medio del montacargas	58
4.8	Ubicación de las cestas de alimentación al final de la zona de carga	59
4.9	Ubicación de las cestas de alimentación en la zona de devanado	60
4.10	Ubicación de las cestas de alimentación en la zona de despacho	61
4.11	Representación gráfica del criterio de Von Mises	65
4.12	Diagrama de corte y momento para un rodillo transportador estudiado para su condición más crítica	67
4.13	Disposiciones constructivas de vigas UPL a nivel del suelo	70
4.14	Diagrama de cuerpo libre de una cesta de alimentación llena	72
4.15	Gráfico de fuerza de roce en función de la Fuerza de Empuje	73
4.16	Representación gráfica de la fuerza de empuje total	75
4.17	Dimensiones de la sección transversal de la barra de empuje	76
4.18	Diagrama de corte y momento para la barra de empuje	77
4.19	Representación gráfica de las placas de sujeción de la barra de empuje	79
4.20	Diagrama de cuerpo libre de la placa de sujeción de la barra de empuje	79
4.21	Ubicación de cargas en un actuador lineal sin vástago	82
4.22	Imagen del actuador lineal sin vástago	84
4.23	Ubicación de la barra de empuje y el carro móvil justo encima del cilindro guiado	85
4.24	Diagrama de cuerpo libre del actuador guiado	86
4.25	Funcionalidad del actuador guiado de vástago simple	88
4.26	Imagen del cilindro guiado de vástago simple con guía de rodamientos	88
4.27	Imagen de la electroválvula de 5/3vías	91
4.28	Ubicación de los actuadores y los Sistema de empuje 1 y 2	94
4.29	Diagrama electroneumático de actuadores y electroválvulas	101
4.30	Diagrama de conexiones eléctricas del sistema diseñado	102

Nº	FIGURA (Continuación)	PÁGINA
4.31	Diagrama de funcionamiento del sistema diseñado	103
4.32	Programación en escalera del sistema diseñado	104
4.33	Flujos monetarios para una escala de tiempo de 2años (condiciones actuales)	112
4.34	Flujos monetarios para una escala de tiempo de 2años (condiciones con el rediseño)	113

ÍNDICE DE TABLAS

Nº	TABLA	PÁGINA
4.1	Valores de tiempo muerto por día del mes durante los 3 turnos de trabajo	52
4.2	Características mecánicas generales del acero al carbono 1040	66
4.3	Características de los rodillos transportadores seleccionados	69
4.4	Propiedades estandarizadas de perfiles UPL	71
4.5	Denominación de elementos del sistema de control	97
4.6	Costo de equipos y materiales a utilizar en el sistema diseñado	108
4.7	Parámetros de evaluación	109
4.8	Valor agregado del costo del conductor por etapa de producción de la empresa	111

APÉNDICES

Nº	TABLA	PÁGINA
A-1	Datos de tiempo muerto en la máquina Buncher 1600 para los tres turnos de trabajo durante la semana del 01 al 06 de octubre de 2007	121
A-2	Datos de tiempo muerto en la máquina Buncher 1600 para los tres turnos de trabajo durante la semana del 08 al 13 de octubre de 2007	123
A-3	Datos de tiempo muerto en la máquina Buncher 1600 para los tres turnos de trabajo durante la semana del 15 al 20 de octubre de 2007	125
A-4	Datos de tiempo muerto en la máquina Buncher 1600 para los tres turnos de trabajo durante la semana del 15 al 20 de octubre de 2007	127
A-5	Propiedades mecánicas típicas de los aceros al carbono	129
A-6	Manual de estructuras de acero, Perfiles UPL	130
A-7	Coeficiente de fricción en rodillos	134
A-8	Factor de seguridad en materiales dúctiles	135
A-9	Propiedades mínimas a la tensión del metal soldante para soldadura de arco	136
A-10	Posible solución planteada como respuesta al problema planteado	137

INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más industrializado, las empresas buscan constantemente superarse a sí mismas, obteniendo resultados positivos por parte de sus empleados y así poder llevar a cabo una producción sin retrasos. La mayoría de las empresas presentan un proceso de producción tipo cadena, donde cada zona de la planta depende de la anterior; es por esto que se debe contar con el mayor grado de optimización posible de los procesos para de esta forma disminuir los llamados “cuellos de botella” y no retrasar la entrega del producto terminado.

Todo lo anterior se ve perjudicado cuando en un proceso o una máquina específica los tiempo muertos tienden a aumentar constantemente, en especial cuando se generan por causas externas a la maquinaria misma o por falta de mejoras en los procesos de elaboración de los productos.

En el caso particular de una empresa que fabrica cables conductores de aluminio, es importante contar con procesos operacionalmente estables y que no representen un retraso en la producción. Este trabajo de grado busca mejoras en el proceso del devanado de una máquina cableadora de conductor de aluminio con la finalidad de disminuir al máximo la presencia constante de tiempos muertos y así lograr una continuidad permanente en la fabricación de cables.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

En Phelps Dodge (Alcave C.A.), empresa dedicada a la elaboración de conductores de aluminio a partir de materia prima como alambrón de cobre, de aluminio y compuesto de plástico, se pueden fabricar diversidad de alambres, cables eléctricos y para telecomunicaciones. Los productos más fabricados son el alambre de construcción y esmaltado, cables de potencia y de alto voltaje, cable telefónico y automotriz, y otros como alambre de cobre desnudo y enchapado, y conductores de alta resistencia en aleación de cobre.

El proceso de fabricación, consiste inicialmente en calentar los lingotes de aluminio a una temperatura promedio de 700°C. Al fundirse, el aluminio es solidificado nuevamente y se le da forma de barra de perfil rectangular, para luego pasar a través de un proceso inicial de laminado, donde se producen largas hileras de alambre grueso, de perfil circular, denominado alambrón. Luego, el alambrón se trefila, removiendo el exceso de material y dando como resultado diversos tipos de alambre, de diámetros menores que el alambrón. Al final de esta etapa, el material es embobinado y dispuesto para ser cableado, que no es más que un proceso de torsión que permite unir varias hileras de alambre para formar lo que se conoce como conductor. En este proceso existen dos opciones: vender el conductor terminado a la industria eléctrica para ser usado como cables de alta tensión, o completar el proceso a través de una extrusión, proceso en el cual el conductor es aislado con plástico, y así venderlo como cables de alta y baja tensión subterráneos y marítimos. El diagrama del proceso de fabricación del conductor se muestra en la figura N° 1.

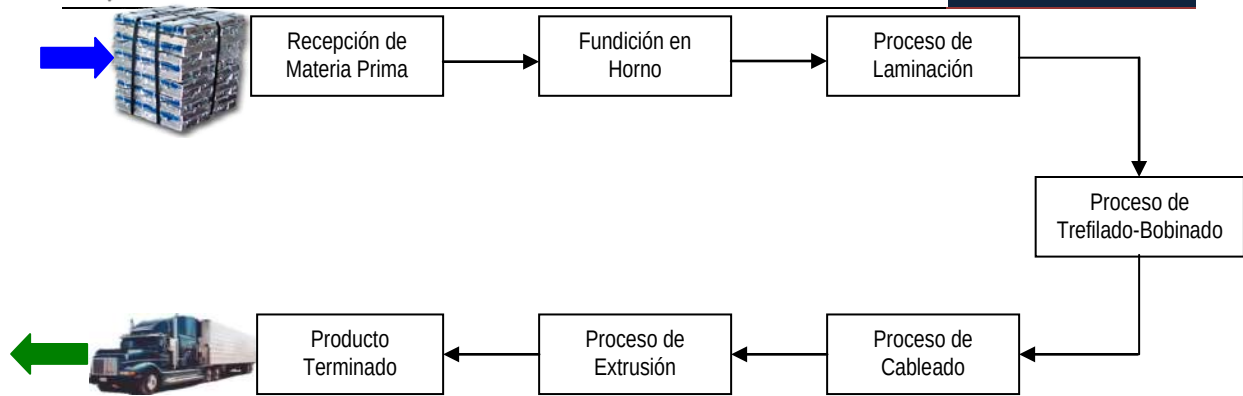


FIGURA N°1.1: Diagrama del Proceso de Producción de Alcave C.A.
(Fuente: L. Alvarez, 2007)

Así que en Alcave el proceso de cableado se realiza en tres (3) Máquinas, llamadas cableadoras tipo Buncher: dos de ellas son denominadas 1250 y una denominada 1600, donde se enfoca este estudio (Ver Figura N°2). Cada máquina cableadora consta de dos partes: el sistema de suministro de alambre (compuesto por cestas y bobinas de alambre para el devanado, el sistema tensor y las hileras), y un sistema de torsión denominado “CDT” que permite la unión de las hileras de alambre, para así formar el conductor dándole su forma característica, y finalmente disponerlo en carretes para su despacho comercial.



FIGURA N°1.2: Imagen de la máquina cableadora Buncher 1600.
Fuente: Instructivo de operación de la máquina cableadora Buncher 1600 (Alcave C.A.)

El alambre a ser cableado, se coloca en cestas (Figura N°3) que deben ser transportadas por montacargas (Figura N°4) desde su ubicación inicial hasta su colocación en la máquina. En el proceso de cableado se requiere en ocasiones de hasta 18 cestas de alambre, siendo necesario transportar una por una, lo que genera grandes retrasos en el momento de sustituir cestas vacías por cestas llenas. En la actualidad dicha acción genera las siguientes consecuencias:

- ➔ Tiempo muerto elevado de aproximadamente una hora durante el cambio de proceso.
- ➔ Interrupción del proceso de fabricación del conductor de aluminio.
- ➔ Demoras en el proceso de producción.



FIGURA N°1.3: Cestas de Alimentación contenedoras de alambre.
(Fuente: L. Alvarez, 2007)

En un proceso de producción donde las etapas dependen unas de las otras, lo anterior se presenta como una situación crítica que requiere ser solucionada.



FIGURA N°1.4: Transporte de las Cestas a través de Montacargas.
(Fuente: L. Alvarez, 2007)

Plantear un rediseño del mecanismo de suministro de alambre a través de cestas de alimentación, que elimine la intervención del montacargas al momento del cambio de proceso de cestas vacías por cestas llenas, permitiría disminuir al máximo el tiempo muerto y por ende aumentar la producción del conductor de aluminio.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Rediseñar el sistema de suministro de alambres para el devanado en una máquina cableadora de conductores de aluminio.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características operacionales del sistema actual de suministro de alambre para el devanado del proceso de cableado.
- Realizar el diseño mecánico del sistema de suministro de alambre para el devanado de la máquina cableadora.
- Realizar el diseño del sistema de control requerido para que el suministro de alambre para el devanado se haga de manera semi-automática.
- Determinar la factibilidad económica del diseño planteado.

1.3. Justificación de la Investigación

En la actualidad el proceso de cableado en Alcave presenta deficiencias que generan consecuencias negativas de tipo económico y técnico. Es una etapa del proceso de producción que se caracteriza por ser muy manual, que por el hecho de tener físicamente muy involucrados a los operarios, necesariamente ocasiona retrasos en la producción y continuo deterioro de la maquinaria. Esta investigación contribuirá a la disminución de los tiempos muertos que se generan a consecuencia de que el proceso de devanado se realiza a través de cestas de alimentación, que tienen que ser transportadas individualmente a través de un montacargas; permitirá aumentar la producción, ya que agiliza el cambio de proceso de cestas vacías a cestas llenas; ayudará a eliminar los retrasos en la entrega del producto final a los clientes; mejorará las condiciones de trabajo de los operadores, disminuyendo esfuerzos físicos innecesarios y por último contribuirá a la continuidad del proceso de producción, evitando cuellos de botella y paradas de maquinaria.

1.4. Limitaciones

- ⊗ La información disponible referente al proceso y maquinaria está sujeta a políticas de confidencialidad de la empresa, por lo que el acceso a las fuentes es limitado.
- ⊗ El acceso a la planta está permitido durante un período máximo de cuatro meses, por lo que el tiempo dispuesto para el desarrollo de la investigación es limitado, utilizando aproximadamente de 18 a 24 horas semanales.
- ⊗ La máquina cableadora tipo Buncher 1600 utiliza dos procesos diferentes para el devanado del alambre: cuando el suministro se realiza a través de bobinas no se utilizan cestas de alimentación, y viceversa. El rediseño debe permitir la alternabilidad y utilización de ambos procesos.
- ⊗ El espacio físico dispuesto para la elaboración del diseño es limitado.

1.5. Delimitaciones

- ⊗ El análisis y desarrollo de la investigación se ubicará solamente en el sistema de suministro de alambre para el devanado de la máquina cableadora Buncher 1600, propiedad de Phelps Dodge de Venezuela, sede Conal.
- ⊗ El estudio estará basado únicamente en el sistema de suministro de alambre para el devanado que se realiza a través de cestas de alimentación.
- ⊗ El trabajo contempla el diseño del sistema más no su implementación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

A continuación se muestran algunos recaudos de trabajos investigativos anteriores que guardan cierta relación con el presente, y que son de interés para el desarrollo del mismo:

- ⊗ **Fuentes I. y Mora J. [2007]**, desarrollaron un proyecto titulado “Diseño de un sistema automatizado de posicionamiento de botellas en una línea de decorado de envases de vidrio”, el cual permitía buscar soluciones a fallas en el sistema de posicionamiento de botellas que se originaban como consecuencia del desgaste de piezas en contacto, a raíz de las altas velocidades a las que operaba la maquinaria.

El diseño del sistema mecánico estuvo basado en el análisis resistivo de cada una de las partes que conformaban el conjunto de posicionamiento, mientras que el sistema de control se diseñó considerando fundamentalmente la velocidad de respuesta de sus componentes. Comprobaron la rentabilidad de la propuesta y concluyeron que el diseño no fallaría desde el punto de vista resistivo. Lograron que la ubicación de las botellas cumpliera con los requerimientos en lo que respecta al tiempo de respuesta necesario en los elementos que componían el lazo de control.

- ⊗ **Rivero T. y Velásquez J. [2006]**, realizaron un trabajo de grado titulado “Rediseño del sistema de transporte de latas para la línea de llenado y etiquetado en una empresa alimenticia”. La finalidad de este proyecto residía en la necesidad de disminuir los esfuerzos físicos realizados por los operarios, ya que el proceso se llevaba a cabo de forma netamente manual.

Se diseñó nuevamente el sistema de transporte, seleccionando cada uno de los componentes de los sistemas, y rediseñando las partes que fueran necesarias. El proyecto resultó económicamente factible, logrando disminuir la probabilidad de los operadores a sufrir enfermedades y accidentes ocupacionales, así como también optimizar el sistema mediante un sistema automatizado.

- ⊗ **Bonilla-Mercado, J. C. [2003]**, en su trabajo titulado “Rediseño del sistema de sujeción del cilindro de alimentación de una máquina de devanado para la planta CRISOL TEXTIL S.A.”, se planteó hacer algunas modificaciones al sistema de devanado de dicha máquina con la intención de mejorar su eficiencia y por ende la producción.

Se hizo un análisis exhaustivo del proceso de devanado, estudiando las zonas críticas que ocasionaban fallas en la producción. Rediseñó componentes de la maquinaria que presentaban deterioros, y seleccionó otros que debían ser reemplazados completamente. El proyecto resultó económicamente rentable, logrando que el costo de la producción, el consumo de energía y la mano de obra disminuyeran, generando así un aumento considerable en la producción.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Descripción del proceso de elaboración de cables en ALCAVE

La materia prima es recibida en forma de lingotes de aluminio de diversas aleaciones como 1350, 6201 y 8176, tal como se muestra en la figura N°2.1. Estos lingotes provienen de los yacimientos ubicados en el Edo. Bolívar, y son proporcionados por Alucasa y Venalum.



FIGURA N°2.1: Lingotes de aluminio dispuestos para ser fundidos en los hornos
(Fuente: L. Alvarez, 2007)

ALCAVE sede Conal, cuenta con dos líneas de fundición: la línea SECIM, donde se procesa aluminio de todas las aleaciones, y la línea FENN donde solamente se funde aluminio de aleación 1350. Ambas líneas poseen hornos de fundición de diversas capacidades, basculantes para su fácil desalojo; unos son de 16TM y otros de 32TM, como es el caso de FENN (Figura N°2.2). La temperatura de fusión alcanzada en el interior de estos hornos llega hasta un promedio de 700°C, logrando que el aluminio sufra una transformación en sus propiedades físicas pasando de estado sólido a líquido. Durante este proceso de fundición se agrega una sal fundente que permite eliminar la escoria libre de aluminio que se acumula dentro del baño. Esta actividad se hace con ayuda del montacargas, como forma inicial de purificación de la colada.



FIGURA N°2.2: Horno de fundición de 32TM de la línea FENN. (Fuente: L. Alvarez, 2007)

Posteriormente el aluminio fundido ahora en forma de colada pasa a través de otros procesos de purificación como el sistema Alpur, cuyo funcionamiento consiste en inyectar una corriente de argón con la finalidad de eliminar, mediante un proceso de flotación, la escoria presente en el aluminio. A continuación se filtra la colada utilizando un filtro cerámico, como paso final de limpieza.

Seguidamente el aluminio fundido entra a la rueda de colada que es un mecanismo donde la colada es enfriada y se le da forma de barra de sección transversal rectangular; la colada entra en una rueda de igual sección transversal y a medida que la misma gira, una serie de regaderas bañan el mecanismo para así, de forma gradual, lograr la solidificación de la barra. Más adelante de forma manual la barra es sacada por los operarios para ser ubicada en posición y continuar su recorrido a través de la línea. En el momento que la barra ya está sólida, se toman muestras que se llevan al laboratorio para analizar la composición química en esa etapa del proceso.

El recorrido de la barra sólida continúa y entra al laminador, cuyo principio de funcionamiento se basa en una serie de cajas laminadoras que soportan rodillos en voladizo y permiten la reducción de sección de barra; mientras una caja aplanla la

barra en un plano horizontal, la otra la plana en un plano vertical, así sucesivamente hasta recorrer las diez cajas laminadoras. Desde el panel de control se estabilizan los parámetros de funcionamiento de cada caja, desde la velocidad de los motores hasta el flujo del refrigerante, así como también se controlan las paradas de emergencia y se verifican fallas a lo largo del laminador.

Al final del proceso, la última caja le da forma circular a la barra, generando así el alambión, de aproximadamente 10mm de diámetro.

Finalmente los Recogedores, son los encargados de almacenar el alambión que sale del laminador y se disponen como se muestra en la figura N°2.3.



FIGURA N°2.3: Rollos de alambión al salir de los recogedores. (Fuente: L. Alvarez, 2007)

Luego estos rollos de alambión son recogidos con el montacargas y transportados hasta la zona de trefilado, donde varias máquinas tienen la finalidad de disminuir el diámetro del alambión hasta llegar a lo que se conoce comercialmente como alambre de diversos espesores. El alambre que se produce en la zona de trefilación se almacena de dos formas: en carretes o bobinas, y en cestas de alimentación, tal como se muestra en la figura N°2.4.



FIGURA N°2.4: Momento en el que la máquina de trefilado llena una cesta de alimentación con alambre. (Fuente: L. Alvarez, 2007)

A continuación, el alambre es trasladado con el montacargas hasta la zona de cableado cuyo proceso consiste en unir mediante torsión varias hileras de alambre hasta lograr su forma específica que lo caracteriza como conductor de aluminio. En caso de que la utilización del conductor involucre condiciones como por ejemplo subterráneas, el mismo es aislado mediante un proceso de extrusión en donde se recubre con material como PVC dependiendo de los requerimientos del cliente, hasta quedar como se muestra en la figura N°2.5:



FIGURA N°2.5: Cable conductor de aluminio terminado
(Nótese la capa de aislante en negro).

Fuente: <http://www.generalcable.es/DesktopModules/Articles/>

2.2.2. Descripción del Proceso de Cableado en la Máquina Buncher 1600

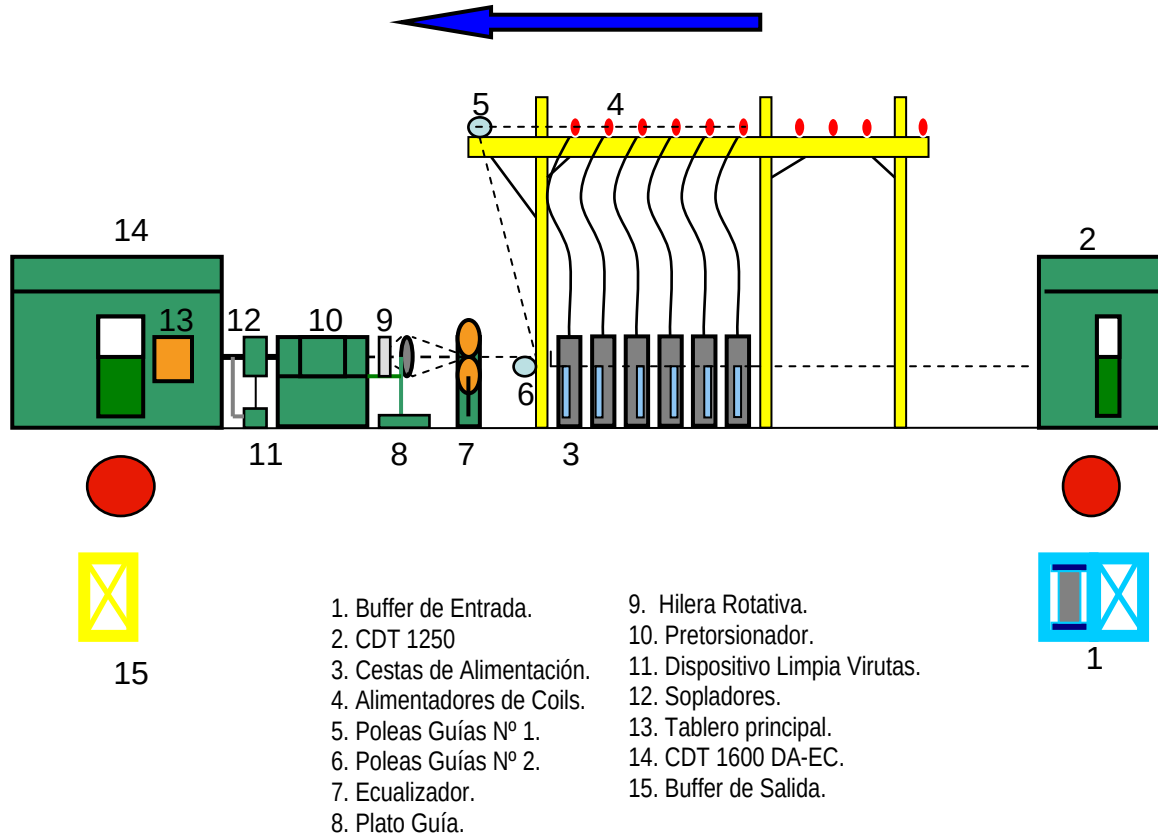


FIGURA N°2.6: Esquema de la Máquina Cableadora Buncher 1600.

Fuente: Instructivo de Operación Máquina Cableadora Buncher 1600.

Luego de ser Trefilado, el alambre pasa a través de un proceso de cableado previo, se bobina y se ubica en el Buffer de Entrada (1), en forma de conductor de aluminio. Este conductor servirá de núcleo al que posteriormente saldrá resultante del proceso de cableado en la máquina Buncher 1600, tal como se muestra en la figura N°2.7. La bobina ubicada en (1) se coloca en posición en el Sistema CDT 1250 (2); el conductor es atado al sobrante del proceso anterior, el cual atraviesa toda la máquina hasta el sistema CDT 1600 (14).

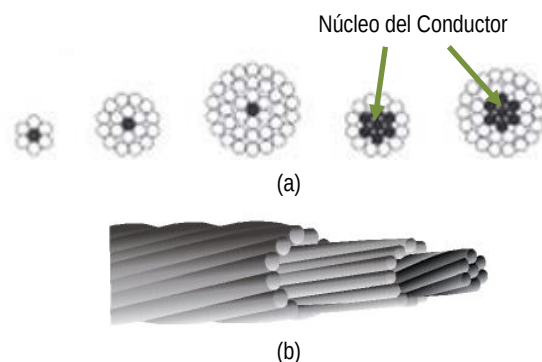


FIGURA N°2.7: Sección Transversal de diversos tipos de conductores de aluminio.
(a) Nótese el detalle del núcleo del conductor. (b) Vista tridimensional del Núcleo.

Fuente: Catálogo de productos de Phelps Dodge International

Las Cestas de Alimentación (3) contienen alambre recién trefilado, que formará parte del recubrimiento del núcleo del conductor. Este alambre se hace pasar a través de los Alimentadores de Coils (4), cuya función es desenrollar el alambre y a la vez someterlo a tensión. Con la intención de canalizar su dirección, cada hilo se hace pasar a través de las Poleas Guías (5 y 6), para luego atravesar el Ecualizador (7), que iguala las tensiones de los hilos de cada capa. A continuación, el Plato de Formación o plato Guía (8) permite variar el ángulo de incidencia de los hilos sobre el núcleo, tal como se observa en la figura N°2.8.



FIGURA N°2.8: Plato Guía o de formación. (**Fuente:** L. Alvarez, 2007)

La hilera rotativa (9) y el Pretorsionador (10) tal como lo indican, dan torsión a los alambres para así generar la forma inicial y característica del conductor. El Limpia Virutas y el Soplador (11 y 12 respectivamente), remueven todo tipo de

material de exceso que contenga el conductor. Dentro del sistema CDT 1600, se termina de dar torsión al conductor y se bobina para su posterior colocación en el Buffer de Salida (15). El conjunto como un todo se puede observar a continuación en la figura N°2.9.



FIGURA N°2.9: Foto de la Máquina Cableadora Tipo Buncher 1600 con detalle de las cestas, el sistema tensor y las hileras. (Fuente: L. Alvarez, 2007)

2.2.3. Conductores de Aluminio. Definición e Importancia

Un cable conductor de aluminio es aquel que se constituye en la unión de varios hilos de alambre, fabricados con diversas aleaciones y torsionados de manera tal que cada capa de hebras está cableada en sentido contrario a la anterior. Su función es transmitir energía eléctrica, y pueden ser usados superficialmente o de forma subterránea. La Figura N°2.10 muestra una imagen de un conductor de aluminio desnudo.



FIGURA N°2.10: Cable Conductor de Aluminio
Fuente: Catálogo de productos de Phelps Dodge International

Existen diversos tipos y denominaciones de conductores de aluminio, éstos varían de acuerdo a las especificaciones del cliente, y se reconocen dependiendo de sus medidas y de la aleación de la que están fabricados. A continuación se muestran los principales tipos de cables conductores de aluminio.

a. Cables de Aleación de Aluminio 1350 (AAC)

El cable AAC es un conductor cableado concéntrico que se compone de una o de varias capas de alambres de aluminio 1350, que puede ser suministrado con diversas clases de cableado y de temple para atender mejor a los requisitos de aplicación. Los cables de aluminio de este tipo son clasificados, de acuerdo con la clase de cableado, de la siguiente manera: Clase AA: Cables conductores desnudos utilizados normalmente para instalaciones aéreas. Clase A: Cables conductores destinados a ser recubiertos con materiales resistentes a las intemperies y cables conductores desnudos para aplicaciones que exigen mayor flexibilidad que la que es proporcionada por los cables de clase AA. En la figura 2.11 se muestra una ilustración de las combinaciones de cableado y formación de los cables AAC.

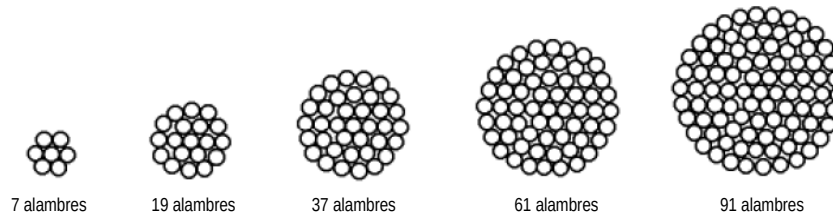


FIGURA N°2.11: Sección transversal de cables conductores de aleación de aluminio (AAC)
Fuente: Catálogo de productos de Phelps Dodge International

b. Cables de Aleación de Aluminio 6201 (AAAC)

El Cable de Aleación de Aluminio es un conductor cableado concéntrico que se compone de una o de varias capas de alambres de aleación de aluminio 6201-T81. Fue desarrollado para atender a las necesidades de un conductor económico para aplicaciones en circuitos aéreos que requieren una resistencia mecánica mayor que la que es proporcionada por el conductor de aluminio AAC, y mayor resistencia a la corrosión que la que es proporcionada por el cable de aluminio con alma de acero ACSR. Los Conductores de Aleación de Aluminio 6201-T81 son más duros y tienen, por lo tanto, mayor resistencia a la abrasión que los conductores de aluminio 1350. Sin embargo, al manipular los Conductores de Aleación de Aluminio hay que tomar las mismas precauciones que para manipular los conductores AAC y ACSR. Las combinaciones de cableado de los cables de aleación de aluminio son muy semejantes a las de los cables AAC.

Los cables no se seleccionan como un rubro separado de una línea aérea, se seleccionan por consideraciones económicas que implican el costo instalado de la línea, conjuntamente con los requerimientos financieros relacionados con su operación, tales como las pérdidas de energía, intereses sobre capital, depreciación.

c. Cables de aluminio reforzado con acero (ACSR)

El cable ACSR es un conductor cableado concéntrico que se compone de una o de varias capas de alambres de aluminio 1350 de temple duro (H19) y de un núcleo (alma) de acero galvanizado de elevada resistencia mecánica. Según las dimensiones del cable, el alma puede ser formada por un solo alambre de acero o por varios alambres de acero cableados. Gracias a las innumerables combinaciones de alambres de aluminio y de acero que son posibles, se puede variar las proporciones entre los mismos de modo que se obtenga la mejor relación entre capacidad de transporte de corriente eléctrica y resistencia mecánica para cada tipo de aplicación. El núcleo (alma) de acero puede ser suministrado con tres tipos de recubrimiento de galvanización: Clases A, B y C. Para una protección mejor en ambientes de extrema corrosión, se recomienda la utilización de galvanización Clase B o C. Se produce una cierta reducción de la resistencia mecánica total cuando se utilizan estos tipos de galvanización. (phelpsdodgespanish.com)

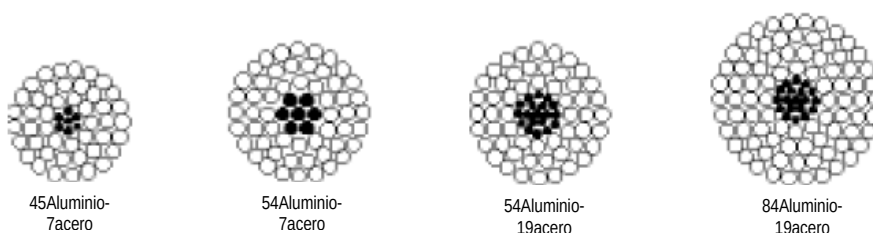


FIGURA N°2.12: Sección transversal de cables conductores ACSR

Fuente: Catálogo de productos de Phelps Dodge International

Fabricación de los hilos (alambres)

La aleación de aluminio se trefila a partir del alambrón o varilla, estas varillas se someten a un tratamiento térmico en solución y una vez trefilado el alambre se somete a un envejecimiento artificial. El envejecimiento artificial y el tratamiento térmico son esenciales para obtener óptimas propiedades mecánicas y eléctricas.

Fabricación del cable

Se usan las mismas cableadoras que fabrican los cables de aluminio. Las especificaciones del paso y cambio de dirección de las capas son aplicables a los cables de aleación de aluminio. En las aleaciones se requiere una operación de conformación al cablear los alambres para asegurar máxima estabilidad del cable y buenas características de manejo.

Ventajas que ofrecen los cables AAC, AAAC y ACSR.

- A. Permite el empleo de postes de construcción más ligera.
- B. Buena conductividad eléctrica.
- C. Elevadas sobrecargas.
- D. Bajas pérdidas de corona.
- E. Alta resistencia térmica.
- F. Resistente a las influencias atmosféricas.
- G. Buen comportamiento a las variaciones de temperaturas.
- H. Cables homogéneos con accesorios sencillos.
- I. No presentan problemas electromagnéticos.
- J. Los cables AAC y AAAC (6201) y pesan aproximadamente la mitad de un conductor de cobre de la misma conductividad. (lincolnelectric.com)

2.3. Transportadores de Rodillos

El transportador de rodillos es un dispositivo que, como su nombre lo indica, utiliza rodillos metálicos para facilitar el manejo y traslado de una gran diversidad de objetos, tales como cajas, cestas, tarimas, llantas, paquetes, entre otros, dentro de una gran diversidad de procesos industriales siempre y cuando que cumplan la condición de contar con un fondo regular. En caso contrario, suelen emplearse otro tipo de

dispositivos como el transportador de banda, el transportador helicoidal, etc. Cada uno de estos elementos por separado representa soluciones con una gran sencillez de funcionamiento, que una vez instaladas en condiciones apropiadas suelen dar pocos problemas mecánicos y de mantenimiento.

Los rodillos transportadores son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es la de recibir un producto de forma más o menos continua y regular para conducirlo a otro punto. Son aparatos que funcionan solos, intercalados en las líneas de proceso y que no requieren generalmente de ningún operario que manipule directamente sobre ellos de forma continua. (ashlandconveyor.com)

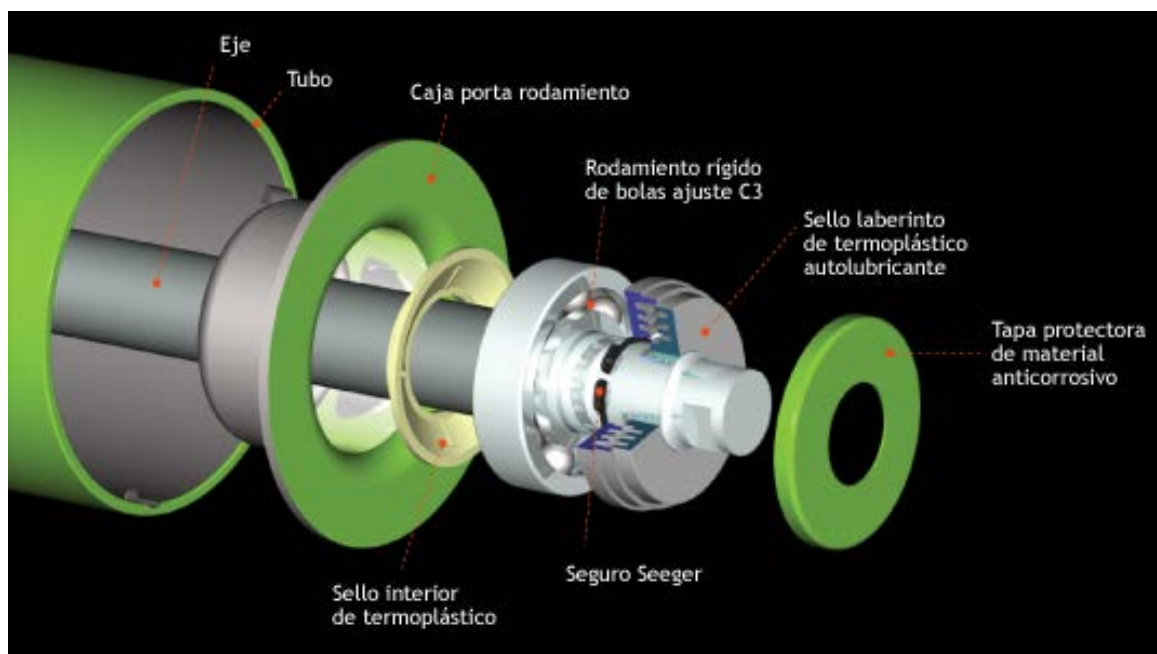


FIGURA N°2.13: Estructura Interna de un Rodillo Transportador con sus partes
Fuente: http://rivet.cl/files/images/polines/polin_explotado.png

2.3.1. Componentes de un Transportador de Rodillos

- ✓ *Rodillos transportadores*; contruidos con trozos de tubo de acero que giran sobre cojinetes de bola debidamente sellados, ubicados en cada extremo del tubo.



FIGURA N°2.14: Rodillos Transportadores
Fuente: <http://www.elprado.co.cr/images/fig6.jpg>

- ✓ *Estructura lateral*; por lo general la componen vigas o perfiles en U de espesor determinado y altura, de acabado galvanizado.
- ✓ *Soportes*; son trípodes o estructuras metálicas de perfiles soldados en H, ubicados en los extremos de cada sección.
- ✓ *Elementos complementarios*; pueden ser algunos como sistemas de incorporación o desvío, barandillas de protección, sectores curvos, puertas abatibles y elementos para suspensión en el techo. (es.wikipedia.org)



FIGURA N°2.15: Transportadores de Rodillos
Fuente: <http://www.dmet.com.mx/imagenes/>

2.3.2. Tipos de Transportadores de Rodillos

Por la forma en que están contruidos y su accionamiento pueden dividirse en varios tipos, siendo los principales:

- a. *De rodillos a gravedad*; como su nombre lo indica, este dispositivo se apoya en la fuerza de gravedad del objeto para que se deslice entre los rodillos.
- b. *De rodillos vivos por banda o para transporte de bandas*; este tipo de transportadores los rodillos son accionados por medio de una banda que los motoriza.
- c. *De rodillos vivos por cadena*; en este tipo de transportadores los rodillos son accionados por medio de una cadena que transmite la cadena de rodillo a rodillo, este tipo de transportadores es ideal para el manejo de objetos de servicio pesado, como pueden ser tarimas o tambos.
- d. *De rodillos para manejo de material a granel*; Este tipo de transportadores es el más utilizado para el transporte de mineral, comparado con el sistema de trenes y camiones de gran capacidad de carga superior a las 200ton, por ser el de menor costo para su mantenimiento. El material en este caso en transportado por una cinta o banda. Los rodillos que se emplean en este tipo de transportadores se pueden clasificar de tres tipos:
 - » *Rodillos de impacto*; estos rodillos son los que reciben la carga en la cinta transportadora; están ubicados debajo de los chutes o tolvas por donde ingresa la carga.
 - » *Rodillos de carga*; son los que transportan a lo largo de la cinta transportadora la carga de esta, generalmente son de tubo de acero.
 - » *Rodillos de retorno*; Estos rodillos van ubicados en la parte inferior de la estructura de la cinta transportadora, y es en ellos donde la cinta se apoya cuando empieza la secuencia de retorno hacia la zona donde va a recibir nuevamente la carga. (rotranssa.com)

2.3.3. Ancho del transportador y separación entre rodillos

Se recomienda que el ancho del transportador sea al menos 2 pulgadas mayor que el ancho de las cargas, y la longitud de los rodillos sea tres pulgadas menor que el ancho de la estructura.

Los rodillos deben estar separados entre sí una distancia equivalente a $1/3$ de la longitud de la carga más corta, de manera que le permita permanecer apoyada en los mismos. Esta separación puede ser menor para garantizar que el esfuerzo sobre cada rodillo no supere su capacidad nominal. Por lo general los transportadores se construyen con separaciones estándar de $2\frac{1}{4}$, 3, 4, $4\frac{1}{2}$, 6, 9 y 12 pulgadas. Sin embargo los fabricantes pueden ofrecer separaciones distintas en construcciones especiales.

2.3.4. Tipos de rodillos transportadores

De acuerdo al material con el que son elaborados, se pueden clasificar en:

- a. *Rodillos con tubo de acero*; son rodillos de gran resistencia porque el acero es el material que tiene la máxima carga de rotura y a la flexión. Si el tubo debe estar protegido contra la corrosión es recomendable usar acero inoxidable.



FIGURA N°2.16: Rodillos Transportadores con tubo de acero con detalle de la estructura interna.

Fuente: http://img.directindustry.es/pdf/repository_di/4780/26253_1b.jpg

- b. *Rodillos con tubo de aluminio*; el tubo de aluminio tiene, en comparación con el de acero, una solidez algo más reducida y sólo aproximadamente un tercio de la resistencia a la flexión. Sin embargo, el tubo de aluminio pesa sólo el 36% del peso de un tubo de acero comparable. Además, es insensible a la corrosión.
- c. *Rodillos con tubo de plástico*; estos tubos no soportan cargas comparables con tubos de acero del mismo diámetro, pero entre sus ventajas se encuentran: amortiguación del ruido, resistencia al impacto, peso reducido, resistencia a la corrosión y son fáciles de limpiar.

2.3.5. Capacidad de carga de los rodillos transportadores

La capacidad de los rodillos transportadores depende de la capacidad de carga de los componentes del rodillo: tubo, eje y rodamiento.

Para determinar la capacidad de carga de los rodillos se comparan las capacidades de carga de los diversos grupos constructivos y se realiza un cálculo combinado. La capacidad de carga del grupo más débil determina la capacidad de carga de todo el rodillo. Los valores de carga permitidos de cada rodillo están tabulados de acuerdo al fabricante.

La capacidad de carga de los rodillos está directamente influenciada por la longitud del rodillo, la distribución de la carga y la fijación del eje. En el diseño de tramos de transportadores se debe tener en cuenta que la capacidad de carga de los rodillos accionados está limitada por la fuerza permitida de las cadenas de accionamiento, las correas dentadas o las fuerzas de arrastre de los rodillos de fricción. (J. Sánchez, 2002)

2.4. Fundamentos básicos de Electroneumática

En electroneumática, la energía eléctrica substituye a la energía neumática como el elemento natural para la generación y transmisión de las señales de control que se ubican en los sistemas de mando. Los elementos nuevos y/o diferentes que entran en juego están constituidos básicamente para la manipulación y acondicionamiento de las señales de voltaje y corriente que deberán de ser transmitidas a dispositivos de conversión de energía eléctrica a energía neumática para lograr la activación de los actuadores neumáticos. En síntesis, es la aplicación en donde se combinan dos importantes ramos de la automatización como son la neumática (manejo de aire comprimido) y la electricidad y/o la electrónica.

Entre sus ventajas se encuentran:

- Mediana fuerza (porque se pueden lograr fuerzas mucho más altas con la hidráulica).
- Altas velocidades de operación.
- Menos riesgos de contaminación por fluidos (especialmente si se utiliza en la industria de alimentos o farmacéutica).
- Menores costos que la hidráulica o la electricidad neta.

Algunas desventajas son:

- Alto nivel sonoro.
- No se pueden manejar grandes fuerzas.
- El uso del aire comprimido, si no es utilizado correctamente, puede generar ciertos riesgos para el ser humano.
- Altos costos de producción del aire comprimido. (G. Sandoval, 1998)

2.4.1 Dispositivos eléctricos más comunes usados en Electroneumática

El conjunto de elementos involucrados en el accionamiento de los actuadores neumáticos son básicamente:

a. Elementos de retención

Son empleados, para generar la señal de inicio del sistema o en su defecto, para realizar paros, ya sea de emergencia o sólo momentáneos. El dispositivo más común es el botón pulsador, tal como se muestra en la figura N°2.17.



FIGURA N°2.17: Diversos tipos de pulsadores electrónicos
Fuente: http://www.kmsomerinca.com.ve/pardaemergencia_2.jpg

b. Interruptores mecánicos de final de carrera

Estos interruptores son empleados, generalmente, para detectar la presencia o ausencia de algún elemento, por medio del contacto mecánico entre el interruptor y el elemento a ser detectado.

c. Relevadores

Son dispositivos eléctricos que ofrecen la posibilidad de manejar señales de control del tipo ON/OFF. Constan de una bobina y de una serie de contactos que se encuentran normalmente abiertos o cerrados. El principio del funcionamiento es el de hacer pasar corriente por una bobina generando un campo magnético que atrae a un inducido, y éste a su vez, hace conmutar los contactos de salida. Son ampliamente utilizados para regular secuencias lógicas en donde intervienen cargas de alta impedancia y para energizar sistemas de alta potencia. La representación simbólica de un relevador puede representarse como se muestra en la figura 2.18.

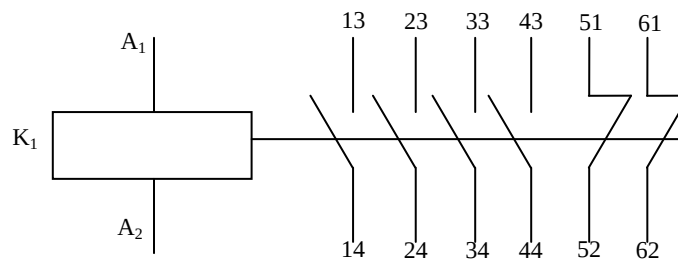


FIGURA N°2.18: Representación simbólica de un relevador

Fuente: [http:// webdia.cem.itesm.mx/ac/gsandova/elctroneu.ppt+electroneumatica](http://webdia.cem.itesm.mx/ac/gsandova/elctroneu.ppt+electroneumatica)

K_1 identifica al relevador número uno. A_1 y A_2 identifican a las terminales del relevador. La numeración identifica a la primera cifra con la cantidad de contactos, mientras que la segunda cifra (3 y 4) indican que se trata de contactos normalmente abiertos. Para contactos normalmente cerrados se emplean en las segundas cifras los números 1 y 2, respectivamente.

Los contactos de un relé o relevador pueden ser Normalmente Abiertos (NA o NO (Normally Open), por sus siglas en inglés), Normalmente Cerrados (Normally Closed)(NC) o de conmutación.

- Los contactos Normalmente Abiertos conectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se desconecta cuando el relé está inactivo. Este tipo de contactos son ideales para aplicaciones en las que se requiere conmutar fuentes de poder de alta intensidad para dispositivos remotos.
- Los contactos Normalmente Cerrados desconectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se conecta cuando el relé está inactivo. Estos contactos se utilizan para aplicaciones en las que se requiere que el circuito permanezca cerrado hasta que el relé sea activado.
- Los contactos de conmutación controlan dos circuitos: un contacto Normalmente Abierto y uno Normalmente Cerrado con una terminal común.

En la Figura N°2.19 se representa, de forma esquemática, la disposición de los elementos de un relé de un único contacto de trabajo.

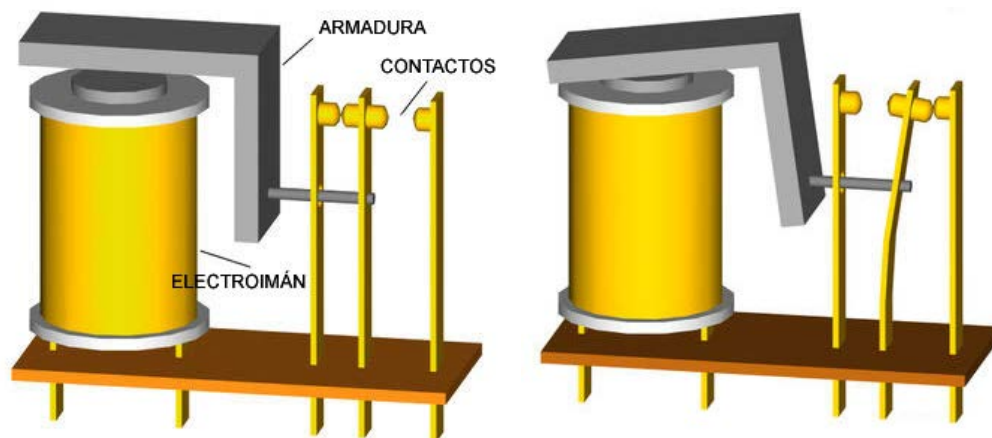


FIGURA N°2.19: Funcionamiento de un relé o relevador
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9>

d. Válvulas electroneumáticas

El dispositivo modular en un circuito electroneumático, es la válvula electroneumática. Esta válvula realiza la conversión de energía eléctrica, proveniente de los relevadores o elementos de procesamiento a energía neumática, transmitida a los actuadores o a alguna otra válvula neumática.

Esencialmente, se fundamentan de una válvula neumática a la cual se le adhiere una bobina sobre la cual se hace pasar una corriente para generar un campo magnético que finalmente generará la conmutación en la corredera interna de la válvula, generando así el cambio de estado de trabajo de la misma, modificando las líneas de servicio. (es.wikipedia.org)



FIGURA N°2.20: Distintos tipos de válvulas electroneumáticas
Fuente: www.pneumatig.eu

2.4.2 Electro-oleohidráulica

En la actualidad, en las medianas y grandes empresas de producción, se tienen implementados procesos que poseen la necesidad de emplear elevadas cantidades de energía. El empleo de la energía oleohidráulica se hace presente en este momento. Máquinas de producción y montaje; equipos de elevación; prensas; máquinas de moldeo; grúas, entre otros, son áreas en donde se requieren grandes esfuerzos y presiones que tanto la energía neumática como eléctrica no son apropiadas ya sea por

razones económicas o por las magnitudes de los esfuerzos requeridos. Esencialmente hablando, la diferencia que existe en el área de diseño de circuitos es poca entre la neumática y la hidráulica. (uniovi.es)

2.4.3. Programmable logic controller (PLC)

Un autómata programable industrial (API) o Programmable logic controller (PLC), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales.

Un PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación. Por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, entre muchos otros.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- » Espacio reducido
- » Procesos de producción periódicamente cambiantes

- » Procesos secuenciales
- » Maquinaria de procesos variable
- » Instalaciones de procesos complejos y amplios
- » Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Tales consideraciones obligan a referirse a las ventajas que proporciona un autómata de tipo medio.

Ventajas:

- » No es necesario dibujar el esquema de contacto
- » No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande
- » La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega
- » Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos
- » Mínimo espacio de ocupación
- » Menor coste de mano de obra de la instalación
- » Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías
- » Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata
- » Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo cableado

- » Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómatas sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción

Desventajas:

- » Falta de programadores
- » Costo inicial elevado (sc.ehu.es)

Funciones básicas de un PLC

- a. *Detección.* Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.
- b. *Mando.* Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.
- c. *Diálogo hombre-máquina.* Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.
- d. *Programación.* Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómatas. El dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómatas controlando la maquina.

Nuevas funciones aplicadas a PLC

- a. *Redes de comunicación.* Permiten establecer comunicación con otras partes de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre autómatas a tiempo real. En unos cuantos milisegundos pueden enviarse telegramas e intercambiar tablas de memoria compartida.
- b. *Sistemas de supervisión.* También los autómatas permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación

se realiza por una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie del ordenador.

- c. *Control de procesos continuos.* Además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos, los autómatas llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entrada y salida analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el autómata.
- d. *Entradas- Salidas distribuidas.* Los módulos de entrada salida no tienen porqué estar en el armario del autómata. Pueden estar distribuidos por la instalación, se comunican con la unidad central del autómata mediante un cable de red.
- e. *Buses de campo.* Mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus captadores y accionadores, reemplazando al cableado tradicional. El autómata consulta cíclicamente el estado de los captadores y actualiza el estado de los accionadores. (en.wikipedia.org)

2.5. Definición de Términos Básicos

ACTUADORES: aquellos elementos que pueden provocar un efecto sobre un proceso automatizado.

ALAMBRE: Hilo de metal, en este caso aluminio.

ALAMBRÓN: Alambre de aluminio de sección transversal circular y de diámetro aproximado de 10mm, mucho más grueso que el alambre.

BOBINA: Es un cilindro hueco sobre el cual se encuentra arrollado un hilo metálico.

BUFFER: Es un espacio demarcado a la entrada y salida de las máquinas destinado a la ubicación de materiales para procesar y materiales procesados respectivamente.

CABLE: Hilo metálico generalmente utilizado para conducción eléctrica.

CABLEADO: Se realiza por medio de una serie de alambres, que reunidos dan la sección total requerida, este conjunto de alambres es lo que se denomina un cable flexible. En la reunión de un número determinado de hilos o alambres se establece el calibre requerido del cable a producir.

CARRETE: Es un cilindro taladrado por el eje y con bordes en sus bases, sobre el que se enrolla hilo o alambre.

CESTA DE ALIMENTACIÓN: Dispositivo en forma de cesta que permite almacenar alambre para ser dispuesto en la zona del devanado del proceso de cableado de conductor de aluminio.

CHATARRA: Es el material que se pierde por defectos o tramos menores y mayores al especificado.

CLIENTE: Es toda persona, empresa o departamento que consume los productos o servicios.

CONDUCTOR: Unión de diversos alambres que como un todo generan un cuerpo capaz de transmitir calor o electricidad.

DEVANADO: Acción de enrollar hilo o cuerda, aquí aplica para alambre.

ELECTROVÁLVULA: Dispositivo diseñado para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto.

EXTRUSIÓN: Acción de dar forma o moldear una masa haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta. En este caso aplica para el proceso de aislado de los cables conductores de aluminio donde los mismos son recubiertos con una capa de material aislante.

FLEXIÓN: Tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.

FUNDICIÓN: Proceso de fabricación de piezas, comúnmente metálicas pero también de plástico, consistente en fundir un material e introducirlo en una cavidad, llamada molde, donde se solidifica.

HOJA DE PROCESO: Es el documento que contiene las condiciones de la operación de la máquina, materia prima, características del producto y cualquier otra información necesaria para fabricar un determinado producto.

HORAS BUFFER: Las horas que tiene la máquina para trabajar en forma continua.

INTERRUPTOR: Dispositivo para cambiar el curso de un circuito. El modelo prototípico es un dispositivo mecánico que puede ser desconectado de un curso y unido (conectado) al otro.

MATERIAL NO CONFORME: Todo material que presenta un defecto que no permita continuar el proceso y puede ser reprocesado y/o chatarreado.

PELIGRO: Condición con potencial de afectar negativamente al trabajador.

PULSADOR: Elemento que permite el paso o interrupción de la corriente mientras es accionado. Cuando ya no se actúa sobre él vuelve a su posición de reposo.

PROCESO: Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados.

PROVEEDOR: Es aquel que realiza un producto o servicio requerido por el cliente.

RELÉ: Dispositivo electromecánico que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes

RIESGO: Exposición de una persona a un peligro.

RODILLO A GRAVEDAD: Es un tipo de rodillo transportador cuya función de transporte se basa en el uso de la gravedad y que no es impulsado por ningún sistema de transmisión de potencia alterno.

RODILLO TRANSPORTADOR: Es un rodillo metálico que permite transportar cargas de forma directa (a través de sistemas con cadenas o bandas transportadoras), o indirecta (rodillos a gravedad).

SCRAP: Es la cantidad de material que debe ser chatarreado.

TIEMPO MUERTO: Es el tiempo que permanece la línea sin procesar material, ya sea por puesta a punto de la máquina, cambio de cestas para devanado, paradas repentinas, etc.

TREFILACIÓN: Proceso de deformación en frío que permite reducir el diámetro, sin generación de virutas, de la mayoría de los materiales metálicos.

USAGE: Es la cantidad de material extra que se puede suministrar en un producto.

VIGA O PERFIL: Elemento constructivo lineal que trabaja principalmente a flexión. En las vigas la longitud predomina sobre las otras dos dimensiones y suele ser horizontal.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Nivel de la Investigación

Esta investigación se basa en una estrategia de desarrollo definida, lo que influye directamente en el nivel de conocimiento que se adquiere. Conociendo esto, el nivel de la investigación se puede clasificar de la siguiente forma:

- De acuerdo con el propósito o finalidad que persigue, este trabajo es de tipo mixto, ya que la investigación es tanto básica como aplicada; partiendo de un marco teórico que permita comprender los fundamentos del estudio, se pasa a una fase práctica donde interesa conocer resultados, experimentar y analizar consecuencias en torno al problema planteado.
- De acuerdo a la clase de medios utilizados para obtener datos, la investigación es de campo, porque fundamenta su desarrollo en la obtención de información a través de encuestas, entrevistas y observaciones “in situ”.
- De acuerdo al nivel de conocimientos que se adquieren, la investigación es de tipo Exploratoria, porque la investigación intenta destacar la problemática del proceso de cableado, siendo un tema poco estudiado y donde en ocasiones los resultados provienen de una visión aproximada de lo que en realidad se desea; también es de tipo Explicativa, ya que busca el por qué del tiempo muerto elevado en el proceso de cableado, estudiar sus causas y consecuencias, y buscar soluciones mediante modificaciones en su estructura actual.

3.2. Diseño de la Investigación

Este estudio abordará una investigación profunda en planta, donde se solicite información a personal especializado, para de esta forma organizar y analizar las variables y factores que influyen sobre el proceso de cableado, a través de la Máquina

Buncher 1600. Mediante una serie de registros y reportes operacionales, análisis de posibles rediseños y su estudio factible, se procederá a realizar modificaciones del actual suministro de alambre la maquinaria, para de esa forma disminuir al máximo el tiempo muerto durante los cambios de proceso, y al mismo tiempo aumentar la eficiencia del equipo.

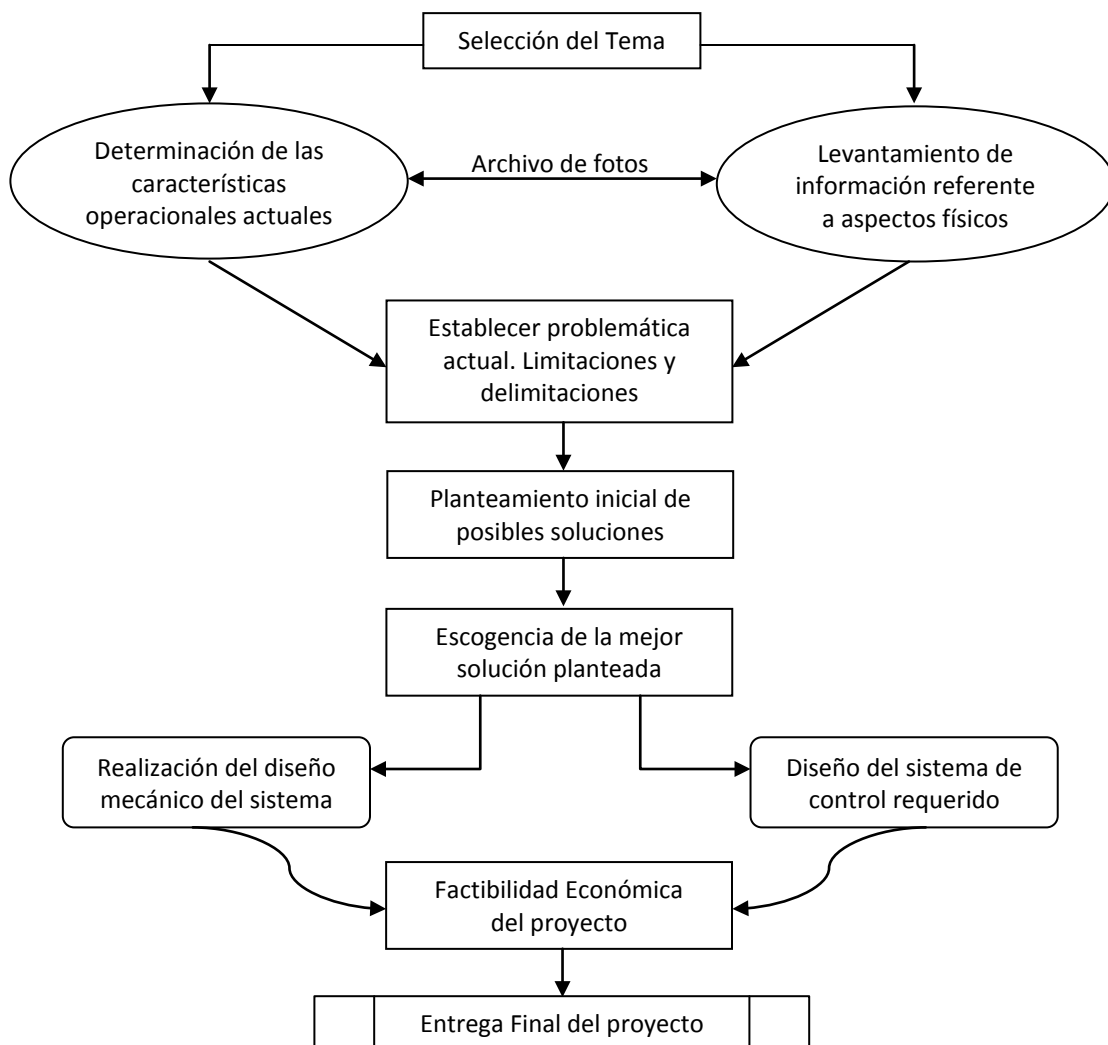


FIGURA N°3.1: Diagrama de etapas para la elaboración del proyecto

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Condiciones operacionales actuales del devanado en el proceso de cableado de la máquina Buncher 1600

En la actualidad, ALCAVE fabrica cables conductores de aluminio por medio de la utilización de tres máquinas cableadoras: Buncher 1250-1, Buncher 1250-2, y la máquina Buncher 1600. La diferencia básica entre ellas es que las dos primeras utilizan únicamente alambre almacenado en carretes para el devanado y se utilizan para producir cantidades reducidas de alambre (bajos kilometrajes); mientras que por el contrario la 1600 utiliza alambre almacenado tanto en carretes como en cestas de alimentación para el devanado, las cuales cargan mucho mas alambre que los carretes y por ende esta máquina permite producir kilometrajes mucho mayores, de acuerdo a las necesidades del cliente.

El alambre para el devanado proviene de la zona de trefilado, la cual se encuentra aproximadamente a unos 100 o 150m de distancia de la ubicación de la máquina Buncher 1600. Las cestas de alimentación llenas de alambre pesan alrededor de unos 550kg, por lo que deben ser trasladadas individualmente por el montacargas siguiendo la ruta que se muestra en el Layout de la planta (Figura N°4.1), haciendo de cada cambio de proceso una acción que origina grandes pérdidas de tiempo. La máquina cableadora en estudio trabaja simultáneamente con un determinado número de cestas que van desde 7 hasta 18, dependiendo del tipo de conductor que se esté fabricando, y cada una de ellas es colocada en posición por el montacargas. El operario está encargado de soldar el hilo de alambre que viene en la cesta con el hilo restante del proceso anterior, con la finalidad de comenzar un nuevo ciclo.



El tiempo que tarda en gastarse el alambre que se encuentra en las cestas de alimentación varía de acuerdo a ciertos parámetros, entre ellos la velocidad de cableado de la máquina y el kilometraje de conductor que se requiere fabricar, pero generalmente dura un turno de 7 horas o menos. Haciendo un estudio basado en el tiempo muerto que se genera por cambio de proceso, se pudo observar que los resultados son bastante desfavorables, tal como se muestra en la Tabla N°1 donde pueden observarse los valores del tiempo perdido por cambio de proceso durante algunos días del mes de octubre de 2007. Cabe recordar, que el cambio de proceso en la máquina cableadora Buncher 1600 consiste en retirar las cestas de alimentación vacías y reemplazarlas por unas llenas de alambre.

TABLA N°4.1: Valores de tiempo muerto por día del mes durante los 3 turnos de trabajo
(Fuente: L. Alvarez, 2007)

TURNO 1		TURNO 2		TURNO 3	
DÍA	TIEMPO (min)	DÍA	TIEMPO (min)	DÍA	TIEMPO (min)
10/2/07	120	10/2/07	90	10/2/07	160
10/3/07	180	10/3/07	170	10/3/07	110
10/5/07	140	10/5/07	145	10/5/07	95
10/6/07	150	10/6/07	90	10/6/07	150
10/08/07	90	10/08/07	110	10/08/07	200
10/09/07	135	10/09/07	100	10/09/07	175
10/10/07	146	10/10/07	150	10/10/07	115
10/11/07	70	10/11/07	210	10/11/07	140
10/12/07	170	10/12/07	100	10/12/07	100
10/16/07	100	10/16/07	170	10/16/07	190
10/17/07	145	10/17/07	110	10/17/07	140
10/18/07	100	10/18/07	170	10/18/07	100
10/19/07	180	10/19/07	140	10/19/07	180
10/23/07	160	10/23/07	100	10/23/07	140
10/24/07	100	10/24/07	140	10/24/07	160
10/25/07	128	10/25/07	130	10/25/07	130
10/26/07	185	10/26/07	120	10/26/07	80

Los valores anteriormente mostrados reflejan únicamente datos de tiempo muerto por concepto de paradas de maquinaria como consecuencia de demoras en el devanado, a saber:

- Cambio de cestas de alimentación
- Falta de montacargas
- Cambio de proceso
- Falta de personal

Conociendo esto, se procede a graficar los valores de tiempo muerto versus día del mes por cada turno de trabajo, dando como resultado los gráficos 4.2, 4.3 y 4.4, donde se observa que los valores de tiempo muerto en muy pocas ocasiones tienden a cero, como consecuencia de fallas en el suministro de alambre para el devanado.

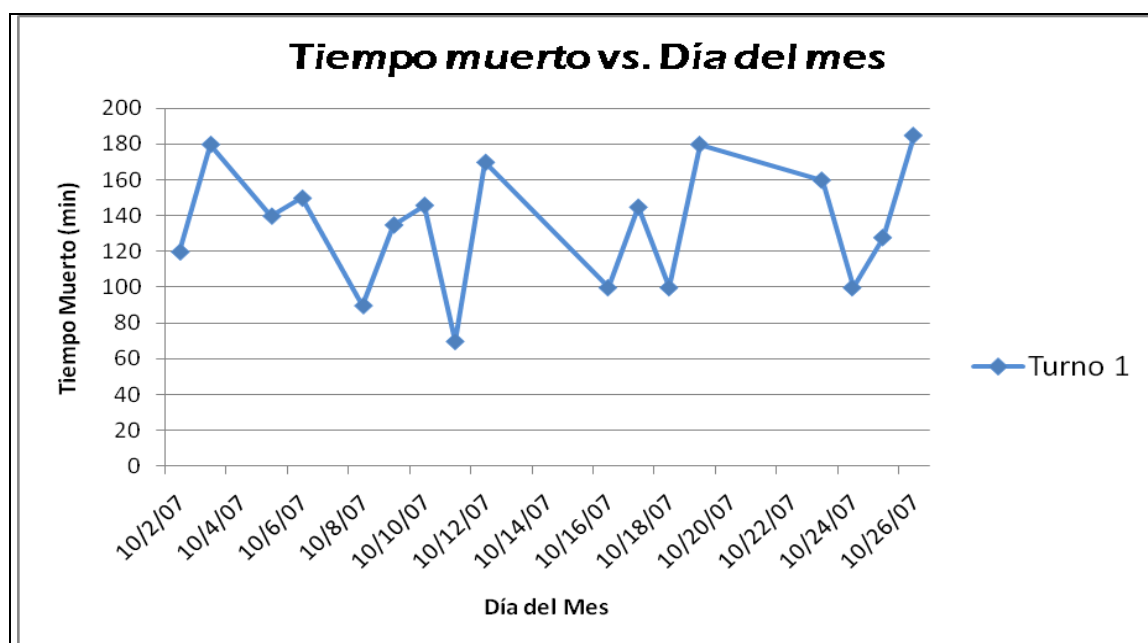


FIGURA N°4.2: Gráfico de Tiempo muerto vs. Día del mes para el 1er. Turno de trabajo (6am a 2pm) (**Fuente:** L. Alvarez, 2007)

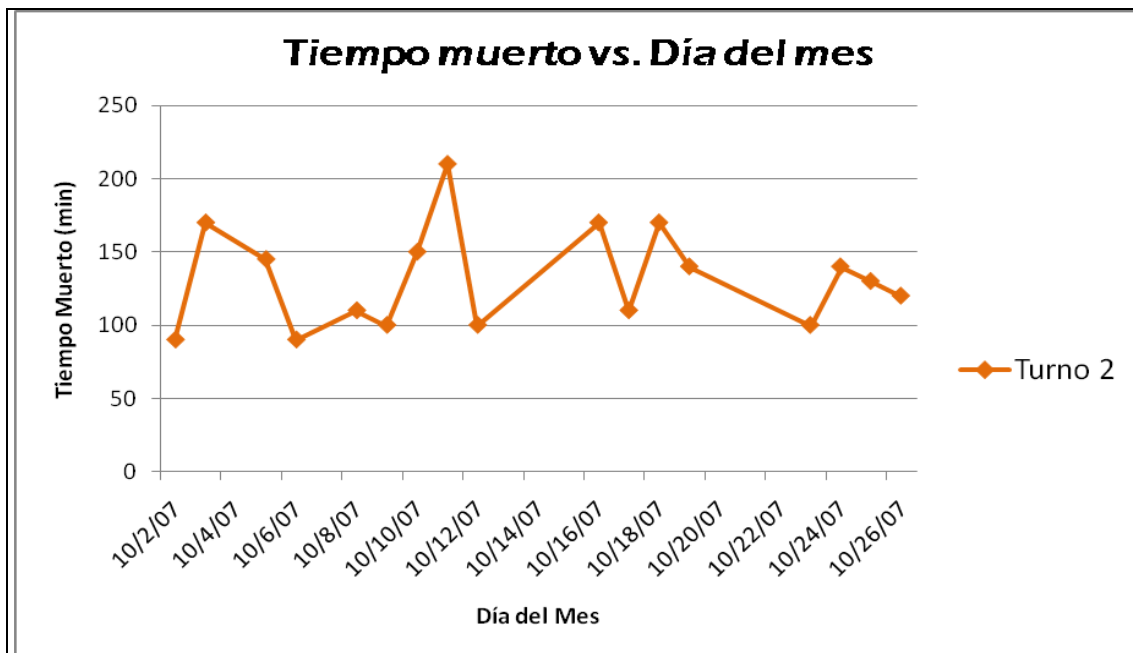


FIGURA N°4.3: Gráfico de Tiempo muerto vs. Día del mes para el 2do turno de trabajo (2pm a 10pm) (Fuente: L. Alvarez, 2007)

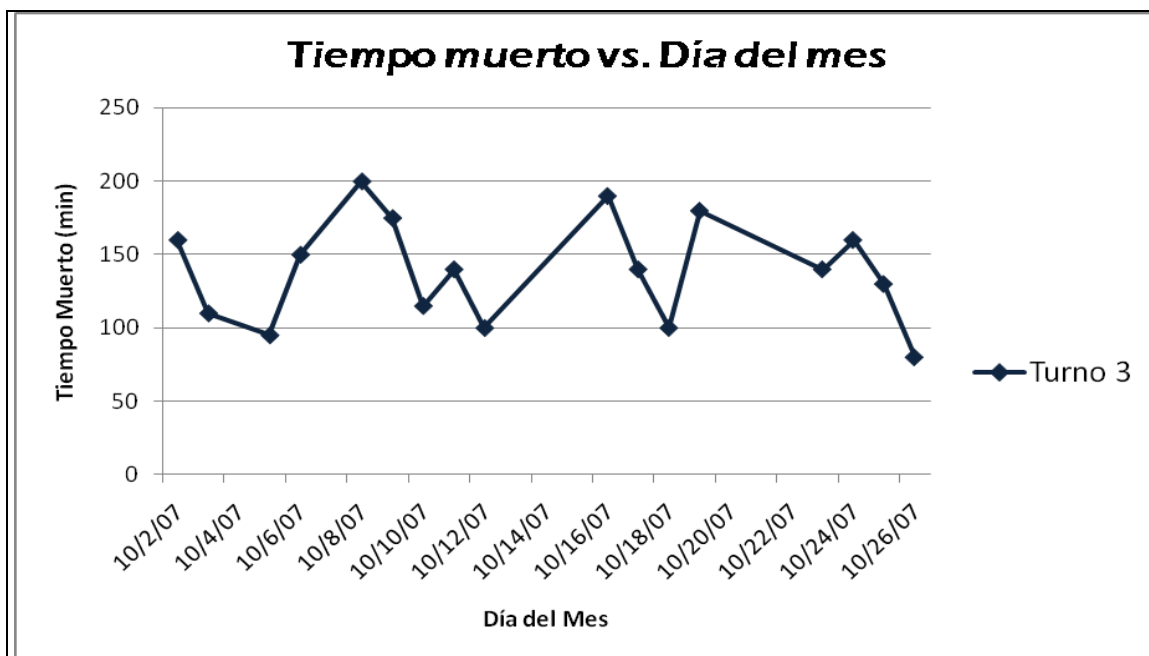


FIGURA N°4.4: Gráfico de Tiempo muerto vs. Día del mes para el 3er turno de trabajo (10pm a 6am) (Fuente: L. Alvarez, 2007)

Si se toma una sección como referencia en el gráfico, por ejemplo el intervalo de los días 16 al 18 de octubre de 2007, puede observarse que mientras en segundo turno las paradas de la máquina fueron prácticamente nulas, en los otros dos turnos fueron considerables, de forma tal que lo que se gana en trabajo en una jornada se pierde bruscamente en las otras dos.

Analizando estos datos y estableciendo un promedio de paradas al mes como consecuencia de demoras en el proceso de devanado, se puede analizar los resultados en un diagrama como el que se muestra en la figura 4.5.



FIGURA N°4.5: Gráfico de Operatividad de la máquina vs. Parada por concepto de demoras en el devanado (**Fuente:** L. Alvarez, 2007)

En la figura 4.5 se observa que durante un promedio de aproximadamente 9,37% del total de tiempo operativo de la máquina Buncher 1600, ésta se encuentra detenida como consecuencia de tiempo muerto en el devanado. Si se toma que una jornada de operatividad dura aproximadamente 24 horas entre los tres turnos laborales durante 5 días a la semana, este porcentaje representado con el color azul da



muestras de una creciente inactividad de la maquinaria. Es importante destacar que este tiempo perdido mostrado en los gráficos anteriores no incluye paradas programadas por mantenimiento, ausencia de personal por asistencia al comedor, paradas por rotura del conductor, proceso de soldadura del alambre, paradas por aprobación de la puesta a punto de la máquina, fallas de enganche y mecánicas, paradas por alambrón enredado y diámetros de hilera incorrecto, entre otros.

La mayoría de las fallas que originan paradas de maquinaria en la Buncher 1600, como por ejemplo rotura del conductor y fallas en el alambre, no son consecuencia directa del proceso de cableado, sino que pueden ser fallas incluso provenientes desde el área de fundición por composición química incorrecta del material, por lo que todo lo anterior sumado a casi un 10% de paradas por concepto de cambio de proceso genera grandes pérdidas para una producción que se lleva a cabo en forma de cadena, donde cada etapa productiva depende de la anterior.

Los datos obtenidos para estos análisis se encuentran en su totalidad en el apéndice A, donde se observan los diferentes tiempos muertos que generan paradas de maquinaria en la Buncher 1600.

4.2. Descripción y funcionamiento del sistema diseñado

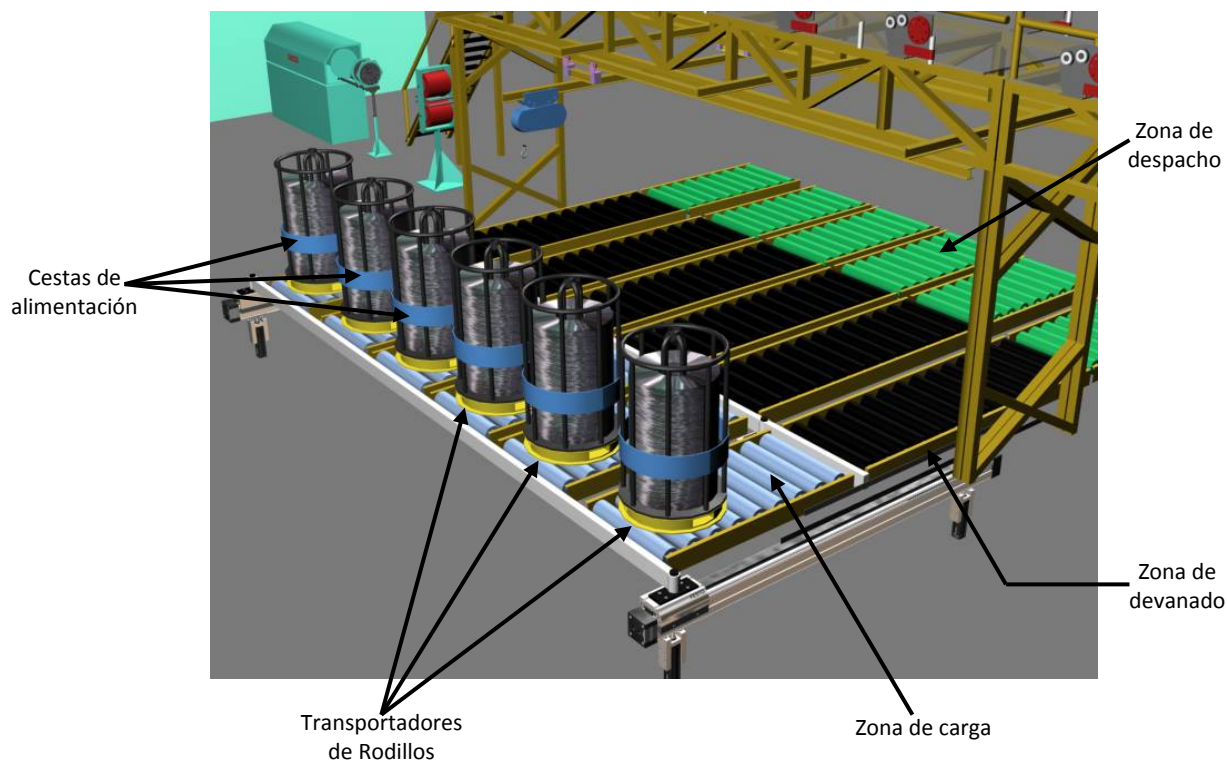


FIGURA N°4.6: Vista general del sistema diseñado con sus partes.
(Fuente: L. Alvarez, 2007)

El mecanismo consiste en un sistema de alimentación continua conformado por 6 transportadores de rodillos a gravedad de aproximadamente 7 metros de longitud sobre los cuales se transportarán las cestas de alimentación contenedoras de alambre para el devanado que se utilizará en el proceso de cableado de conductor de aluminio en la máquina Buncher 1600 (Figura N°4.6). Los tres colores distintivos de los transportadores de rodillos (azul, negro y verde) representan las tres secciones del sistema; la sección azul es la *zona de carga*, aquí se ubican las cestas de alimentación que van a ser utilizadas inicialmente. La zona de carga funciona como buffer de entrada a la máquina cableadora 1600, es decir, como lugar de ubicación de las cestas de alimentación llenas de alambre. La sección negra es la *zona de devanado*, aquí es

donde las cestas suministran el alambre para iniciar un nuevo proceso de cableado. Por último la sección verde es la *zona de despacho*, ya que es el área dispuesta para que las cestas vacías sean retiradas del transportador de rodillos. La zona de despacho viene a ser el buffer de salida de la máquina cableadora 1600.

Inicialmente el proceso comienza cuando el montacargas llena la zona de carga (Figura N°4.7) ubicando cesta por cesta llena de alambre en su respectivo transportador de rodillos hasta completar una hilera de 6 cestas de alimentación o menos dependiendo del tipo de conductor que se necesite elaborar.



FIGURA N°4.7: Ubicación de la última cesta de alimentación llena en la zona de carga mediante el montacargas. (**Fuente:** L. Alvarez, 2007)

A continuación los operadores activan el sistema de empuje que consiste en cuatro actuadores guiados que en pares levantan dos actuadores lineales sin vástago como se observa en la figura 4.8. Estos actuadores lineales que se ubican en los extremos del sistema de transportadores de rodillos, tienen soldado al carrito móvil una barra de acero que ejercerá la función de empuje a las cestas. En un primer movimiento, esta barra mueve las 6 cestas de alimentación desde su ubicación inicial donde las colocó el montacargas hasta el final de la zona de carga, esto con la finalidad de despejar nuevamente el área para que el montacargas llene una nueva hilera de cestas con alambre.

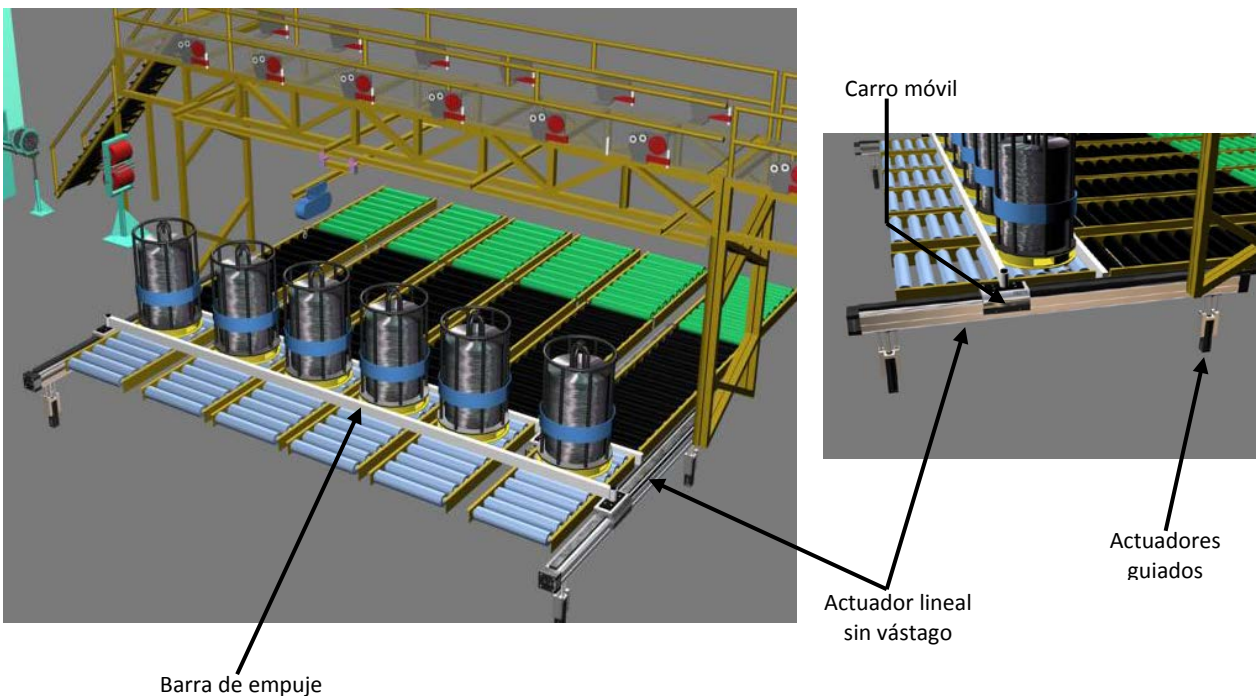


FIGURA N°4.8: Ubicación de las cestas de alimentación al final de la zona de carga (Nótese el detalle de los actuadores) (**Fuente:** L. Alvarez, 2007)

A continuación el montacargas coloca 6 nuevas cestas de alimentación en la zona de carga para un total de 12 cestas. Nuevamente se activa el mecanismo de

empuje y esta vez se transportan todas las cestas ubicadas en la sección azul hasta la sección negra o de devanado, tal como se muestra en la figura 4.9.

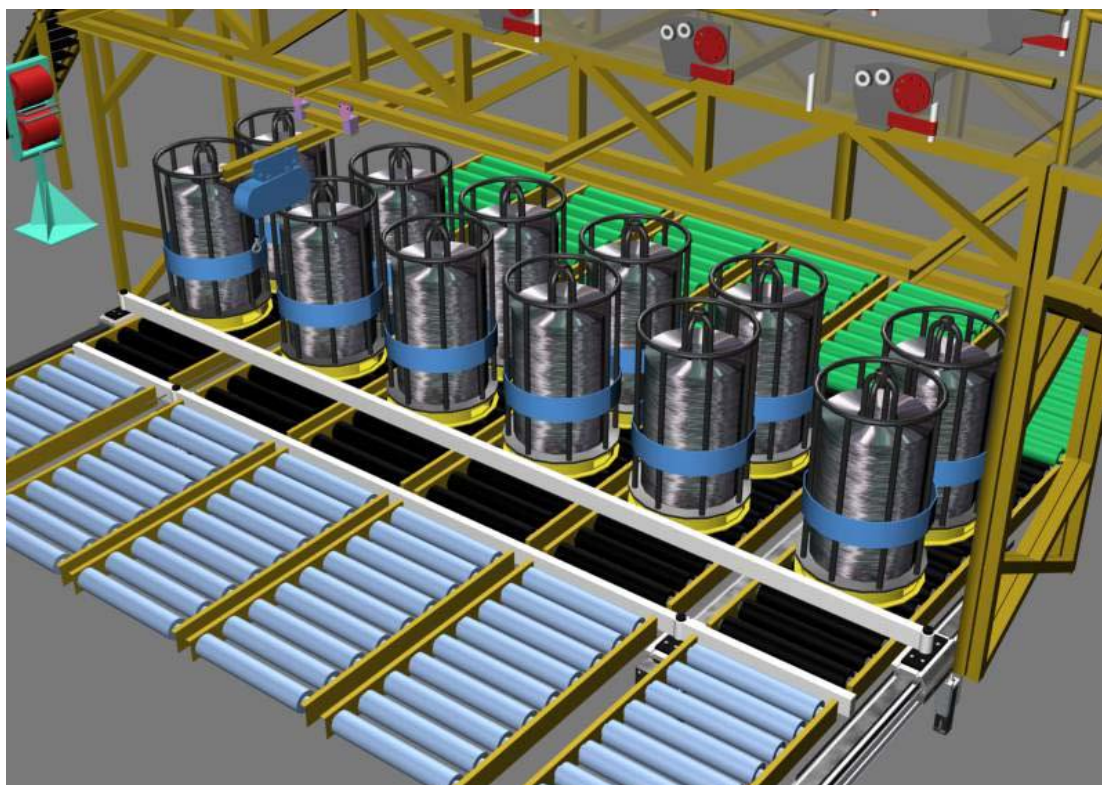


FIGURA N°4.9: Ubicación de las cestas de alimentación en la zona de devanado. (Aquí las cestas están listas para ser utilizadas) (**Fuente:** L. Álvarez, 2007)

El proceso de devanado consiste en colocar en posición el alambre que contienen las cestas de alimentación para poder ser utilizado por la máquina cableadora Buncher 1600 y elaborar los conductores de aluminio. Durante este proceso la zona de carga puede volver a almacenar cestas de alimentación llenas para de esta forma garantizar la continuidad del proceso.

Luego de que el alambre de las cestas es agotado, la zona de devanado da paso a un segundo sistema de empuje que lleva las cestas vacías desde su ubicación hasta el buffer de salida o zona de despacho tal como puede observarse en la figura 4.10.

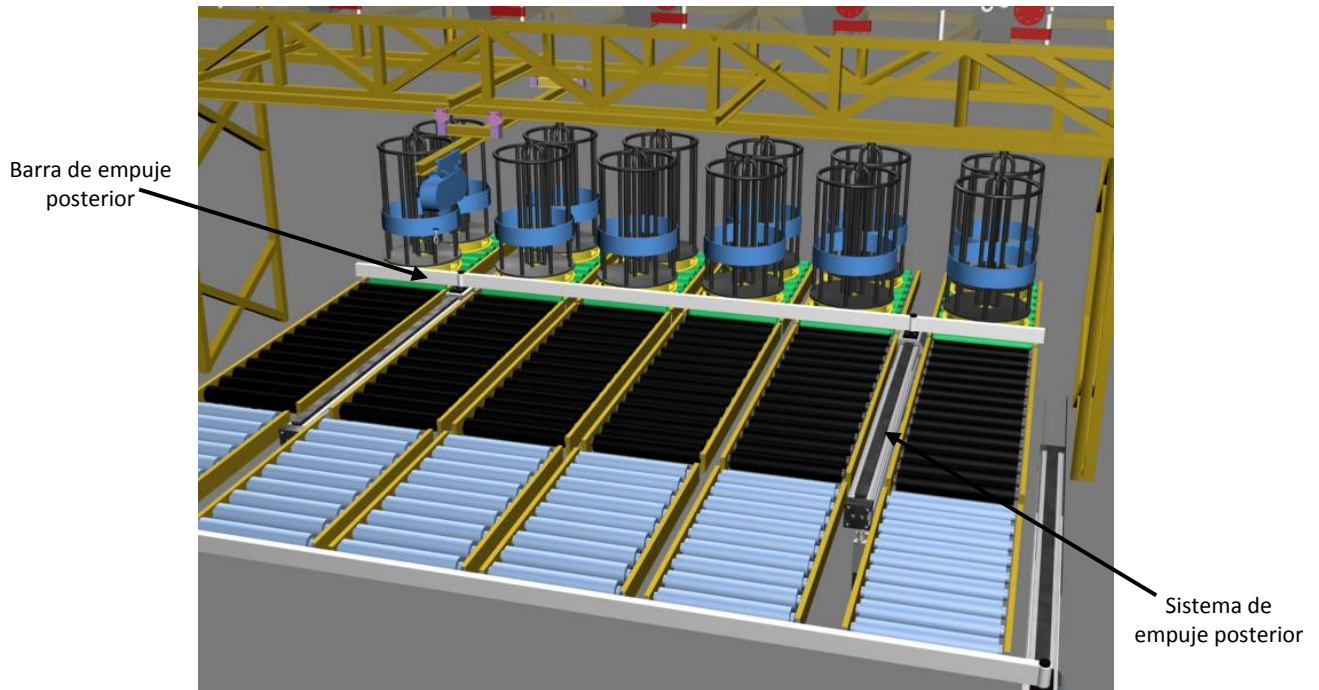


FIGURA N°4.10: Ubicación de las cestas de alimentación en la zona de despacho. (Nótese que las cestas están vacías) (Fuente: L. Alvarez, 2007)

Finalmente las cestas vacías ubicadas en el buffer de salida son recogidas por el montacargas y trasladadas hasta la zona de trefilación para ser llenadas nuevamente con alambre. Cabe destacar que cada mecanismo de empuje tiene un funcionamiento que le permite ejercer su función principal de mover las cestas para luego regresar y ubicarse en su posición original.

4.3. Diseño del transportador de rodillos

4.3.1. Estudio de posibles cargas actuantes

Inicialmente debe considerarse el tipo de carga a la que está sometida la pieza, pudiendo así, determinar el grado en que varía la carga y la variación resultante en cuanto a la tensión. Las variaciones de tensión vienen determinadas por las ecuaciones 4.1 y 4.2:

$$\sigma_M = \frac{(\sigma_{MAX} + \sigma_{MIN})}{2} \quad (4.1)$$

$$\sigma_A = \frac{(\sigma_{MAX} - \sigma_{MIN})}{2} \quad (4.2)$$

Donde:

σ_M : Tensión Media

σ_A : Tensión Alternativa

σ_{MAX} : Tensión Máxima

σ_{MIN} : Tensión Mínima

Las tensiones máximas y mínimas se calculan por medio de métodos experimentales o de análisis de tensiones, sino tendrían que calcularse de forma empírica.

La inversión de una fuerza tiene lugar cuando un elemento específico de una pieza sobre la cual actúa una carga, en un momento determinado se ve sometido a una tensión por tracción seguido del mismo nivel de tensión por compresión. En caso de que la tensión se repita en severas ocasiones, la relación entre tensiones viene dada por: $\sigma_{MIN} = -\sigma_{MAX}$.

Estudiando el lugar más esforzado, se pueden obtener los valores de las tensiones máximas y mínimas (Ecuaciones 4.3 y 4.4) (J. Shigley, 2002)

$$\sigma_{MAX} = \frac{Fr_{MAX}}{A} + \frac{32 * M_{Fr}}{\pi * D^3} \quad (4.3)$$

Donde;

Fr_{MAX} : Fuerzas radiales máximas sobre el material

A : Área de la sección transversal del elemento

M_{Fr} : Momento flector resultante

D : Diámetro del elemento estudiado

$$\sigma_{MIN} = \frac{Fc_{MAX}}{A} + \frac{16 * M_{Tr}}{\pi * D^3} \quad (4.4)$$

Donde;

Fc_{MAX} : Fuerza de corte máxima

A : Área de la sección transversal del elemento

M_{Tr} : Momento torsor resultante

D : Diámetro del elemento estudiado

Tensiones normales fluctuantes: Criterio de Soderberg

Este criterio es utilizado para el análisis de la resistencia de piezas sometidas a tensiones fluctuantes con componente de tensión media positiva. El criterio se basa en los valores de tensión media y alternante en el punto analizado: la pieza resistirá en el punto analizado siempre que se cumpla lo planteado en la ecuación 4.5.

$$\frac{\sigma_M}{S_y} + \frac{\sigma_A}{S_e} \leq 1 \quad (4.5)$$

Un diseño es satisfactorio si la combinación de la tensión media y la alternativa da origen a un punto en la zona de seguridad, como se muestra en la ecuación 4.6.

$$\sigma_{Eq} = \sigma_M + K_f * \sigma_A * \frac{S_y}{S_N} \quad (4.6)$$

Donde;

σ_{eq} : Esfuerzo normal equivalente

σ_M : Esfuerzo medio normal

K_f : Coeficiente de concentración de esfuerzos

σ_A : Esfuerzo de amplitud normal en el material

S_y : Esfuerzo de fluencia

S_N : Esfuerzo de resistencia a la fatiga

Para el caso de esfuerzo de corte, el criterio de Soderberg plantea lo descrito en la ecuación 4.7.

$$\tau_{Eq} = \tau_M + K_f * \tau_A * \frac{S_{y(corte)}}{S_{N(corte)}} \quad (4.7)$$

Donde;

τ_{Eq} : Esfuerzo de corte equivalente

τ_M : Esfuerzo medio de corte

τ_A : Esfuerzo de amplitud de corte

El estudio de las posibles cargas actuantes permite establecer los parámetros del criterio de Soderberg, y éste a su vez deriva en el planteamiento del criterio de Von Mises, lo que se puede resumir argumentando que lo descrito en las ecuaciones 4.6 y 4.7 conlleva a lo que propone la expresión 4.8. (M.F. Spotts, 1999)

Máxima energía de distorsión: Criterio de Von Mises

Es un criterio de resistencia estática según el cual el material no fluirá en el punto analizado siempre que la energía de distorsión por unidad de volumen en el punto no supere la energía de distorsión por unidad de volumen que se da en el momento de la fluencia en el ensayo de tracción. Dicha teoría ofrece una proyección muy precisa de fallas en materiales dúctiles que se someten a la acción de cargas estáticas, tensiones combinadas, tensiones de esfuerzo de corte y tensiones normales inversas por completo.

$$S_y = \sigma_{comb} = \sqrt{\sigma_{Eq}^2 + 3 * \tau_{Eq}^2} \quad (4.8)$$

Donde;

S_y : Esfuerzo de fluencia del material

N: Factor de seguridad

σ_{Eq} : Esfuerzo normal equivalente

τ_{Eq} : Esfuerzo de corte equivalente

El criterio de von Mises puede representarse gráficamente en un diagrama $\sigma_A - \sigma_B$ donde éstas representan dos tensiones principales no nulas (tensiones biaxiales), como se indica en la figura N°4.11. En la zona sombreada el material no fluye. (emc.uji.es)

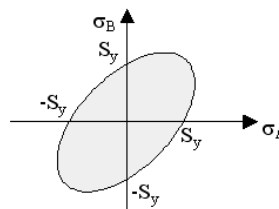


FIGURA N°4.11: Representación gráfica del criterio de Von Mises
Fuente: http://www.emc.uji.es/d/mecapedia/criterio_de_von_Mises.htm

4.3.2. Cálculo del diámetro de los rodillos

Para el cálculo del diámetro de los rodillos se estimará el acero al carbono AISI-SAE 1040 recién laminado como material adecuado para la fabricación de los mismos, ya que la templabilidad de este acero es mejor que la de los de menor porcentaje de carbono y es utilizado para piezas de máquinas de pequeño y mediano espesor. Los aceros de contenido medio de carbono (1020-1040) se emplean para la elaboración de ejes y engranajes, entre otras aplicaciones. A continuación se especifican las características mecánicas generales de este acero a una temperatura de 25°C, las cuales se obtuvieron de la tabla mostrada en el apéndice A-5.

TABLA N°4.2: Características mecánicas generales del acero al carbono 1040

Fuente: www.metalmecánica.com

S_y	S_u	E	G
414MPa	621MPa	$30 \times 10^3 \text{ kpsi}$	$11,5 \times 10^3 \text{ kpsi}$

Para estudiar si el rodillo soportará las cargas de corte y flexión, inicialmente se grafica un diagrama de corte y momento para verificar los puntos sometidos a condiciones críticas, de esta forma se realiza un análisis de esfuerzo combinados. A continuación se calcula el esfuerzo admisible que viene dado por la expresión 4.9:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{N} \quad (4.9)$$

Donde el factor de seguridad “N” se asume en un valor de 2 de acuerdo a la tabla mostrada en el apéndice A-8, la cual indica que $FS_{\text{dúctil}} = \max(F_1, F_2, F_3)$, y las condiciones para este caso de estudio reflejan que $F_1 = F_2 = F_3 = 2$, por ende $FS_{\text{máx}} = 2$. Es de aclarar que este procedimiento es una estimación, por lo que sólo la experiencia permite determinar cuál es el mejor factor de seguridad. (R. Norton, 1999)

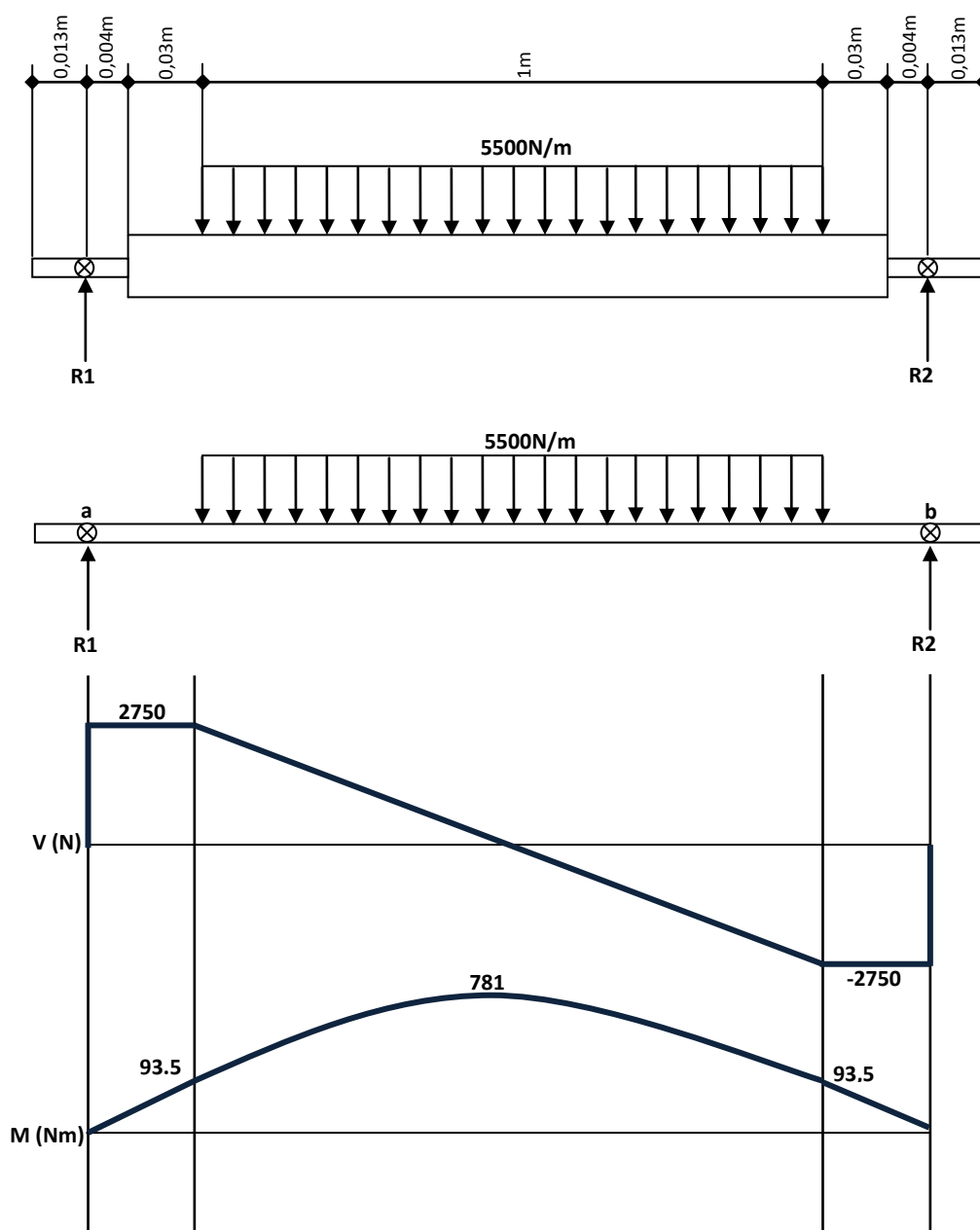


FIGURA N°4.12: Diagrama de corte y momento para un rodillo transportador estudiado para su condición más crítica
(Fuente: L. Alvarez, 2007)

El diagrama de corte y momento (Figura 4.12) fue realizado tomando en cuenta una condición crítica en la cual un solo rodillo soportaría toda la carga de una cesta de alimentación llena (550Kg aproximadamente), haciendo de éste el momento más esforzado para el diseño del rodillo.

Se aplica entonces el criterio de Von Mises-Henky, debido a que se trabaja con un material dúctil y se poseen esfuerzos combinados. Se comienza por sustituir los valores de S_y y N en la ecuación 1.8, dando como resultado $\sigma_{adm} = 212MPa$.

$$\sigma_f = \frac{M_f * c}{I} \quad (4.10)$$

$$c = \frac{D}{2}; I = \frac{\pi * D^4}{64}$$

$$\tau = \frac{V_{corte}}{A} \quad (4.11)$$

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

Donde;

M_f = Momento máximo

c = Distancia del eje neutro hasta la fibra más esforzada

I = Inercia del elemento

V_{corte} = Corte máximo

A = Área transversal

El cálculo del momento máximo se realiza utilizando el método del área bajo el gráfico de corte:

$$M_{f(máx)} = \frac{2750 * 0,5}{2} + 93,5 \therefore M_{f(máx)} = 781Nm$$

Sustituyendo en la ecuación 4.10 y 4.11 se obtiene que:

$$\sigma_f = \frac{M_f * c}{I} = \frac{32 * M_f}{\pi * D^3}$$
$$\tau = \frac{V_{corte}}{A} = \frac{4 * V_{corte}}{\pi * D^2}$$

Sustituyendo en la ecuación 4.8 resulta:

$$\frac{S_y}{N} = \sqrt{\sigma_{Eq}^2 + 3 * \tau_{Eq}^2} = 212 = \sqrt{\left[\frac{32 * M_f}{\pi * D^3}\right]^2 + 3 * \left[\frac{4 * V_{corte}}{\pi * D^2}\right]^2}$$

Sustituyendo M_f y V_{corte} (obtenidos del diagrama de corte y momento) y despejando el diámetro:

$$D = 33,48 \text{ mm}$$

Verificando en el catálogo de Rollers Conveyors S.A. (anexo 1), se puede constatar que el rodillo seleccionado correspondiente a este estudio es el Roller Conveyor for Heavy Duty (RCHD) que presenta las características de la tabla 4.3:

TABLA N°4.3: Características de los rodillos transportadores seleccionados

Fuente: www.rollersconveyors.com

$\varnothing_{\text{TUBO}}$ (mm)	$\varnothing_{\text{EJE}}$ (mm)	Espesor del Tubo (mm)
89mm	25mm	3,18mm

No es necesaria la aplicación de otros criterios de diseño como el de fatiga porque no hay fluctuaciones de carga, tampoco el de pandeo debido a que no hay cargas axiales a compresión.

4.3.3. Selección de la viga de soporte de los rodillos

Generalmente los perfiles utilizados como vigas se estudian a corte y flexión cuando soportan una fuerza determinada en la superficie de carga y a su vez se encuentra suspendida una altura específica. En el caso de los transportadores de rodillos las vigas van colocadas a nivel de piso, y poseen una inclinación de 0° , por lo que su estudio a corte y flexión es irrelevante. De tal forma, haciendo un estudio exhaustivo de diversos transportadores de rodillos y consultando con expertos, se llegó a la conclusión que los perfiles más comunes en la elaboración de estos sistemas son las vigas UPL laminadas en caliente, ya que sus características de fabricación las hacen ideales para soportar el tipo de cargas que aquí se estudian.

En un transportador, los rodillos van fijados directamente al alma de la viga, y los perfiles UPL permiten este tipo de utilización tal como se puede apreciar en la figura N°4.13.

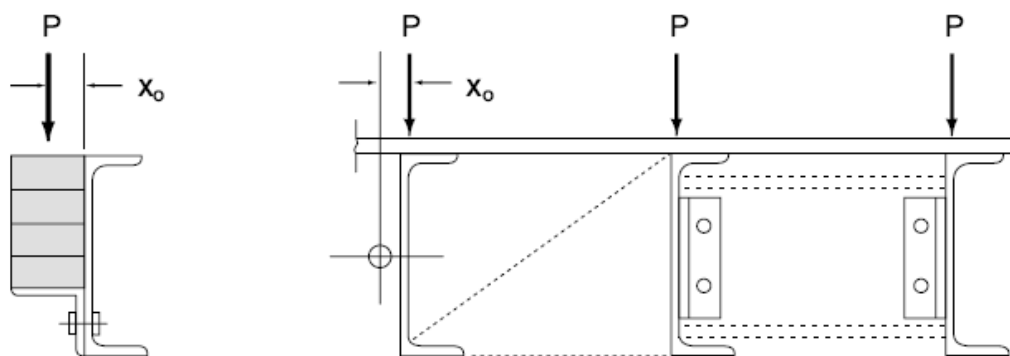


FIGURA N°4.13: Disposiciones constructivas de vigas UPL a nivel del suelo

Fuente: <http://www.sidetur.com.ve/Archivos/MANUALupl1.PDF>

De acuerdo a los requerimientos de diseño se estimó entonces seleccionar el perfil UPL con mayores dimensiones para la resistencia de la carga establecida, es

decir, el perfil UPL 120, cuyas propiedades se especifican en la tabla N°4.4, y las cuales serán ampliadas en el apéndice A-6.

TABLA N°4.4: Propiedades estandarizadas de perfiles UPL

Fuente: www.suviplac.com

Perfil	Peso	$\frac{b_f}{2t_f}$	$\frac{h}{t_w}$	A	r_y	r_x	I_x	S_x	Z_x	C_1	C_2
UPL	$\frac{\text{kgf}}{\text{m}}$			cm^2	cm	cm	cm^4	cm^3	cm^3	$\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	$\frac{\text{cm}^4}{\text{kgf}^2}$
80	6.08	5.00	12.0	7.75	1.00	3.10	74.4	18.6	22.4	431930	0.23322×10^{-7}
100	8.20	5.00	14.0	10.45	1.15	3.92	155	30.9	37.8	396740	0.35149×10^{-7}
120	9.58	5.63	17.6	12.2	1.27	4.67	266	44.3	52.8	319350	0.82262×10^{-7}
140*	11.3	6.00	20.8	14.5	1.41	5.48	435	62.1	73.5	282180	1.35503×10^{-7}

Es importante recordar que en este caso de estudio los perfiles no soportarán individualmente toda la carga, sino que en grupos de dos trabajarán como una especie de riel donde se ubicarán los rodillos. Es por esto que para mejor aprovechamiento de su geometría serán dispuestos de forma combinada como un par abierto (] [).

4.4. Diseño de la barra de empuje

4.4.1. Cálculo de la Fuerza de empuje

La fuerza de empuje se constituye en la necesidad de vencer la inercia que tiene una cesta de alimentación llena para poder transportarla a través de los rodillos. El cálculo de esta fuerza se obtiene haciendo un diagrama de cuerpo libre como se muestra en la figura N°4.14, donde se considera el estado estático del cuerpo como el momento más crítico del proceso, ya que la fuerza de roce estática máxima es mucho mayor que la fuerza de roce dinámica.

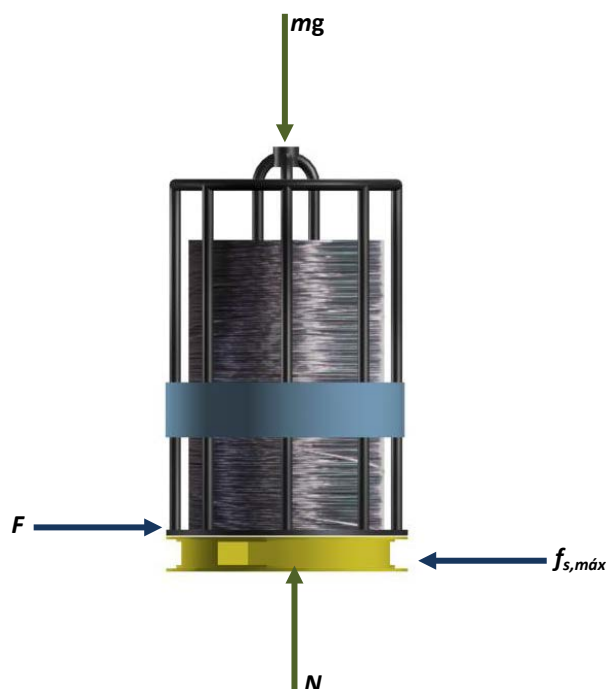
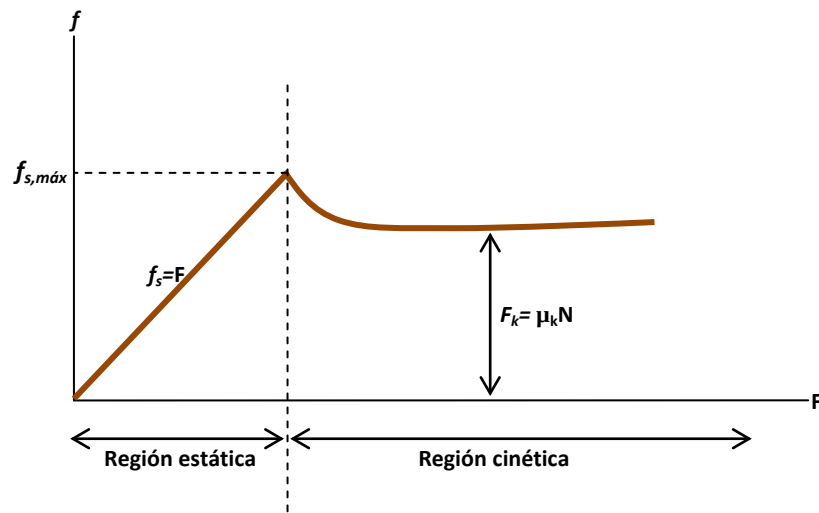


FIGURA N°4.14: Diagrama de cuerpo libre de una cesta de alimentación llena.
(Fuente: L. Alvarez, 2007)

Mientras la cesta no está en movimiento $f=F$. Puesto que la cesta está estacionaria, a esta fuerza friccionante se le denomina fuerza de fricción estática (f_s).

Esta fuerza de fricción surge de los puntos de contacto que existen entre las superficies de contacto, aún cuando estas son muy lisas. Si se incrementa la magnitud de F se incrementa de igual forma la fuerza friccionante f , sin embargo, ésta última no puede incrementarse indefinidamente. De manera eventual la superficie de contacto no puede proporcionar durante mucho tiempo la suficiente fuerza de fricción para contrarrestar F , por lo que la cesta termina acelerándose. (R. Serway, 2002)

Cuando la cesta de alimentación está a punto de deslizarse, f_s es un máximo como se indica en la figura N°4.15.

**FIGURA N°4.15:** Gráfico de fuerza de roce en función de la Fuerza de Empuje**Fuente:** R. Serway, 2002

Cuando F supera a $f_{s,máx}$ la cesta de alimentación acelera en la dirección de la fuerza de empuje. Cuando el elemento ya está en movimiento, la fuerza retardadora se le denomina fuerza de fricción cinética (f_k), resultando en el hecho que si $F=f_k$ entonces la cesta se mueve en la dirección de la fuerza con velocidad constante.

De forma experimental se ha determinado que tanto $f_{s,máx}$ como f_k son proporcionales a la fuerza normal que actúa sobre la cesta, dando como resultado que “la dirección de la fuerza de fricción estática entre cualesquiera dos superficies en contacto se opone a la dirección del movimiento relativo y puede tener valores donde la constante adimensional μ_s recibe el nombre de coeficiente de fricción estática y N es el valor de la fuerza normal”. (R. Serway, 2002)

La proporcionalidad entre la fuerza de roce y la fuerza normal se representa mediante la expresión 4.12.

$$f_s \leq \mu_s * N \quad (4.12)$$

La igualdad de la ecuación 4.12 se cumple cuando el objeto, en este caso la cesta, está a punto de deslizarse es decir, cuando $f_s = f_{s,máx} = \mu_s N$. Es por esto que la fuerza de empuje se calcula a partir de la sumatoria de fuerzas en el diagrama de cuerpo libre, reflejando que su valor máximo se obtendrá cuando la fuerza de roce estática sea la máxima. En el caso de utilizar rodillos transportadores con rodamientos, el coeficiente de roce estático se disminuye al máximo con la finalidad de disminuir la fuerza de empuje para hacer más fácil y liviano el traslado del material. Para poder conseguir el coeficiente de fricción con la utilización de rodamientos se recurre a la tabla perteneciente al catálogo de rodillos de la empresa Rotrans S.A. que se encuentra en el apéndice A-7, donde determinando el tipo de rodamiento y diseñando en condiciones críticas (desfavorables), se obtiene que el factor de fricción es de 0,03.

$$\sum F_Y = N - mg = 0 \quad \therefore N = mg$$

$$N = 550Kg * 9,81 \frac{m}{s^2} = 5395,5N$$

$$\sum F_X = F - f_{s,máx} = 0 \quad \therefore F = f_{s,máx} = \mu_s * N$$

Sustituyendo y despejando se obtiene la fuerza de empuje:

$$F = f_{s,máx} = 0,03 * 5395,5N$$

$$F = 161,86N$$

Esta es la fuerza que tendrá que soportar la barra de empuje por cada cesta involucrada en forma de una distribución uniforme de carga. Es importante recordar que los coeficientes de fricción son casi independientes del área de contacto entre las superficies, por lo que este criterio aplica perfectamente para el estudio de las cestas de alimentación.

Haciendo un análisis gráfico de dos cestas consecutivas se puede obtener la sumatoria total de la fuerza de empuje, tal como se muestra de forma ilustrativa en la figura N° 4.16.

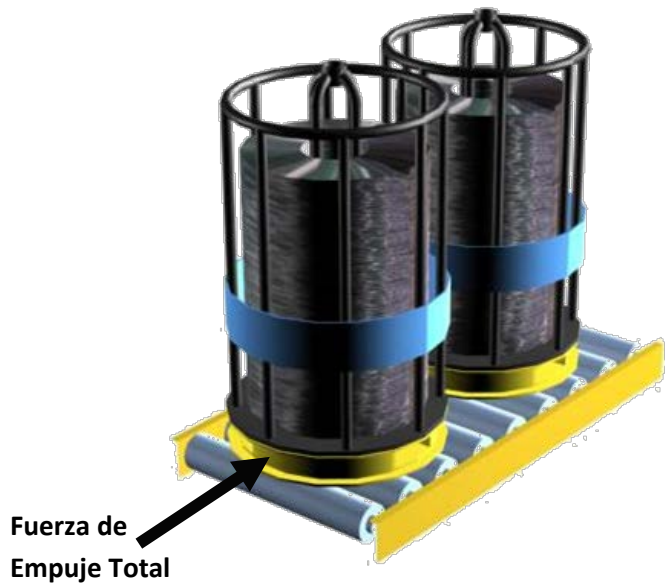


FIGURA N°4.16: Representación gráfica de la fuerza de empuje total.
(Fuente: L. Alvarez, 2007)

$$F_{empuje\ total} = 2 * F_{1cesta}$$

$$F_{empuje\ total} = 2 * 161,86 \therefore F_{empuje\ total} = 323,72 \cong 324N$$

Si la barra de empuje tiene un total de 10m y en total son 6 rieles de transportadores de rodillos cada uno de 1,1m, tomando una holgura de casi 1,4m se podría obtener la distribución de carga sobre la barra:

$$324N * 6_{rieles} = 1944N \therefore \frac{1944N}{8m} = 243N/m$$

4.4.2. Estudio de las cargas. Diseño a corte y flexión de la barra

Se procederá a evaluar la barra utilizando el criterio de Von Mises-Henky estimando el acero AISI-SAE 1020, ya que es utilizado en la elaboración de chapas de acero y perfiles estructurales entre otras aplicaciones. Los valores de M_f y V_{corte} se obtienen del diagrama de corte y momento (figura 4.18). (W. Smith, 1998)

$$M_f = 364,5Nm$$

$$V_{corte} = 121,5N$$

Se sustituyen en las ecuaciones 4.10 y 4.11 respectivamente obteniendo así los valores de σ y τ , pero sustituyendo el valor de I por la ecuación característica para secciones transversales rectangulares (ecuación 4.13). La sección transversal de la barra se muestra en la figura 4.17.

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (4.13)$$



FIGURA N°4.17: Dimensiones de la sección transversal de la barra de empuje
(Fuente: L. Alvarez, 2007)

$$\sigma_f = \frac{M_f \cdot c}{I} \quad \therefore \quad \sigma_f = \frac{6 \cdot M_f}{h^3}$$

$$\tau = \frac{V_{corte}}{A} \quad \therefore \quad \tau = \frac{V_{corte}}{50 \cdot h}$$

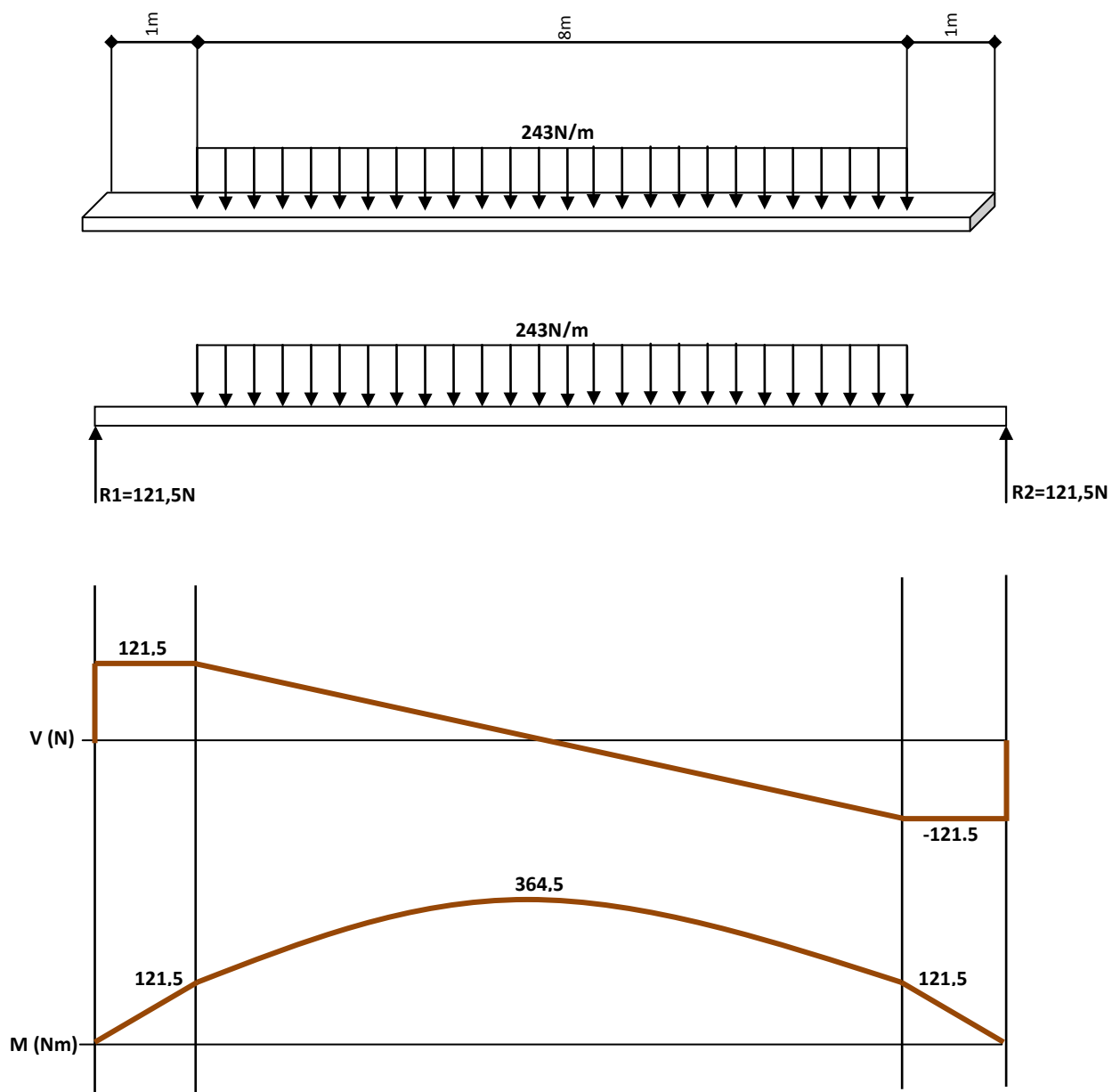


FIGURA N°4.18: Representación gráfica de la fuerza de empuje total
(Fuente: L. Alvarez, 2007)

Sustituyendo en la ecuación 4.8 se obtiene que:

$$S_y = \sqrt{\sigma_{Eq}^2 + 3 * \tau_{Eq}^2} = \sqrt{\left[\frac{6 * M_f}{h^3}\right]^2 + 3 * \left[\frac{V_{corte}}{50 * h}\right]^2}$$

Despejando h se obtiene que:

$$h = 23,64mm \cong 24mm$$

Entonces se calcula el peso total de la barra de empuje, tomando en cuenta que la densidad del acero es $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$.

$$V_{barra} = \text{largo} * \text{ancho} * \text{espesor} = 10 * 0,05 * 0,024$$

$$V_{barra} = 0,012m^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho * V$$

$$m = 94,2kg$$

4.5. Diseño de la placa de sujeción de la barra de empuje

La barra de empuje será sujeta al carro móvil de los actuadores lineales sin vástago mediante dos placas en forma de “L”, tal como se muestra en la figura N°4.19. Cada placa constará en realidad de dos plaquitas soldadas entre sí y atornilladas al carro móvil. Cabe destacar que los actuadores lineales sin vástago están diseñados de forma tal que al carro móvil se le pueden atornillar las piezas, y es por ellos que dichos tornillos ya vienen especificados por el fabricante y soportan las cargas que a su vez soporta el actuador, por lo que no se procederá a realizar el diseño específico de dichos elementos de unión.

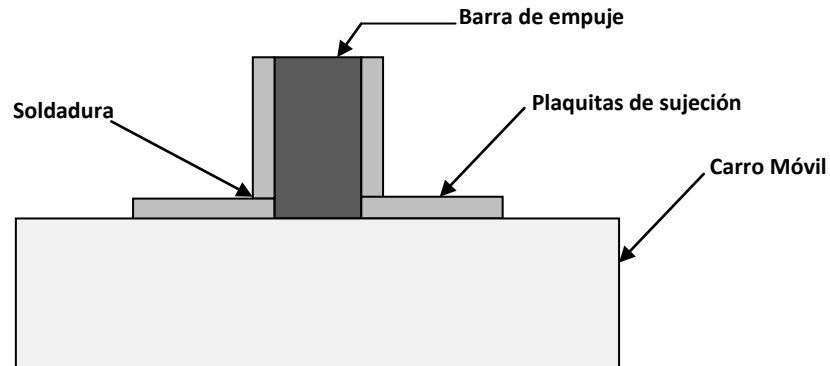


FIGURA N°4.19: Representación gráfica de las placas de sujeción de la barra de empuje. (Vista lateral)

El acero a utilizar para diseñar el sistema de sujeción de la barra de empuje es un acero al carbono AISI N° 1010 cuyo esfuerzo admisible es de $30,2 \text{ kgf/mm}^2$ o $292,2 \text{ MPa}$. Este tipo de acero es recomendado para la elaboración de planchas y flejes, entre otras aplicaciones. (W. Smith, 1998)

Se ha estimado el espesor de la placa en 6mm con unas dimensiones de $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$; estas dimensiones se adaptan al tamaño del carro móvil donde se fijará este sistema. El diagrama de cuerpo libre se muestra en la figura N° 4.20.

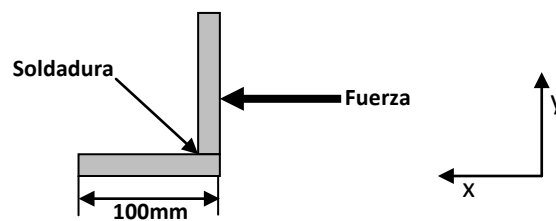


FIGURA N°4.20: Diagrama de cuerpo libre de la placa de sujeción de la barra de empuje

El diseño de las soldaduras utilizada en las juntas de las láminas es de tipo filete, en donde se usarán dos cordones de soldadura para la unión entre las láminas.

La soldadura está sometida a flexión en el plano xy (figura N°4.20), como consecuencia de la fuerza F . Dicha fuerza es producto de la carga a la que está sometida la barra de empuje, dividida en dos porque hay que recordar que la barra de empuje se ubica sobre los dos actuadores lineales sin vástago, y por ende en cada uno de éstos debe haber un sistema de sujeción. La fuerza F es igual a 121,5N, y se obtiene del diagrama de corte y momento mostrado en la figura N°4.18. Para el cálculo del tamaño de la soldadura se emplean inicialmente las ecuaciones 4.10 y 4.11, pero con la variante de que la inercia I viene dada por la expresión 4.14, que se aplica para uniones soldadas de dos cordones. (R. Mott, 2006)

$$I = 0,707h * \frac{b*d^2}{2} \quad (4.14)$$

Donde h es el espesor de la soldadura, y b es el ancho y d el espesor de la placa.

$$\sigma_f = \frac{M_f * c}{I} = \frac{6075 * 3}{0,707h * \left(\frac{100 * 6}{2}\right)} \quad \therefore \quad \sigma_f = \frac{85,926}{h}$$

Para el caso de soldaduras, el esfuerzo cortante viene determinado por la expresión N° 4.15^[9].

$$\tau = \tau' + \tau'' \quad (4.15)$$

Donde τ' es la misma ecuación 4.11, y τ'' es la expresión 4.10.

$$\tau' = \frac{F}{A}$$

$$\tau' = \frac{121,5}{1,414h * 100} \quad \therefore \quad \tau' = \frac{0,8592}{h}$$

$$\tau'' = \frac{M_f * C}{I}$$

$$\tau'' = \frac{85,926}{h}$$

Ahora se procede a sustituir τ' y τ'' en la ecuación N°4.15.

$$\tau = \tau' + \tau'' \quad \therefore \quad \tau = \frac{0,8592}{h} + \frac{85,926}{h}$$

$$\tau = \frac{86,785}{h}$$

A continuación se sustituyen los valores de σ y τ en la ecuación 4.8.

$$S_y = \sqrt{\sigma_{Eq}^2 + 3 * \tau_{Eq}^2} = \sqrt{\left[\frac{85,926}{h}\right]^2 + 3 * \left[\frac{86,785}{h}\right]^2}$$

Se selecciona el electrodo E60xx (apéndice N°A-16) como referencia para el cálculo del S_y , el cual tiene un $S_{ut}=472\text{MPa}$. De acuerdo con la norma ANSI el esfuerzo permisible, para cargas de tipo cortante y juntas de filete, es $Se=0.4S_y$, siendo $S_y=0.5S_{ut}$. Asumiendo un factor de seguridad de 2 (Tabla A-8, apéndices), se sustituye en la ecuación 4.8 y se despeja h .

$$\frac{S_y}{2} = \sqrt{\left[\frac{85,926}{h}\right]^2 + 3 * \left[\frac{86,785}{h}\right]^2}$$

$$h = 1,62\text{mm}$$

4.6. Selección del actuador lineal sin vástago

Si se toma en cuenta el sistema de empuje como un elemento individual se puede observar que el peso de la barra de empuje se reparte entre los dos actuadores lineales, tal como se muestra en el cálculo a continuación:

$$m_{\text{barra}} = 94,2kg * 9,81 \frac{m}{s^2} = 924,10N$$

$$m_{\text{sobre 1 actuador}} = \frac{m_{\text{barra}}}{2} = 462N$$

Como la barra reparte su carga de forma exactamente igual entre los dos actuadores, los momentos generados no se tomarán en cuenta para la selección de los actuadores. Inicialmente se verifica que los actuadores y demás elementos deben funcionar con una presión de aire de 6bar, que es el valor dispuesto en la empresa para la utilización de estos mecanismos. Cada actuador lineal presente en el sistema diseñado deberá soportar entonces una F_z de 462N. La figura N°4.21 muestra la ubicación de las cargas en un actuador lineal sin vástago.

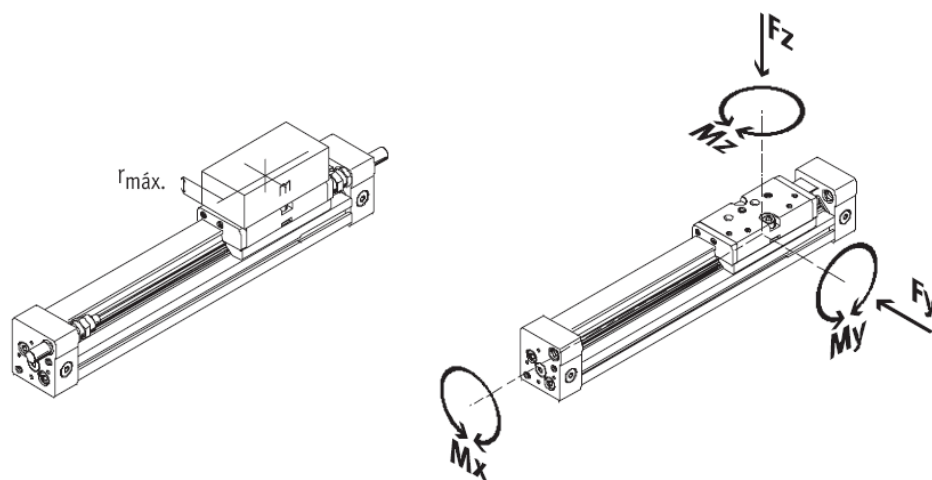


FIGURA N°4.21: Ubicación de cargas en un actuador lineal sin vástago

Fuente: www.festo.com

Los parámetros utilizados para la selección de las características generales de los actuadores requeridos están basados en lo mostrado en el catálogo de Neumática Rotonda C.A. mostrado en el anexo 11; es necesario entonces calcular la fuerza empuje que requiere cada actuador para poder mover la barra de empuje:

$$F = \frac{243N}{m} \rightarrow F_{total} = \frac{243N}{m} * 8m = 1944N$$

$$F_{actuador} = \frac{1944N}{2} = 972N$$

Por ende se procede a escoger un actuador lineal que pueda soportar una carga de empuje de 972N a una presión teórica de 6bar y de carrera de 3000mm, por lo que se eligió uno que posea un diámetro de émbolo de 63mm.

Generalidades del actuador:

El actuador requerido debe ser compacto sin vástago con guía lineal, cuya imagen referencial se observa en la figura N°4.22. La carga que deberá moverse se fija sobre el carro y los movimientos entre las dos posiciones finales están a cargo de un émbolo interno. Puede utilizarse como componente integrado en el conjunto para la manipulación y montaje para aplicaciones de varios ejes o, también, como actuador estándar compacto con guía. El actuador seleccionado de acuerdo a los requerimientos es de ejecución básica, soportando hasta cargas medianas.

Entre sus características operativas se encuentran: doble efecto; tipo de guía deslizante; otros tipos de amortiguación como elástica, lineal y progresiva; tipos de fijación a elegir entre montaje en perfil, con pies o montaje directo. (festo.com)



FIGURA N°4.22: Imagen del actuador lineal sin vástago
Fuente: www.festo.com

Ventajas y utilidad:

- » Montaje versátil gracias a la posibilidad de conectar el aire comprimido indistintamente en tres lados.
- » Diseño compacto del actuador completo y, por lo tanto, apropiado para el montaje en espacios reducidos. Detectores integrados en el tubo perfilado.
- » Conexión rápida y sencilla del actuador. Al sustituir el actuador, no es necesario volver a ajustar la unidad nueva. (neumaticarotonda.com)

Se procede ahora a calcular el peso de cada actuador porque se necesita para la posterior selección del actuador guiado. El cálculo del peso se hace tomando como referencia lo mostrado en el anexo 12.

$$P_{\emptyset 63} = 9,23kg + (3000 * 0,00927)$$

$$P_{\emptyset 63} = 37,04kg$$

4.7. Selección del actuador guiado (desplazamiento ascendente y descendente)

Cada actuador lineal sin vástago va a ser elevado aproximadamente una distancia de 10cm con la finalidad de colocar en posición la barra de empuje, tal acción será llevada a cabo por dos cilindros guiados que, ubicados en cada extremo de los actuadores lineales, permitirán llevar a cabo el movimiento requerido. Es de recordar que el sistema diseñado cuenta con un total de cuatro actuadores lineales sin vástago, por lo que si cada uno requiere a su vez ser levantado por dos actuadores guiados, se requerirá entonces un total de ocho actuadores de este modelo, cuyas características y funcionamiento serán iguales entre sí por presentar las mismas condiciones de operación.

Si se analiza uno de los actuadores y se le hace un estudio de carga y momento pueden detectarse claramente dos etapas críticas en su funcionamiento: la primera es cuando el actuador soporta la carga de la barra de empuje (Figura N°4.23).

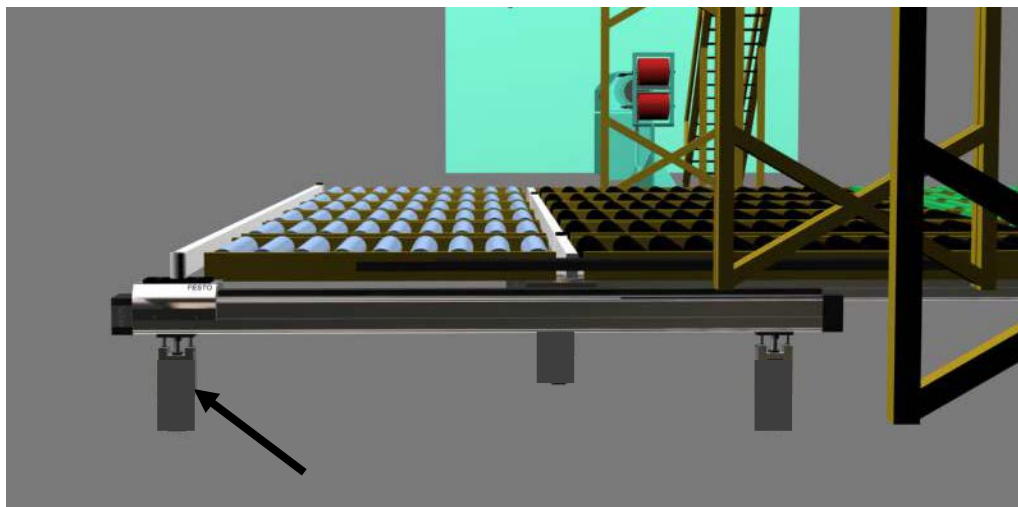


FIGURA N°4.23: Ubicación de la barra de empuje y el carro móvil justo encima del cilindro guiado. (Fuente: L. Alvarez, 2007)

En este momento el carro móvil del actuador lineal se encuentra ubicado justo encima del actuador guiado, por lo que el dispositivo tiene que soportar una carga directa sobre su eje que se obtiene de sumar el peso de la barra de empuje con la mitad del peso del actuador lineal sin vástago (recuérdese que este va soportado por dos actuadores tipo guiado).

La segunda etapa ocurre cuando el carro móvil se desplaza por el actuador lineal y llega al otro extremo de este, generando un momento considerable en el cilindro guiado que se está estudiando.

Si se unen ambas condiciones críticas de funcionamiento, se obtendrá el estado más esforzado para el actuador tipo elevador, tal como se observa en el diagrama de cuerpo libre de la figura N°4.24.

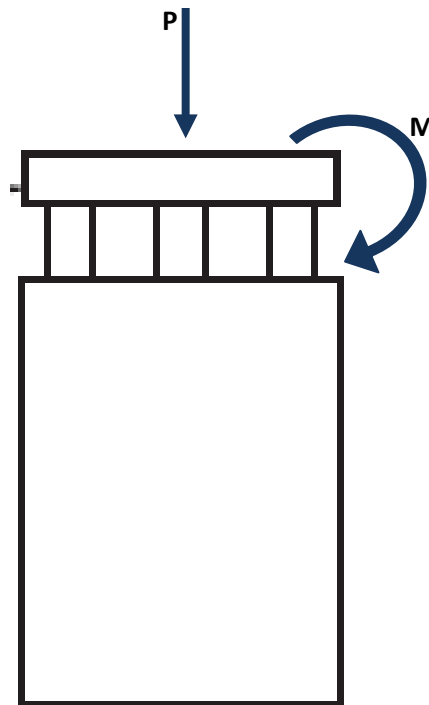


FIGURA N°4.24: Diagrama de cuerpo libre del actuador guiado. (Fuente: L. Alvarez, 2007)

El valor de P viene dado por la sumatoria de todas las cargas presentes en el momento más crítico, mientras que el valor de M se obtiene de la proporcionalidad entre la fuerza que ejerce la barra de empuje más el peso del actuador lineal sobre el cilindro guiado, y la distancia hasta el actuador elevador.

$$P = P_{\text{barra de empuje}} + P_{\text{actuador lineal}}$$

$$P = 462N + \left(\frac{37,04kg \cdot 10 \frac{m}{s^2}}{2} \right) \therefore P = 518N$$

$$M = P * \text{brazo}$$

$$M = 518N * 3000mm \rightarrow M = 518N * 3m$$

$$M = 1554Nm$$

Tomando como referencia inicial el catálogo mostrado en el anexo número 13, se observa que el actuador requerido debe ser de vástago simple y con guía de rodamientos. Las condiciones operacionales permiten concluir que para una carrera de 100mm se necesita un diámetro del émbolo de 40mm para que pueda soportar la fuerza P .

Analizando los parámetros característicos de este tipo de cilindros, se puede observar que el momento que soportan no es un aspecto crítico para su selección, pero si se hace énfasis que este tipo de actuadores compensa grandes momentos y fuerzas transversales; aunque el sentido del movimiento les permite subir y bajar cargas, cuentan con un seguro antigiro que les permite adquirir una gran funcionalidad (Figura N°4.25). Para verificar estas características se puede recurrir al anexo número 14.

El estudio de la fuerza teórica que soporta este tipo de actuadores con una presión de aire de 6bar, permite confirmar que el diámetro del émbolo es de 40mm ya que es precisamente éste el que soporta el valor inmediato mayor a la fuerza P .

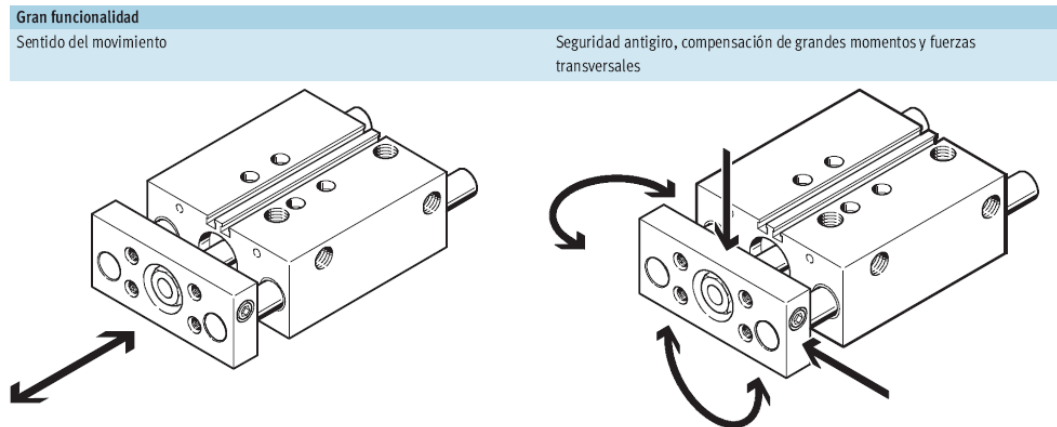


FIGURA N°4.25: Funcionalidad del actuador guiado de vástago simple
Fuente: www.festo.com



FIGURA N°4.26: Imagen del cilindro de vástago simple con guía de rodamientos
Fuente: www.festo.com

Características generales requeridas de actuadores guiados:

Este tipo de actuadores cuentan con detectores de proximidad que pueden utilizarse en combinación con carreras iguales o superiores a 50 mm. Unidad de guía compacta y robusta, de gran precisión. El actuador y la guía se encuentran en un solo cuerpo. Dependiendo de la aplicación, puede optarse alternativamente por guía deslizante o guía de rodamiento de bolas. Diámetros desde 12 hasta 100 mm. (festo.com)

4.7. Selección de electroválvulas

El sistema diseñado requiere válvulas para el control del funcionamiento de los actuadores tanto los lineales como los guiados, es por ello que se ha decidido trabajar con válvulas 5/3 vías de accionamiento eléctrico y con centro cerrado mediante resorte. Este tipo de válvulas garantiza mantener la presurización de las cámaras de los actuadores en caso de que se pierda el suministro de aire, manteniendo así el sistema estático en caso de una falla.

Inicialmente se seleccionarán las válvulas requeridas por los actuadores lineales sin vástago de diámetro de émbolo 63mm y carrera de 3000mm. Se procede a calcular el área del émbolo de acuerdo a los parámetros de una sección transversal circular, tal como se expresa en la ecuación 4.16:

$$A = \pi * r^2 = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (4.16)$$

$$A = \frac{\pi * 63^2}{4} \therefore A = 3117,45 mm^2$$

A continuación se calcula el volumen del actuador (Ec. 4.17), para luego poder obtener el valor del caudal de aire que éste maneja y de esta forma poder seleccionar la válvula para que pueda operar bajo condiciones de diseño.

$$V = A * carrera \quad (4.17)$$

$$V = 3117,45mm^2 * 3000mm \quad \therefore \quad V = 9351735,mm^3$$

$$Q = \frac{V}{t} \quad (4.18)$$

Para el cálculo del caudal (Ec. 4.18) se estimará un tiempo de recorrido de la carrera del actuador en aproximadamente 4 segundos, y sustituyendo la unidad mm^3 por *litros* se obtiene que:

$$Q = \frac{9,35L}{0,004min} \quad \therefore \quad Q = 233,75L/min$$

Tomando como referencia inicial el catálogo dispuesto en la sección de anexos (anexo 16), se puede constatar que existen válvulas 5/3 vías (Figura N°4.27) que cumplan con los requerimientos necesarios para llevar a cabo la realización del proceso.

Este tipo de válvulas pueden manejar un caudal de hasta 1200L/min y trabajar con una tensión de funcionamiento de 24VDC.

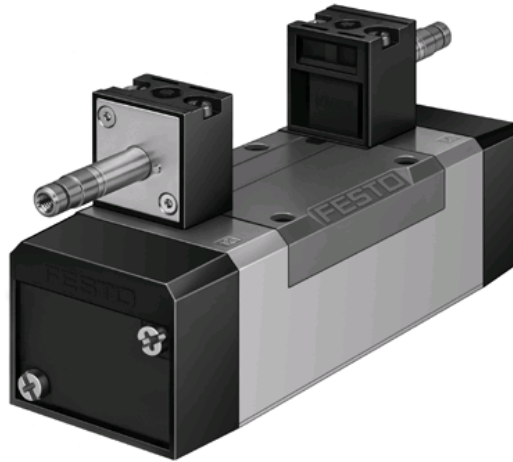


FIGURA N°4.27: Imagen de la electroválvula de 5/3vías
Fuente: www.festo.com

Características generales de electroválvulas 5/3vías:

- » Alta fiabilidad de funcionamiento
- » Fabricación en material resistente a la corrosión
- » Pueden utilizar aire comprimido con o sin lubricación
- » Aplicaciones en la utilización de cilindros y actuadores neumáticos o hidráulicos.
- » Tipo de mando eléctrico
- » Temperaturas de fluido de trabajo hasta 80°C como máximo

El caudal que maneja la válvula correspondiente al tamaño ISO-1 es de hasta 1200 l/min. Puede trabajar con una tensión que puede variar entre 12, 24, 42, 48, V DC. Este tipo de válvulas pueden ser accionadas eléctrica o neumáticamente. (festo.com)

Ahora se procede a seleccionar las electroválvulas para los actuadores guiados partiendo de que fueron seleccionados con un diámetro de émbolo de 40mm y una carrera de 100mm.

De igual forma se procede a calcular el área de acuerdo con la ecuación 4.16, resultando:

$$A = \frac{\pi \cdot 40^2}{4} \therefore A = 1256,64 \text{ mm}^2$$

Se calcula el volumen utilizando la ecuación 4.17, obteniendo de esta forma:

$$V = 1256,64 \text{ mm}^2 \cdot 100 \text{ mm} \therefore V = 125764,7 \text{ mm}^3$$

A continuación se procede a calcular el caudal para poder seleccionar la electroválvula para que trabaje en condiciones de diseño. Se utiliza la ecuación 4.18 estimando que el movimiento ocurre en aproximadamente 2 segundos, y transformando a *litros* el valor del volumen:

$$Q = \frac{0,1257647 \text{ L}}{0,002 \text{ min}}$$

$$Q = 62,88 \text{ L/min}$$

Como el valor del caudal estimado es menor que el nominal de la válvula seleccionada para el cilindro sin vástago, se puede asumir que es posible utilizar la misma electroválvula para los actuadores guiados, que pueden manejar un caudal de hasta 1200L/min. Las referencias de los cálculos hechas en base a los catálogos de Festo no son limitante para la selección de otra marca de estos actuadores, siempre y cuando cumplan con las características operacionales requeridas.

4.8. Diseño del sistema de control

El sistema de control para el sistema de alimentación continua de cestas se realizará tomando como tecnología de trabajo la electroneumática de control basada en lógica programada. Este tipo de tecnología es comúnmente utilizada gracias a las ventajas que ofrece. En la electroneumática el fluido de trabajo es aire comprimido lo que genera alto grado de confiabilidad y seguridad en el ambiente de trabajo. El uso de lógica programada permite el cumplimiento a cabalidad de las tareas que se requieren llevar a cabo en el sistema diseñado, ofreciendo un proceso resultante capaz de ofrecer una respuesta inmediata en el momento requerido.

En el diseño de este sistema de control se considerará un lazo cerrado como esquema representativo de control, ya que el mismo se compone de los siguientes elementos:

- » Elementos introductores de señal
- » Elementos de mando
- » Elementos de control y procesamiento
- » Elementos actuadores

4.8.1. Memoria descriptiva

El sistema de alimentación continua consta de 4 actuadores lineales sin vástago con una carrera de 3000mm, cada uno de éstos es sostenido por dos cilindros guiados con una carrera de 100mm, haciendo un total de 8 actuadores guiados. Cada uno de los elementos anteriormente mencionados será controlado por válvulas electroneumáticas de 5/3 vías. Los sensores son magnéticos de posición de carrera y vienen adaptados directamente a los actuadores involucrados.

Inicialmente el proceso comienza al presionar un pulsador (S1), que será quien active todos los elementos del sistema. Se contará con un selector de “opción” que permitirá diferenciar entre utilizar el sistema de empuje 1 y el 2, de igual manera se tendrá un selector “manual-automático” específico para cada caso.

A continuación y luego de verificar que todos los actuadores están completamente retraídos, se procede a activar el pulsador (S3) para que de esta forma comience a funcionar el sistema de empuje 1 (Figura N°4.28).

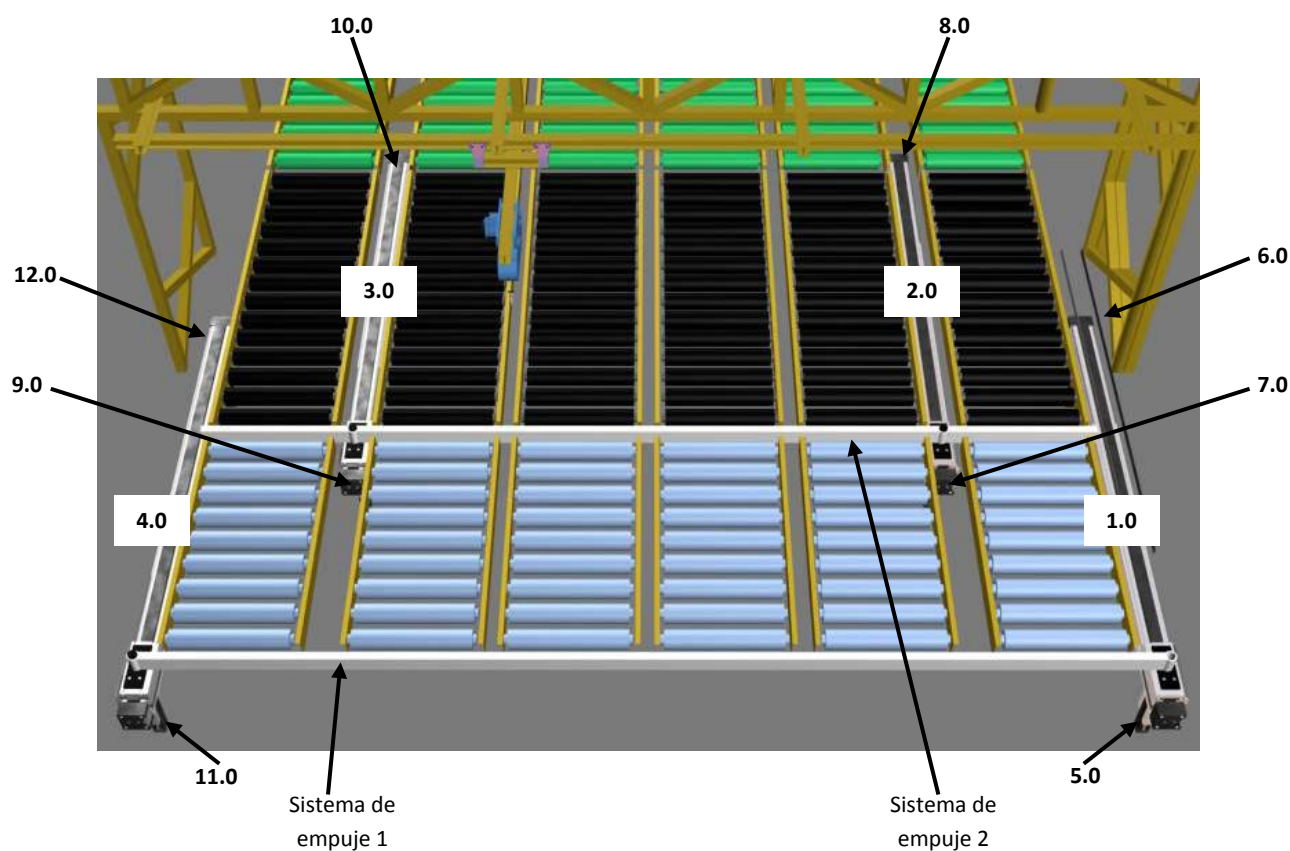


FIGURA N°4.28: Ubicación de los actuadores y los Sistema de empuje 1 y 2
(Fuente: L. Alvarez, 2007)



En este momento los cilindros guiados 5.0, 6.0, 11.0 y 12.0 extienden al máximo su vástago y cuando es detectado su final de carrera se da la orden de que el carro móvil de los actuadores lineales sin vástago 1.0 y 4.0 comience su recorrido hasta el punto que se ha denominado “punto intermedio de carrera”, lugar donde un sensor de posición detecta el carro móvil y da la señal para el retorno del mismo, regresando así hasta el inicio de carrera y permitiendo el descenso de los cilindros guiados.

Aquí comienza la segunda fase del sistema de empuje 1, donde el operario debe activar nuevamente el pulsador (S3) para que se repita el proceso anterior con la diferencia de que en vez de llegar al “punto intermedio de carrera”, el carro móvil hace el recorrido completo de los 3000mm. Cuando es detectado el final de carrera el carro móvil retorna a su posición inicial dando así la señal para que descendan los cilindros guiados y se pueda iniciar un nuevo proceso.

En este momento y luego de que las cestas de alimentación hayan cumplido su papel dentro del proceso de cableado, debe activarse el sistema de empuje 2 con la finalidad de retirar las cestas vacías. Se comienza por presionar (S5) y luego de que el sistema verifica que todos los actuadores del sistema 2 están retraídos da la orden para que los cilindros guiados 7.0, 8.0, 9.0 y 10.0 extiendan su vástago. Cuando es sensado el final de carrera da la señal para que el carro móvil de los actuadores lineales sin vástago 2.0 y 3.0 recorra toda la carrera. Luego, es sensado el final de carrera y se da la orden para que el carro móvil vuelva a su posición inicial, generando así que los actuadores guiados retraigan su vástago y se pueda comenzar un nuevo proceso.

El sistema funcionará bajo condiciones de parada prioritaria, por lo que el pulsador (S2) permitirá que todos los elementos dejen de funcionar cuando así sea requerido, mediante el corte del suministro de aire.

El sistema diseñado tendrá la opción de trabajar en modo manual (por etapas), por lo que se ha estipulado una serie de pulsadores que permitirán el movimiento individual de cada sección del dispositivo. Cuando el operario decida posicionar el selector en este modo, deberá inicialmente activar el pulsador (S6) para que entonces los actuadores 5.0, 6.0, 11.0 y 12.0 puedan ascender y descender libremente a decisión del operario. En caso de que éstos tengan su vástago totalmente extendido, el operario puede mover y retraer el carro móvil de los actuadores lineales 1.0 y 4.0 al accionar el pulsador (S7).

Este modo de operación permite verificar el correcto funcionamiento de cada etapa del sistema diseñado; también representa una gran ventaja a la hora de que se presente una falla y se requiera de mover cada etapa de forma individual.

Para accionar de forma manual el sistema de empuje 2 se tienen dos pulsadores: el pulsador (S8) permite la activación de los actuadores 7.0, 8.0, 9.0 y 10.0, mientras que el pulsador (S9) permite mover y retraer los actuadores 2.0 y 3.0.

A continuación en la tabla N°7 se muestra la denominación de cada uno de los elementos que componen el sistema diseñado. Aquí se especificará la nomenclatura de los actuadores, las electroválvulas, las bobinas de conmutación y los sensores. También se denotará el funcionamiento de cada uno dentro del sistema de control. En esta tabla se podrá verificar el direccionamiento de entradas y salidas de los elementos que así lo requieran.



TABLA N°4.5: Denominación de elementos del sistema de control.

(Fuente: L. Alvarez, 2008)

SÍMBOLO	DIRECCIÓN	ELEMENTO	FUNCIÓN
1.0	Q24	Actuador lineal sin vástago	Mover la barra de empuje 1
2.0	Q25	Actuador lineal sin vástago	Mover la barra de empuje 2
3.0	Q26	Actuador lineal sin vástago	Mover la barra de empuje 2
4.0	Q27	Actuador lineal sin vástago	Mover la barra de empuje 1
5.0	Q28	Cilindro guiado	Levantar el actuador lineal sin vástago 1.0
6.0	Q29	Cilindro guiado	Levantar el actuador lineal sin vástago 1.0
7.0	Q30	Cilindro guiado	Levantar el actuador lineal sin vástago 2.0
8.0	Q31	Cilindro guiado	Levantar el actuador lineal sin vástago 2.0
9.0	Q32	Cilindro guiado	Levantar el actuador lineal sin vástago 3.0
10.0	Q33	Cilindro guiado	Levantar el actuador lineal sin vástago 3.0
11.0	Q34	Cilindro guiado	Levantar el actuador lineal sin vástago 4.0
12.0	Q35	Cilindro guiado	Levantar el actuador lineal sin vástago 4.0
Y1	Q0	Bobina de electroválvula	Mover carro móvil de actuador 1.0
Y2	Q1	Bobina de electroválvula	Retraer carro móvil de actuador 1.0
Y3	Q2	Bobina de electroválvula	Mover carro móvil de actuador 2.0
Y4	Q3	Bobina de electroválvula	Retraer carro móvil de actuador 2.0
Y5	Q4	Bobina de electroválvula	Mover carro móvil de actuador 3.0
Y6	Q5	Bobina de electroválvula	Retraer carro móvil de actuador 3.0
Y7	Q6	Bobina de electroválvula	Mover carro móvil de actuador 4.0
Y8	Q7	Bobina de electroválvula	Retraer carro móvil de actuador 4.0
Y9	Q8	Bobina de electroválvula	Extender vástago de cilindro 5.0
Y10	Q9	Bobina de electroválvula	Retraer vástago de cilindro 5.0
Y11	Q10	Bobina de electroválvula	Extender vástago de cilindro 6.0
Y12	Q11	Bobina de electroválvula	Retraer vástago de cilindro 6.0
Y13	Q12	Bobina de electroválvula	Extender vástago de cilindro 7.0

**TABLA N°4.5:** Denominación de elementos del sistema de control (continuación)

(Fuente: L. Alvarez, 2008)

SÍMBOLO	DIRECCIÓN	ELEMENTO	FUNCIÓN
Y14	Q13	Bobina de electroválvula	Retraer vástago de cilindro 7.0
Y15	Q14	Bobina de electroválvula	Extender vástago de cilindro 8.0
Y16	Q15	Bobina de electroválvula	Retraer vástago de cilindro 8.0
Y17	Q16	Bobina de electroválvula	Extender vástago de cilindro 9.0
Y18	Q17	Bobina de electroválvula	Retraer vástago de cilindro 9.0
Y19	Q18	Bobina de electroválvula	Extender vástago de cilindro 10.0
Y20	Q19	Bobina de electroválvula	Retraer vástago de cilindro 10.0
Y21	Q20	Bobina de electroválvula	Extender vástago de cilindro 11.0
Y22	Q21	Bobina de electroválvula	Retraer vástago de cilindro 11.0
Y23	Q22	Bobina de electroválvula	Extender vástago de cilindro 12.0
Y24	Q23	Bobina de electroválvula	Retraer vástago de cilindro 12.0
B11	I5	Sensor de posición	Detectar inicio de carrera del actuador 1.0
B12	I6	Sensor de posición	Detectar mitad de carrera del actuador 1.0
B13	I7	Sensor de posición	Detectar final de carrera del actuador 1.0
B21	I8	Sensor de posición	Detectar inicio de carrera del actuador 2.0
B22	I9	Sensor de posición	Detectar final de carrera del actuador 2.0
B31	I10	Sensor de posición	Detectar inicio de carrera del actuador 3.0
B32	I11	Sensor de posición	Detectar final de carrera del actuador 3.0
B41	I12	Sensor de posición	Detectar inicio de carrera del actuador 4.0
B42	I13	Sensor de posición	Detectar mitad de carrera del actuador 4.0
B43	I14	Sensor de posición	Detectar final de carrera del actuador 4.0
B51	I15	Sensor de posición	Detectar inicio de carrera del cilindro 5.0
B52	I16	Sensor de posición	Detectar final de carrera del cilindro 5.0
B61	I17	Sensor de posición	Detectar inicio de carrera del cilindro 6.0
B62	I18	Sensor de posición	Detectar final de carrera del cilindro 6.0



TABLA N°4.5: Denominación de elementos del sistema de control (continuación)
(Fuente: L. Alvarez, 2008)

SÍMBOLO	DIRECCIÓN	ELEMENTO	FUNCIÓN
B71	I19	Sensor de posición	Detectar inicio de carrera del cilindro 7.0
B72	I20	Sensor de posición	Detectar final de carrera del cilindro 7.0
B81	I21	Sensor de posición	Detectar inicio de carrera del cilindro 8.0
B82	I22	Sensor de posición	Detectar final de carrera del cilindro 8.0
B91	I23	Sensor de posición	Detectar inicio de carrera del cilindro 9.0
B92	I24	Sensor de posición	Detectar final de carrera del cilindro 9.0
B101	I25	Sensor de posición	Detectar inicio de carrera del cilindro 10.0
B102	I26	Sensor de posición	Detectar final de carrera del cilindro 10.0
B111	I27	Sensor de posición	Detectar inicio de carrera del cilindro 11.0
B112	I28	Sensor de posición	Detectar final de carrera del cilindro 11.0
B121	I29	Sensor de posición	Detectar inicio de carrera del cilindro 12.0
B122	I30	Sensor de posición	Detectar final de carrera del cilindro 12.0
S1	I0	Pulsador de arranque	Introducir la señal de arranque al sistema
S2	I1	Pulsador de parada	Introducir señal de parada del sistema
S3	I2	Pulsador de arranque	Mover el sistema de empuje 1 hasta la posición intermedia y final de la carrera de los actuadores 1.0 y 4.0
S5	I4	Pulsador de arranque	Mover el sistema de empuje 2 hasta la posición final de la carrera de los actuadores 2.0 y 3.0
S6	I31	Pulsador de arranque	Elevar y bajar los actuadores 5.0, 6.0, 11.0 y 12.0
S7	I32	Pulsador de arranque	Mover y retraer los actuadores 1.0 y 4.0
S8	I33	Pulsador de arranque	Elevar y bajar los actuadores 7.0, 8.0, 9.0 y 10.0
S9	I34	Pulsador de arranque	Mover y retraer los actuadores 2.0 y 3.0
S10	I35	Selector	Seleccionar entre sistema de empuje 1 o 2
S11	I36	Selector	Seleccionar entre sistema en modo automático o sistema manual

TABLA N°4.5: Denominación de elementos del sistema de control (continuación)
(Fuente: L. Alvarez, 2008)

SÍMBOLO	DIRECCIÓN	ELEMENTO	FUNCIÓN
H1	Q36	Lámpara piloto	Mostrar que el sistema esta encendido
H2	Q37	Lámpara piloto	Mostrar que el sistema está apagado
H3	Q38	Lámpara piloto	Mostrar que el sistema está en modo manual
H4	Q39	Lámpara piloto	Mostrar que el sistema está en modo automático

En la figura 4.29 se muestra el esquema de los actuadores tanto lineales como cilindros guiados con sus respectivas electroválvulas, este diagrama se especifica con la nomenclatura mostrada en la tabla N°4.5.

Características del controlador lógico programable (PLC)

El sistema de alimentación continua de cestas se llevará a cabo por medio de un controlador lógico programable diseñado para aplicaciones de respuesta rápida. Es importante destacar que en el sistema de control diseñado no es necesario detección de pieza ya que cada acción es ejecutada por un pulsador que maneja el operario y además el proceso de cableado de conductor de aluminio trabaja con cantidades variables de cestas de alimentación. Los requerimientos de diseño del PLC incluyen 36 entradas a transistor con conexión a positivo y 27 salidas a transistor con conexión a positivo, tensión de funcionamiento de 24VDC; verificando los modelos de la marca FATEK en el catálogo ubicado en la sección de anexos (anexo 10), se puede constatar que el PLC que reúne las características requeridas es el modelo FBS-60MC (36 entradas y 24 salidas), y se le puede adaptar una expansión modelo FBS-14MAU. La figura N°4.30 muestra el diagrama de conexiones eléctricas del sistema diseñado, y la figura N°4.31 presenta la programación en escalera requerida por el dispositivo.



FIGURA N°4.29: Esquema de actuadores y válvulas del sistema diseñado (**Fuente:** L. Alvarez, 2008)



FIGURA N°4.30: Diagrama de conexiones eléctricas del sistema diseñado (**Fuente:** L. Alvarez, 2008)



FIGURA N°4.31: Diagrama de funcionamiento del sistema diseñado (Fuente: L. Alvarez, 2008)



FIGURA N°4.32: Programación en escalera del sistema diseñado (**Fuente:** L. Alvarez, 2008)



FIGURA N°4.32: Programación en escalera del sistema diseñado (Continuación) (**Fuente:** L. Alvarez, 2008)



FIGURA N°4.32: Programación en escalera del sistema diseñado (Continuación) (**Fuente:** L. Alvarez, 2008)

4.9. Estudio de factibilidad económica

Se llama proyecto rentable no sólo al que evita las pérdidas, sino al que además permite obtener una ganancia, un excedente por encima del conjunto de gastos de la empresa. La rentabilidad es el rendimiento o ganancia que produce un proyecto.

Para determinar el beneficio obtenido es necesario conocer el valor invertido y el tiempo durante el cual se ha hecho o mantenido la inversión. La rentabilidad hace referencia al beneficio, lucro, utilidad o ganancia que se ha obtenido de un recurso o dinero invertido, también se considera como la remuneración recibida por el dinero invertido. La ganancia de cualquier inversión debe ser suficiente de mantener el valor de la inversión y de incrementarla. Dependiendo del objetivo del inversionista, la rentabilidad generada por una inversión puede dejarse para mantener o incrementar la inversión, o puede ser retirada para invertirla en otro campo. (J. Torre, 2002)

La factibilidad económica del proyecto se determinó utilizando el modelo de valor actual, en el cual la rentabilidad se expresa en una cantidad de dinero en la actualidad, el valor presente neto es una única cantidad referida al tiempo cero y representa un premio si es positiva, o un fracaso si es negativa, para una tasa de interés elegida. Este modelo puede evaluarse mediante la expresión N° 4.19.

$$VA = \sum_{t=0}^n FT(1+i)^{-n} \quad (4.19)$$

Generalmente un estudio factible se basa en analizar las condiciones actuales de lo que se esté modificando y a la vez estudiar las condiciones futuras que vendrán dadas como consecuencia del proyecto que se realiza, para ello se aplicará el modelo de valor actual de forma independiente y se procederá a la comparación. Se fijará un



periodo de estudio de dos (2) años para la evaluación de rentabilidad de los proyectos, y se asumirá una tasa de rendimiento i de 15%.

La justificación del proyecto se centra en las paradas de la línea como consecuencia de las fallas en el suministro de alambre para el devanado en el proceso de cableado de la máquina Buncher 1600. La tabla N°4.6 muestra un listado de los costos de los equipos y elementos a utilizar.

TABLA N°4.6: Costo de equipos y materiales a utilizar en el sistema diseñado
(Fuente: L. Alvarez, 2008)

Cantidad	Descripción	Precio unitario (BsF)	Precio total (BsF)
6	Transportadores de Rodillos de 7m de longitud cada uno (incluye los rodillos transportadores, los perfiles en viga UPL 120, ángulos 50x5 y tornillos)	14.577,98	87.467,87
1	Barra de acero al carbono AISI 1020 de 0,005x0,0024x10m	257,24	257,24
4	Actuadores lineales sin vástago. Carrera 3000mm, Øémbolo=63mm	6.752,05	27.008,20
8	Actuadores guiados de vástago simple. Carrera 100mm, Øémbolo=40mm	2.745,60	21.964,80
12	Electroválvulas 5/3vías con centro cerrado	689,02	8.268,24
1	PLC de 36 entradas y 24 salidas a transistor	2600,00	2600,00
1	Módulo de expansión	1200,00	1200,00
3	Pulsadores con retención	20,00	60,00
8	Pulsadores sin retención	20,00	160,00
1	Pulsador de parada de emergencia	35,00	35,00
4	Lámparas piloto	27,00	108,00
IVA (9%)			13.421,69
TOTAL			149.129,95

El estudio comparativo de la situación actual y la situación futura con el proyecto implementado se hizo basado en el análisis de los costos de funcionamiento actual de la línea en comparación con los costos que se generan con la implementación del diseño planteado. Para verificar este análisis se toman en cuenta los factores económicos más importantes que reflejen las grandes variaciones del proyecto diseñado respecto a las condiciones actuales de la maquinaria.

En el caso de la máquina Buncher 1600 se tienen básicamente dos condiciones específicas a estudiar, a saber:

- Costos de Mantenimiento
- Tiempos de paradas como consecuencias de problemas en el suministro de alambre para el devanado

La información que se maneja para realizar este estudio y verificar los parámetros de evaluación se obtuvo de consultas con el personal de ALCAVE, tanto del departamento de producción como del área de manufactura, y de los análisis experimentales que se le realizaron al proceso (jornadas de observación en planta, consulta con los operadores, entre otros).

La tabla N°4.7 muestra en detalle los parámetros escogidos para el cálculo de la factibilidad económica del proyecto.

TABLA N°4.7: Parámetros de evaluación
(Fuente: L. Alvarez, 2008)

Parámetro de Evaluación de la máquina	Funcionamiento actual de la máquina	Funcionamiento rediseñado de la máquina
Costos de mantenimiento	92.435,00	15% de la inversión inicial
Tiempo de parada	9,37%	5%

Se estimará como un valor bastante conservador que el tiempo de parada de la maquinaria como consecuencia de fallas en el suministro de alambre para el devanado se reducirá de un 9,37% actual a un 5% con el rediseño planteado.

Estimación de costos de mantenimiento:

La máquina Buncher 1600 por el hecho de tener muchas partes y componentes se estudia como un todo, por lo que es imposible determinar específicamente el costo de mantenimiento referente al proceso de devanado del alambre, pero la empresa facilitó la información asociada a los gastos totales por concepto de mantenimiento ubicándose en unos aproximados $C_{man}=92.435BsF$.

Los costos de mantenimiento del sistema diseñado se estiman en un 15% del total de la inversión inicial, siendo este cálculo un factor conservador que se emplea en la evaluación de proyectos de inversión. De esta forma se incrementaría en $C_{man2}=22.369,49BsF$ el costo del mantenimiento de la línea.

Es importante recordar que los costos de mantenimiento se incrementan como consecuencia de que el rediseño de la máquina Buncher 1600 incluye añadir elementos para optimizar su funcionamiento, lo que necesariamente incrementa dichos gastos.

Estimación de costos de producción por concepto de parada de maquinaria:

Los datos proporcionados por el departamento de producción de ALCAVE incluyen la producción promedio estimada diaria de cable conductor de aluminio, la cual alcanza los 6,85km diarios. Debe recordarse que la empresa labora de lunes a sábado, durante tres turnos consecutivos, las 24 horas del día.

Este argumento permite determinar que la producción promedio mensual alcanza los 165,40km de alambre conductor de aluminio.

La máquina Buncher 1600 está en la capacidad de elaborar cables de distintos números de hilos, que van desde los 7 hasta los 37 alambres, es por ello que la estimación de los costos de producción al año son variables, pero se estimará para este cálculo el costo del cable conductor de aluminio de 19 hilos por ser el conductor intermedio. El departamento de ventas facilitó el costo por metro de este cable, ubicándose en unos 23,18BsF. Este es el precio de venta de ALCAVE, por lo que también fue suministrado un estimado de los valores agregados por cada etapa de producción en la planta (Tabla N°4.8)

TABLA N°4.8: Valor agregado del costo del conductor por etapa de producción de la empresa
(Fuente: L. Alvarez, 2008)

Etapas del proceso de producción	Valor agregado
Materia Prima	45%
Fundición	32%
Trefilación	7%
Cableado	5%
Aislado	11%

Se procede a continuación a calcular los ingresos actuales que se tienen en la Buncher 1600 tomando en cuenta que el costo se tiene por metro de conductor y que el valor agregado por concepto de cableado es del 5%.

$$I_{act} = 165,40 \text{ km/mes} * 1000\text{m} * 23,18 \text{ BsF/m} * 0,05 * 12 \text{ meses/año}$$

$$I_{act} = 2.286.475,20 \text{ BsF/año}$$

Luego se calculan los ingresos por aumento de producción que se obtendrán con la implementación del diseño.

$$I_{\text{aumento producción}} = 8,27 \text{ km/mes} * 1000 \text{ m} * 23,18 \text{ BsF/m} * 0,05 * 12 \text{ meses/año}$$

$$I_{\text{aumento producción}} = 115.019,16 \text{ BsF/año}$$

Los parámetros calculados permiten establecer el método comparativo del valor actual, utilizando la ecuación 4.19.

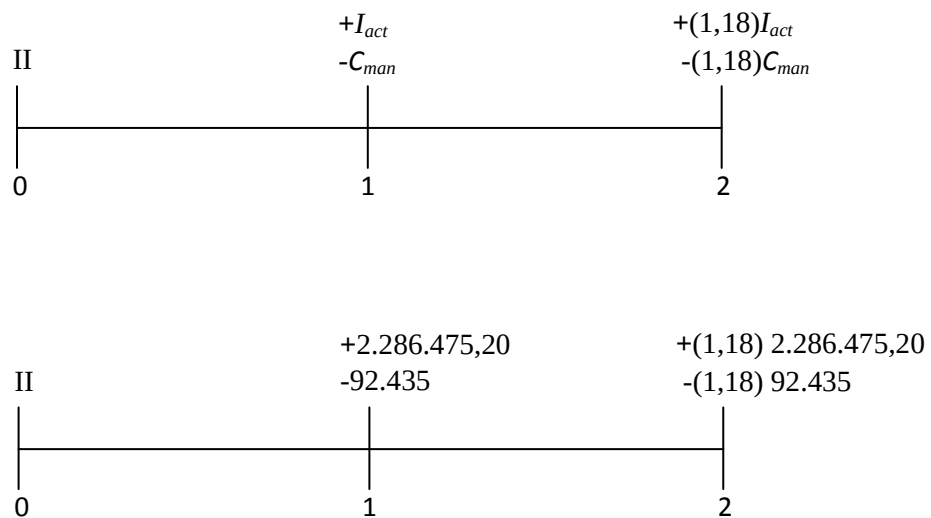


FIGURA N°4.33: Flujos monetarios para una escala de tiempo de 2años (condiciones actuales) (**Fuente:** L. Alvarez, 2008)

$$VA_1 = 0 + (2.286.475,20 - 92.435)(1 + 0,15)^{-1} + (1,18)(2.286.475,20 - 92.435)(1 + 0,15)^{-2}$$

$$VA_1 = 3.865.492,3$$

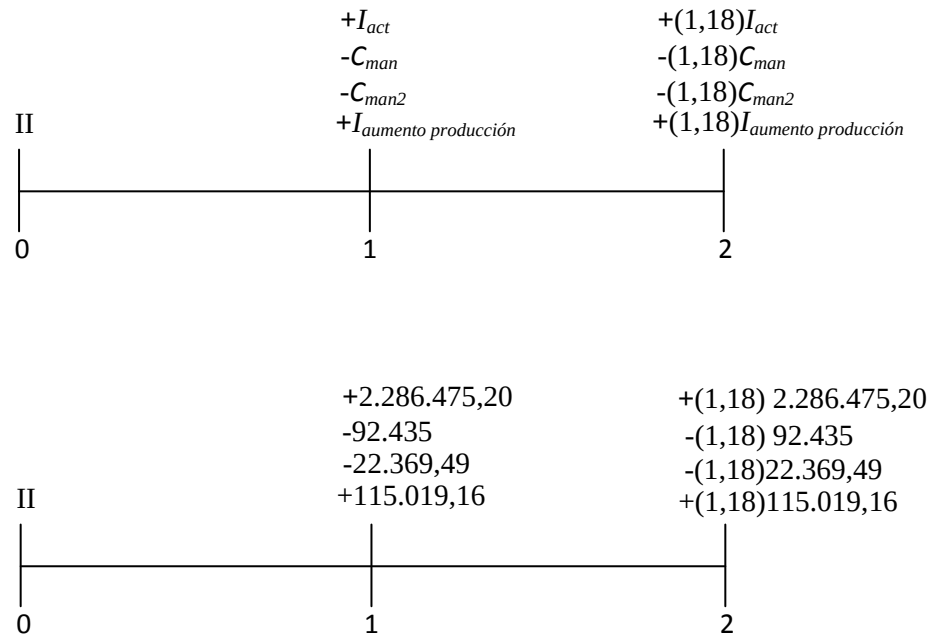


FIGURA N°4.34: Flujos monetarios para una escala de tiempo de 2 años (condiciones con el rediseño) (**Fuente:** L. Alvarez, 2008)

$$VA_2 = 149.129,95 + (2.286.475,20 - 92.435 - 22.369,49 + 115.019,16)(1 + 0,15)^{-1} + (1,18)(2.286.475,20 - 92.435 - 22.369,49 + 115.019,16)(1 + 0,15)^{-2}$$

$$VA_2 = 4.177.853,8$$

Se ha estimado el incremento de los costos en un 18% para el año 2. La evaluación del modelo de valor actual arroja que $VA_2 > VA_1$, por lo que el proyecto es factible económicamente.

CONCLUSIONES

El sistema diseñado permite la disminución de los tiempos muertos que se generan en la máquina cableadora Buncher 1600, como consecuencia de fallas en el suministro de alambre para el devanado, de un 9,37% a menos de un 5% del tiempo total de operatividad de la maquinaria, disminuyendo de esta forma las pérdidas económicas que se generaban para la empresa.

El sistema diseñado para el devanado de las cestas contenedoras de alambre permite comenzar un nuevo proceso de cableado de forma continua una vez que las cestas estén vacías.

La implementación del mecanismo diseñado eliminaría los *cuellos de botella* del área de cableado, dando continuidad al proceso de producción de ALCAVE C.A.

El rediseño planteado para el devanado del alambre en la máquina Buncher 1600 elimina por completo la utilización del montacargas para el transporte y ubicación de las cestas de almacenamiento, contribuyendo a disminuir aún más los tiempos muertos presentes en la actualidad.

El sistema automatizado basado en PLC facilita el control y monitoreo permanente de cada uno de los elementos involucrados en el funcionamiento del dispositivo diseñado (actuadores y electroválvulas), permitiendo el cumplimiento a cabalidad de las instrucciones del operario.

El proyecto diseñado es rentable ya que los costos de inversión pueden recuperarse en un período menor a dos años, esto como consecuencia de que el implemento del nuevo sistema representa para la empresa un incremento en la producción de unos 115.019,16 BsF/año.

RECOMENDACIONES

Implementar el sistema diseñado en la sección de la máquina Buncher 1600 que se dispone para almacenar cestas de alimentación, con la finalidad de permitir la fabricación de cables conductores de mayor cantidad de hilos, es decir, lograr que la máquina pueda trabajar no sólo con un máximo de 12 cestas contenedoras de alambre sino con un total de hasta de 18 cestas.

Automatizar otras secciones de la máquina Buncher 1600 tales como: *el sistema tensor* de los alambres (que permita variar por medio de un controlador la tensión con que son estirados los alambres); *el portahileras* (que pueda verificarse el de forma automática el ángulo de inclinación con que ingresan los hilos) y *el plato de distribución* (que se pueda controlar automáticamente la velocidad de giro del mismo).

Elaborar un instructivo de operación actualizado de la máquina que incluya las condiciones de funcionamiento del sistema diseñado, así como los posibles riesgos físicos y ambientales que se producen con su utilización.

Capacitar al personal operativo de la máquina Buncher 1600 respecto al rediseño a implementarse, en pro de cumplir con la normativa de seguridad de ALCAVE y manteniendo vigente lo estipulado por la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT).

Diseñar un plan de mantenimiento actualizado de la maquinaria, que involucre el sistema diseñado y que se base en los fundamentos de confiabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

TEXTOS

- ⊗ SERWAY, RAYMOND A., *Física para ciencias e ingeniería*. Tomo I, 5ª edición, Editorial Mc Graw Hill, 2002.
- ⊗ SHIGLEY, JOSEPH E., *Diseño en ingeniería mecánica*. 5ª edición, Editorial Mc Graw Hill, 1990.
- ⊗ SMITH, WILLIAM F., *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. 3ª edición, Editorial Mc Graw Hill, 1998.
- ⊗ MOTT, ROBERT L., *Diseño de elementos de máquinas*. 4ª edición, Editorial Pearson, 2006.
- ⊗ NORTON, ROBERT. *Diseño de máquinas*. 1ª edición, Editorial Prentice Hall, 1999.
- ⊗ SPOTTS, M.F. *Elementos de maquinas*. 7ª Edición, Editorial Prentice Hall, 1999.
- ⊗ TORRE PÉREZ, JOAQUÍN. *Evaluación de Proyectos de inversión*. 2002. Publicaciones USB.
- ⊗ PEREIRA, JOSÉ. *Formulación y evaluación de proyectos de inversión*. 1996. Publicaciones USB.
- ⊗ FUENTES I. Y MORA J. *Diseño de un sistema automatizado de posicionamiento de botellas en una línea de decorado de envases de vidrio*. 2007.

- ⊗ RIVERO T. Y VELÁSQUEZ J. *Rediseño del sistema de transporte de latas para la línea de llenado y etiquetado en una empresa alimenticia*. 2006.
- ⊗ BONILLA-MERCADO, J. C. *Rediseño del sistema de sujeción del cilindro de alimentación de una máquina de devanado para la planta CRISOL TEXTIL S.A.* 2003.
- ⊗ COBEÑA, LUNA. *Diseño y programación de la lógica de control para PLC*. 2001. Publicaciones USB.

PÁGINAS WEB CONSULTADAS

- ⊗ www.festo.com
- ⊗ www.phelpsdodgespanish.com/
- ⊗ http://www.interroll.com/en/drives_and_rollers/b2b/
- ⊗ http://www.rolconrollers.com/tapered_roller_rebuild_program.html
- ⊗ [http://es.wikipedia.org/wiki/Flexi%C3%B3n_\(ingenier%C3%ADa\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Flexi%C3%B3n_(ingenier%C3%ADa))
- ⊗ <http://64.233.169.104/search?q=cache:3yOJ450wKzGJ:webdia.cem.itesm.mx/ac/gsandova/elctroneu.ppt+electroneumatica&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=ve>
- ⊗ http://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller
- ⊗ http://www.emc.uji.es/d/mecapedia/criterio_de_von_Mises.htm
- ⊗ <http://publiespe.espe.edu.ec/academicas/hormigon/hormigon04-a.htm>

- ⊗ http://books.google.com/books?id=nrYd_BjTL0UC&pg=PA95&lpg=PA95&dq=dise%C3%B1o+de+maquinas+ejes+calculo&source=web&ots=1zHn7cqcd5F&sig=JcMmKBM0Eu6TFK1GQGRUICNX4Q0#PPA81,M1
- ⊗ http://www.suviplac.com/tablas/vigas_archivos/UPL.html
- ⊗ <http://www.neumaticarotonda.com/>
- ⊗ http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/Tesis/Empre/bedoya_se/cap3.pdf
- ⊗ <http://www.monografias.com/trabajos15/invest-cientifica/invest-cientifica.shtml>
- ⊗ http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/bonilla-mercado_jc/resumen.html
- ⊗ http://www.elecon.com.ve/pages/Aluminio/ele_prod_condAlu.htm
- ⊗ <http://www.mjv.es/charnela-recta.htm>
- ⊗ http://www.elprado.co.cr/sob_rod.html
- ⊗ <http://www.skf.com/portal/skf/home/aptitudexchange?contentId=0.339127.339128.339130.339154.343162>
- ⊗ <http://www.elettrorava.es/espanol/docum/MOI-CG/secc-3.htm>
- ⊗ http://medias.ina.de/medias/es!hp.ec.br/NATV*NATV8?mode=calc
- ⊗ <http://www.rollersconveyors.com/index.htm>
- ⊗ <http://www.ashlandconveyor.com/info82/information.html>
- ⊗ http://www.nikaisl.com/index.php?option=com_content&task=view&id=53&Itemid=46&lang=es
- ⊗ <http://www.monografias.com/trabajos10/ejes/ejes.shtml>

- ⊙ http://es.wikipedia.org/wiki/Transportador_de_rodillos
- ⊙ http://pdf.directindustry.es/pdf/interroll/interroll-rodillos-transportadores/Show/4780-26253-_7.html
- ⊙ <http://www.sidetur.com.ve/Archivos/MANUALupl1.PDF>
- ⊙ <http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20061113093456AA76aS6>
- ⊙ http://www.suviplac.com/tablas/vigas_archivos/UPL.html
- ⊙ <http://www.materialeslosandes.com/vigasipn.html>
- ⊙ <http://www.rotranssa.com/>
- ⊙ <http://www.globalspec.com/featuredProducts/detail?emailId=200803063&ExhibitId=65140&frmtrk=alert>
- ⊙ <http://www.lincolnelectric.com.ve/productos/electrodos/eacero.htm>

APÉNDICES

[TABLAS]

- Tiempo muerto
- Propiedades de los aceros
- Perfiles UPL
- Factor de fricción

TABLA A-1: Datos de tiempo muerto en la máquina Buncher 1600 para los tres turnos de trabajo durante la semana del 01 al 06 de octubre de 2007 (ordenados por fecha)

Fuente: Departamento de Producción ALCAVE

MAQUINA	TURNO	FECHA	CATEGORIA	ACTIVIDAD	TIEMPO (MIN.)
1600	1	10/2/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	40
1600	1	10/2/07	CAMBIO	CAMBIO DE BOBINAS	5
1600	1	10/2/07	PROCESOS	BOBINA FALLA	10
1600	1	10/2/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	5
1600	1	10/2/07	SUPERVISION	COMEDOR	30
1600	1	10/2/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	45
1600	1	10/2/07	SUPERVISION	INVENTARIO	210
1600	2	10/2/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	30
1600	2	10/2/07	SUPERVISION	CAMBIO DE OPERADOR A OTRA MAQUINA	300
1600	2	10/2/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	120
1600	2	10/2/07	SUPERVISION	FALTA DE CARRETES	60
1600	3	10/2/07	SUPERVISION	CAMBIO DE OPERADOR A OTRA MAQUINA	450
1600	1	10/3/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	1	10/3/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	58
1600	1	10/3/07	CAMBIO	CAMBIO DE BOBINAS	5
1600	1	10/3/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	105
1600	1	10/3/07	PROCESOS	ROTURAS POR ESCAMAS	40
1600	1	10/3/07	PROCESOS	ROTURAS POR ESTIRAMIENTO	15
1600	1	10/3/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	5
1600	1	10/3/07	SUPERVISION	COMEDOR	30
1600	2	10/3/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	50
1600	2	10/3/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	2	10/3/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	50
1600	2	10/3/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	60
1600	2	10/3/07	PROCESOS	ROTURA DE HILO NUCLEO	30
1600	2	10/3/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	170
1600	3	10/3/07	SUPERVISION	FALTA DE PERSONAL	450
1600	1	10/4/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	480
1600	2	10/4/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	40
1600	2	10/4/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	2	10/4/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	2	10/4/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	35
1600	2	10/4/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	20
1600	2	10/4/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	30
1600	2	10/4/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	90
1600	1	10/5/07	CALIDAD	CONDUCTOR DEFORMADO	20
1600	1	10/5/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	38

TABLA A-1 (Continuación)

1600	1	10/5/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	20
1600	1	10/5/07	MANTENIMIENTO	FALLA MECANICA	80
1600	1	10/5/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	20
1600	1	10/5/07	SUPERVISION	COMEDOR	30
1600	2	10/5/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	20
1600	2	10/5/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	2	10/5/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	2	10/5/07	PROCESOS	BOBINA FALLA	15
1600	2	10/5/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	15
1600	2	10/5/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	20
1600	2	10/5/07	PROCESOS	ROTURA DE HILO NUCLEO	20
1600	2	10/5/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	5
1600	2	10/5/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	50
1600	1	10/6/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	25
1600	1	10/6/07	CAMBIO	CAMBIO DE BOBINAS	30
1600	1	10/6/07	PROCESOS	ROTURAS POR ESCAMAS	10
1600	1	10/6/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	25
1600	1	10/6/07	SUPERVISION	COMEDOR	30

TABLA A-2: Datos de tiempo muerto en la máquina Buncher 1600 para los tres turnos de trabajo durante la semana del 08 al 13 de octubre de 2007 (ordenados por fecha)

Fuente: Departamento de Producción ALCAVE

MAQUINA	TURNO	FECHA	CATEGORIA	ACTIVIDAD	TIEMPO (MIN.)
1600	1	10/08/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	1	10/08/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	60
1600	1	10/08/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	5
1600	1	10/08/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	300
1600	2	10/08/07	CALIDAD	APROBACION DE PUESTA A PUNTO	10
1600	2	10/08/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	20
1600	2	10/08/07	CAMBIO	CAMBIO DE BOBINAS	30
1600	2	10/08/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	30
1600	3	10/08/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	3	10/08/07	CAMBIO	CAMBIO DE BOBINAS	10
1600	3	10/08/07	PROCESOS	CESTA ENREDADAS	5
1600	3	10/08/07	PROCESOS	ROTURA DE CONDUCTOR COMPLETO	60
1600	3	10/08/07	PROCESOS	ROTURAS POR ESCAMAS	35
1600	3	10/08/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	30
1600	3	10/08/07	SUPERVISION	COMEDOR	30
1600	1	10/09/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	30
1600	1	10/09/07	PROCESOS	BOBINA FALLA	15
1600	1	10/09/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	10
1600	2	10/09/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	2	10/09/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	90
1600	2	10/09/07	SUPERVISION	COMEDOR	30
1600	2	10/09/07	SUPERVISION	FALTA DE MONTACARGAS	140
1600	3	10/09/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	450
1600	1	10/10/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	30
1600	1	10/10/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	20
1600	1	10/10/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	20
1600	1	10/10/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	35
1600	1	10/10/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	270
1600	1	10/10/07	SUPERVISION	FALTA DE MONTACARGAS	10
1600	2	10/10/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	2	10/10/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	60
1600	2	10/10/07	PROCESOS	ROTURA DE CONDUCTOR COMPLETO	60
1600	2	10/10/07	SUPERVISION	COMEDOR	30
1600	2	10/10/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	80
1600	3	10/10/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	3	10/10/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	30
1600	3	10/10/07	PROCESOS	CESTA ENREDADAS	10

TABLA A-2 (Continuación)

1600	3	10/10/07	PROCESOS	ROTURAS POR ESCAMAS	10
1600	3	10/10/07	SUPERVISION	COMEDOR	30
1600	1	10/11/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	25
1600	1	10/11/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	25
1600	1	10/11/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	65
1600	1	10/11/07	CAMBIO	CAMBIO DE BOBINAS	15
1600	1	10/11/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	55
1600	1	10/11/07	PROCESOS	ROTURAS POR ESCAMAS	60
1600	1	10/11/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	10
1600	1	10/11/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	110
1600	1	10/11/07	SUPERVISION	FALTA DE MONTACARGAS	15
1600	2	10/11/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	510
1600	3	10/11/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	50
1600	3	10/11/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	3	10/11/07	PROCESOS	ROTURAS POR ESCAMAS	25
1600	3	10/11/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	20
1600	1	10/12/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	20
1600	1	10/12/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	1	10/12/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	40
1600	1	10/12/07	PROCESOS	ROTURA POR BOBINA ENREDADA	10
1600	1	10/12/07	PROCESOS	ROTURAS POR INCLUSIONES	10
1600	1	10/12/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	30

TABLA A-3: Datos de tiempo muerto en la máquina Buncher 1600 para los tres turnos de trabajo durante la semana del 15 al 20 de octubre de 2007 (ordenados por fecha)

Fuente: Departamento de Producción ALCAVE

MAQUINA	TURNO	FECHA	CATEGORIA	ACTIVIDAD	TIEMPO (MIN.)
1600	1	10/15/07	SUPERVISION	FALTA DE PERSONAL	480
1600	2	10/15/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	10
1600	2	10/15/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	2	10/15/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	30
1600	2	10/15/07	OTROS	REUNIONES	60
1600	2	10/15/07	PROCESOS	ROTURA DE HILO NUCLEO	10
1600	2	10/15/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	20
1600	3	10/15/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	20
1600	3	10/15/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	20
1600	3	10/15/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	60
1600	3	10/15/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	20
1600	3	10/15/07	PROCESOS	ROTURA DE CONDUCTOR COMPLETO	65
1600	3	10/15/07	PROCESOS	ROTURA DE HILO NUCLEO	60
1600	3	10/15/07	PROCESOS	ROTURA POR BOBINA ENREDADA	10
1600	1	10/16/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	50
1600	1	10/16/07	PROCESOS	ROTURA DE CONDUCTOR COMPLETO	80
1600	1	10/16/07	SUPERVISION	COMEDOR	30
1600	1	10/16/07	SUPERVISION	FALTA DE PERSONAL	60
1600	2	10/16/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	30
1600	2	10/16/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	2	10/16/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	53
1600	2	10/16/07	PROCESOS	ROTURA DE CONDUCTOR COMPLETO	20
1600	3	10/16/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	20
1600	3	10/16/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	15
1600	3	10/16/07	MANTENIMIENTO	FALLA MECANICA	20
1600	3	10/16/07	MANTENIMIENTO	FALLA MECANICA	280
1600	3	10/16/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	15
1600	3	10/16/07	PROCESOS	ROTURAS POR ESCAMAS	15
1600	3	10/16/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	20
1600	1	10/17/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	145
1600	1	10/17/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	275
1600	2	10/17/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	30
1600	2	10/17/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	30
1600	2	10/17/07	CAMBIO	CAMBIO DE BOBINAS	2
1600	2	10/17/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	80
1600	2	10/17/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	22
1600	2	10/17/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	30

TABLA A-3 (Continuación)					
1600	3	10/17/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	55
1600	3	10/17/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	20
1600	3	10/17/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	65
1600	3	10/17/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	30
1600	3	10/17/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	15
1600	3	10/17/07	SUPERVISION	FALTA DE CARRETES	10
1600	1	10/18/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	1	10/18/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	90
1600	1	10/18/07	SUPERVISION	COMEDOR	30
1600	1	10/18/07	SUPERVISION	FALTA DE CARRETES	30
1600	2	10/18/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	2	10/18/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	105
1600	2	10/18/07	PROCESOS	ROTURAS POR ESCAMAS	10
1600	2	10/18/07	SUPERVISION	COMEDOR	30
1600	2	10/18/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	27
1600	2	10/18/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	30
1600	2	10/18/07	SUPERVISION	FALTA DE CARRETES	25
1600	2	10/18/07	SUPERVISION	FALTA DE CARRETES	30
1600	3	10/18/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	30
1600	3	10/18/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	20
1600	3	10/18/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	50
1600	3	10/18/07	PROCESOS	ROTURAS POR ESTIRAMIENTO	15
1600	3	10/18/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	30
1600	3	10/18/07	SUPERVISION	FALTA DE CARRETES	110
1600	1	10/19/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	40
1600	1	10/19/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	45
1600	1	10/19/07	SUPERVISION	FALTA DE CARRETES	325
1600	2	10/19/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	30
1600	2	10/19/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	2	10/19/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	48
1600	2	10/19/07	PROCESOS	ROTURAS POR ESCAMAS	8
1600	2	10/19/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	10
1600	2	10/19/07	SUPERVISION	COMEDOR	30
1600	2	10/19/07	SUPERVISION	FALTA DE CARRETES	107
1600	3	10/19/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	3	10/19/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	50
1600	3	10/19/07	CAMBIO	CAMBIO DE BOBINAS	20
1600	3	10/19/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	20
1600	3	10/19/07	SUPERVISION	COMEDOR	30
1600	3	10/19/07	SUPERVISION	FALTA DE CARRETES	210
1600	1	10/20/07	SUPERVISION	FALTA DE CARRETES	420

TABLA A-4: Datos de tiempo muerto en la máquina Buncher 1600 para los tres turnos de trabajo durante la semana del 15 al 20 de octubre de 2007 (ordenados por fecha)

Fuente: Departamento de Producción ALCAVE

MAQUINA	TURNO	FECHA	CATEGORIA	ACTIVIDAD	TIEMPO (MIN.)
1600	2	10/22/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	25
1600	2	10/22/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	2	10/22/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	3	10/22/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	2	10/22/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	25
1600	2	10/22/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	50
1600	3	10/22/07	PROCESOS	AJUSTE DE PASO Y PESO	7
1600	2	10/22/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	30
1600	3	10/22/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	100
1600	2	10/22/07	PROCESOS	ROTURA DE CONDUCTOR COMPLETO	45
1600	1	10/22/07	PROCESOS	ROTURA DE CONDUCTOR COMPLETO	45
1600	2	10/22/07	PROCESOS	ROTURA DE HILO EN EL NUCLEO	20
1600	3	10/22/07	PROCESOS	ROTURAS POR ESCAMAS	47
1600	1	10/22/07	SUPERVISION	FALTA DE CARRETES	435
1600	2	10/22/07	SUPERVISION	FALTA DE MONTACARGAS	20
1600	1	10/23/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	20
1600	2	10/23/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	30
1600	2	10/23/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	45
1600	3	10/23/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	50
1600	1	10/23/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	2	10/23/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	2	10/23/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	15
1600	3	10/23/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	20
1600	2	10/23/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	25
1600	2	10/23/07	PROCESOS	ROTURA POR BOBINA ENREDADA	10
1600	1	10/23/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	20
1600	2	10/23/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	30
1600	2	10/23/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	25
1600	3	10/23/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	170
1600	1	10/24/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	25
1600	3	10/24/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	27
1600	2	10/24/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	40
1600	3	10/24/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	1	10/24/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	20
1600	2	10/24/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	40
1600	2	10/24/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	50
1600	1	10/24/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	25

TABLA A-4 (Continuación)

1600	3	10/24/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	27
1600	2	10/24/07	SUPERVISION	FALTA DE CARRETES	20
1600	2	10/25/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	30
1600	1	10/25/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	1	10/25/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	18
1600	2	10/25/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	20
1600	2	10/25/07	CAMBIO	CAMBIO DE NUCLEO	70
1600	2	10/25/07	CAMBIO	CAMBIO DE BOBINAS	10
1600	2	10/25/07	PROCESOS	BOBINA FALLA	10
1600	2	10/25/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	30
1600	3	10/25/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	85
1600	1	10/25/07	PROCESOS	CAMBIO DE PROCESO	100
1600	1	10/25/07	PROCESOS	ROTURA DE CONDUCTOR COMPLETO	10
1600	1	10/25/07	PROCESOS	ROTURA DE CONDUCTOR COMPLETO	15
1600	2	10/25/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	10
1600	1	10/25/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	31
1600	2	10/25/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	40
1600	3	10/25/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	70
1600	2	10/25/07	SUPERVISION	FALTA DE CARRETES	30
1600	1	10/26/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	20
1600	3	10/26/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	20
1600	2	10/26/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARGA	35
1600	1	10/26/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	3	10/26/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	10
1600	2	10/26/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	20
1600	1	10/26/07	PROCESOS	ROTURAS POR ESCAMAS	20
1600	3	10/26/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	15
1600	1	10/26/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	20
1600	2	10/26/07	PROCESOS	SOLDADURA DEL ALAMBRE	35
1600	3	10/26/07	SUPERVISION	COMEDOR	30
1600	1	10/26/07	SUPERVISION	COMEDOR	30
1600	3	10/26/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	30
1600	2	10/26/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	115
1600	3	10/26/07	SUPERVISION	FALTA DE MONTACARGAS	75
1600	1	10/27/07	CAMBIO	CAMBIO DE CARRETE	8
1600	1	10/27/07	PROCESOS	ROTURAS POR ESCAMAS	10
1600	1	10/27/07	SUPERVISION	FALTA DE ALIMENTACION	73

TABLA A-5: Propiedades mecánicas típicas de los aceros al carbono
Fuente: *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales.* William F. Smith

Número AISI-SAE de aleación	Composición química % en peso		Tratamiento	Resistencia a la tracción		Resistencia a la fluencia		Elongación (%)	Aplicaciones típicas
	C	Mn		ksi	MPa	ksi	MPa		
1010	0,10	0,40	Laminado en caliente	40-60	276-414	26-45	179-310	28-47	Planchas y flejes para trefilado, cables, clavos, tornillos, bielas, barras para reforzamiento de hormigón.
			Laminado en frío	42-58	200-400	23-38	159-262	30-45	
1020	0,20	0,45	Recién laminado	65	448	48	331	36	Chapas de acero y secciones estructurales, ejes, engranajes.
			Recocido	57	393	43	297	36	
1040	0,40	0,45	Recién laminado	90	621	60	414	25	Ejes, clavos, tuberías de alta resistencia a la tracción, engranajes.
			Recocido	75	517	51	352	30	
			Revenido*	116	800	86	593	20	
1060	0,60	0,65	Recién laminado	118	814	70	483	17	Alambres para resortes, troqueles de forja, ruedas de ferrocarril.
			Recocido	91	628	54	483	22	
			Revenido*	160	110	113	780	13	
1080	0,80	0,80	Recién laminado	140	967	85	586	12	Alambres para música, resortes helicoidales, troqueles de forja, cinceles.
			Recocido	89	614	54	373	25	
			Revenido*	189	1.304	142	980	12	
1095	0,95	0,40	Recién laminado	140	966	83	573	9	Troqueles, cuchillas, cizallas, hojas de tijeras, cables de alta resistencia a la tracción.
			Recocido	95	655	55	379	13	
			Revenido*	183	1.263	118	814	10	

* Templado y revenido a 315 °C (600 °F).

TABLA A-6: Manual de estructuras de acero, Perfiles UPL

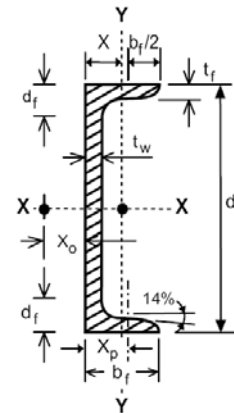
Fuente: <http://www.sidetur.com.ve>



PERFILES
CANAL
LIVIANO

UPL

COVENIN1037



PROPIEDADES

Perfil	Peso			A	r _y	r _x	I _x	S _x	Z _x	C ₁	C ₂
UPL	kgf m	$\frac{b_f}{2t_f}$	$\frac{h}{t_w}$	cm ²	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm ³	kgf cm ²	cm ⁴ kgf ²
80	6.08	5.00	12.0	7.75	1.00	3.10	74.4	18.6	22.4	431930	0.23322x10 ⁻⁷
100	8.20	5.00	14.0	10.45	1.15	3.92	155	30.9	37.8	396740	0.35149x10 ⁻⁷
120	9.58	5.63	17.6	12.2	1.27	4.67	266	44.3	52.8	319350	0.82262x10 ⁻⁷
140*	11.3	6.00	20.8	14.5	1.41	5.48	435	62.1	73.5	282180	1.35503x10 ⁻⁷

Perfil	I _y	S _y	Z _y	J	C _w	r _o	β
UPL	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ⁶	cm	
80	7.80	3.18	7.24	0.995	84.9	3.44	0.898
100	13.5	4.80	11.0	1.71	237	4.27	0.916
120	19.8	6.10	14.3	1.96	520	5.04	0.921
140*	29.0	7.90	18.9	2.53	1060	5.89	0.924

DIMENSIONES

Perfil UPL	Dimensiones					Distancias		
	d	b _f	t _f	t _w	d _f	X _o	X	X _p
	mm					cm		
80	80	35	7.0	4.5	13	1.10	1.05	0.689
100	100	40	8.0	5.0	15	1.24	1.20	0.688
120	120	45	8.0	5.0	16	1.42	1.25	0.625
140*	140	50	8.5	5.0	18	1.62	1.36	0.691

* Para la fecha de publicación de este Manual no estaba todavía disponible.

Notas:

X_o = Distancia al centro de corte medido desde la cara externa del alma.

X, X_p = Distancia al baricentro elástico y plástico, respectivamente, medido desde la cara externa del alma

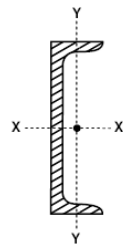
TABLA A-6: Manual de estructuras de acero, Perfiles UPL (Continuación)

RESISTENCIA
DE DISEÑO A
COMPRESIÓN
NORMAL

UPL

$$F_y = 2500 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\phi_c = 0.85$$



PERFIL	UPL 80		UPL 100		UPL 120		UPL 140*	
Peso	6.08		8.20		9.58		11.3	
Sección	Plástica							
ϕ_{as}	1.00							
Pandeo	$\phi_c N_{ty}$	$\phi_c N_{tx}$	$\phi_c N_{ty}$	$\phi_c N_{tx}$	$\phi_c N_{ty}$	$\phi_c N_{tx}$	$\phi_c N_{ty}$	$\phi_c N_{tx}$
$kL^{(1)}$ m	kgf		kgf		kgf		kgf	
0.00	16470	16470	22310	22310	25925	25925	30810	30810
1.00	9940	14790	15230	19970	18960	22900	23900	27180
1.25	7480	14530	12290	19690	15900	22390	20720	26400
1.50	5320	14170	9450	19450	12820	22000	17400	25800
2.00	2990	13070	5360	18810	7600	21470	11135	24980
2.25		12390	4240	18320	6000	21210	8800	24675
2.50		11660		17715	4860	20910	7130	24410
2.75		10895		17025		20530	5890	24150
3.00		10110		16280		20060		23870
3.25		9320		15485		19500		23570
3.50		8530		14670		18850		23200
3.75		7760		13830		18140		22760
4.00		7000		12980		17400		22230
4.25		6280		12140		16620		21630
4.50		5610		11300		15820		20960
4.75		5040		10480		15020		20250
5.00		4560		9670		14210		19500
5.50		3770		8130		12600		17930
5.75		3455		7450		11810		17130
6.00		3175		6850		11040		16330
PROPIEDADES ⁽²⁾								
A	cm ²	7.75	10.45		12.2		14.5	
r _x	cm	3.10	3.92		4.67		5.48	
r _y	cm	1.00	1.15		1.27		1.41	
kL	m	1.37	1.57		1.74		1.93	
$\phi_c N_t$	kgf	6420	8700		10110		12000	

* Para la fecha de publicación de este Manual no estaba todavía disponible.

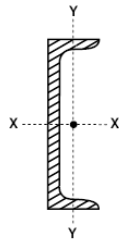
Notas.-

1. Los valores tabulados corresponden a la longitud efectiva kL según los respectivos ejes, pandeo flexional con respecto al eje Y, y el pandeo flexional alrededor del eje de simetría, X.
No se imprimen valores para $kL/r_y > 200$ y $kL/r_x > 200$.

2. Los valores de kL y $\phi_c N_t$, se refieren al pandeo flexional y corresponde a $\lambda_c \sqrt{\phi_{as}} = 1.5$

TABLA A-6: Manual de estructuras de acero, Perfiles UPL (Continuación)

RESISTENCIA
DE DISEÑO
A FLEXIÓN



UPL
 $F_y = 2500 \text{ kgf/cm}^2$
 $\phi_b = 0.90$
 $C_b = 1.0$

PERFIL	UPL 80	UPL 100	UPL 120	UPL 140*
Peso	6.08	8.20	9.58	11.4
L_p m	0.50	0.58	0.64	0.71
$\phi_b M_{px}$ m kgf	504	851	1190	1650
L_r m	3.42	3.63	3.28	3.28
$\phi_b M_{rx}$ m kgf	301	501	718	1010
L_b m	$\phi_b M_{tx}$ m kgf			
1.00	470	802	1120	1580
1.25	452	774	1080	1520
1.50	435	745	1035	1455
2.00	400	688	946	1330
2.25	383	659	902	1265
2.50	366	631	857	1200
2.75	348	602	813	1140
3.00	331	573	768	1080
3.25	313	545	724	1010
3.50	295	516	671	937
3.75	275	485	624	870
4.00	257	454	584	812
4.25	242	426	548	762
4.50	228	402	517	717
4.75	216	381	489	678
5.00	205	361	464	642
5.50	187	328	420	582
5.75	178	314	402	556
6.00	171	301	385	532
L_{360} m	0.83	1.02	1.25	1.47
PROPIEDADES				
FF_x kgf	69	115	178	252
$\phi_v V_t$ kgf	4860	6750	8100	9450
$\phi R1$ kgf	3660	4690	5000	5630
$\phi R2$ kgf/cm	1125	1250	1250	1250
$\phi R3$ kgf	5490	6870	6870	7090
$\phi R4$ kgf/cm	1060	1020	849	685
$\phi R5$ kgf	4920	6190	6190	645
$\phi R6$ kgf/cm	1415	1360	1130	913
ϕR kgf	14910	17190	17500	13940
$\phi_b M_{py}$ m kgf	107	162	206	267

* Para la fecha de publicación de este Manual no estaba todavía disponible.
Nota: ϕR corresponde a $d_n = 10 \text{ cm}$.

TABLA A-6: Manual de estructuras de acero, Perfiles UPL (Continuación)



**PROTECCIÓN
CONTRA
INCENDIOS**

PERFIL UPL	Protección de la sección transversal				Protección en cajón		
	3 lados		4 lados		3 caras		4 caras
							
Factor de forma S_f , en m^{-1}							
80	330	272	193	387	252	193	297
100	295	238	171	343	228	171	267
120	299	237	172	344	234	172	270
140*	290	228	166	324	228	166	262

**PROTECCIÓN
CONTRA LA
CORROSIÓN**

PERFIL UPL	Superficie a proteger	
	Por longitud	Por peso
	m^2/m	$m^2/1000 \text{ kgf}$
80	0.265	43.56
100	0.320	38.82
120	0.378	39.47
140*	0.434	38.13

* Para la fecha de publicación de este Manual no estaba todavía disponible.

TABLA A-7: Coeficiente de fricción en rodillos

Fuente: Catálogo de rodillos de la empresa Rotrans S.A. (<http://www.rottranssa.com>)

Valores del coeficiente f de fricción en los rodillos de apoyo		
Tabla Ñ		
TIPO COJINETE	ESTADO	VALOR DE f
RODAMIENTOS	favorable	0,018
	normal	0,02
	desfavorable	0,023–0,030
FRICCION		0,05

NOTA: El catálogo completo se encuentra en el CD anexo

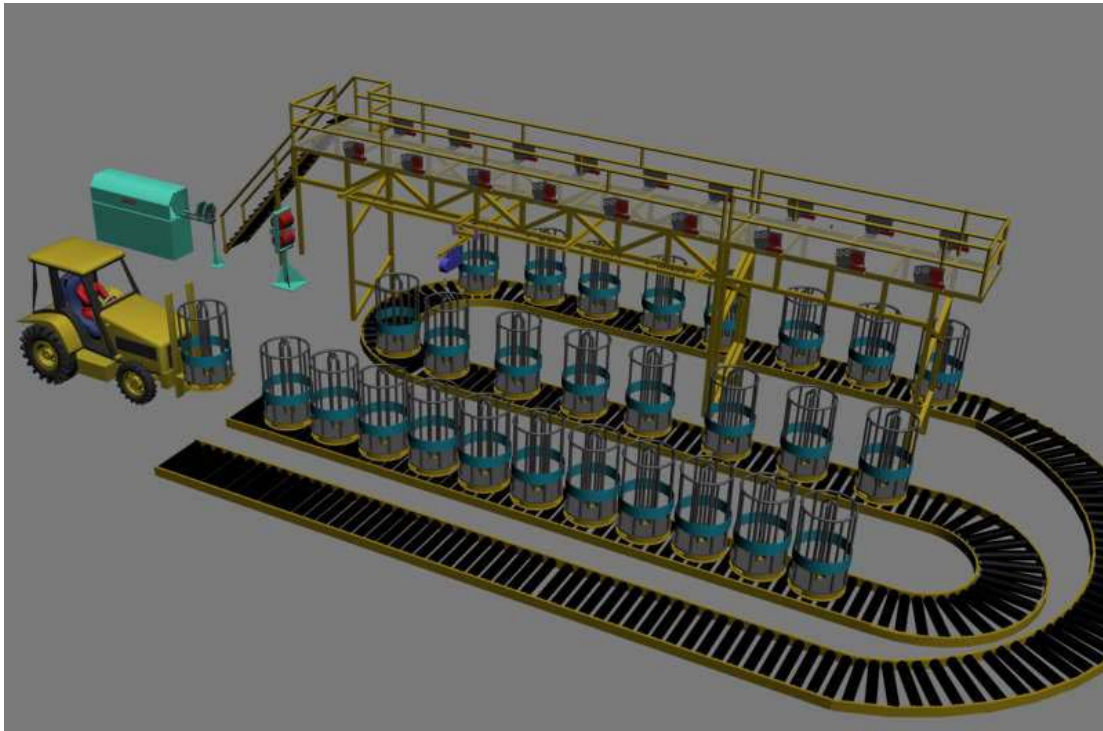
TABLA A-8: Factor de seguridad en materiales dúctiles
Fuente: *Diseño de Máquinas*. Robert Norton

Información	Calidad de la información	Factor
Datos del material disponibles de pruebas	El material realmente utilizado fue probado	<u>F1</u> 1.3
	Datos representativos del material disponibles a partir de pruebas	2
	Datos suficientemente representativos del material disponibles a partir de pruebas	3
	Datos poco representativos del material disponibles a partir de pruebas	5+
Condiciones del entorno en el cual se utilizará	Idénticas a las condiciones de prueba del material	<u>F2</u> 1.3
	Esencialmente en un entorno de ambiente de habitación	2
	Entorno moderadamente agresivo	3
	Entorno extremadamente agresivo	5+
Modelos analíticos para carga y esfuerzos	Los modelos han sido probados contra experimentos	<u>F3</u> 1.3
	Los modelos representan al sistema con precisión	2
	Los modelos representan al sistema aproximadamente	3
	Los modelos son una burda aproximación	5+

TABLA A-9: Propiedades mínimas a la tensión del metal soldante para soldadura de arco
Fuente: *Diseño de elementos de Máquinas*. Joseph Shigley

NÚMERO DE ELECTRODO AWS	RESISTENCIA ÚLTIMA kpsi (MPa)	RESISTENCIA DE FLUENCIA kpsi (MPa)	ELONGACIÓN (%)
E60xx	62 (427)	50 (345)	17–25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14–17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13–16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

APÉNDICE A-10: Posible solución planteada como respuesta al problema planteado
(solución descartada)



Este sistema de alimentación continua consistía en una serie de transportadores de rodillos motorizados sobre los cuales se ubicarían las cestas de alimentación llenas. El montacargas llenaba la hilera con las cestas a utilizar tal como se muestra en la figura, luego éstas hacían el recorrido a través del riel hasta ubicarse en su posición de utilización. Finalmente las cestas eran transportadas siguiendo el sentido del riel hasta su ubicación de salida. Este sistema propuesto presentaba inconvenientes a la hora de colocar un sistema de transmisión de potencia en las zonas curvas, sin mencionar que dichas secciones aumentaban considerablemente su costo; pero la limitante principal era el espacio, ya que no se contaba con la delimitación suficiente en la máquina Buncher 1600 para llevar a cabo un rediseño de este tipo.

ANEXOS

[CATÁLOGOS]

- Rollers Conveyors S.A.
- Rotrans S.A.

[COTIZACIONES]

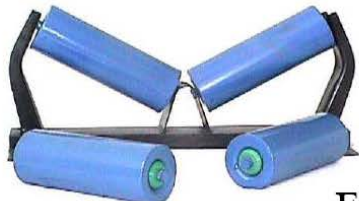
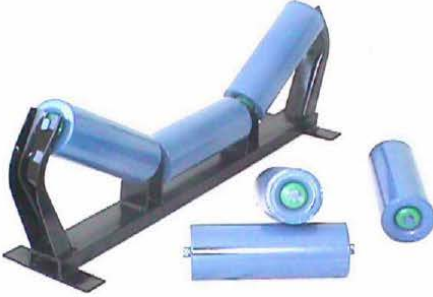
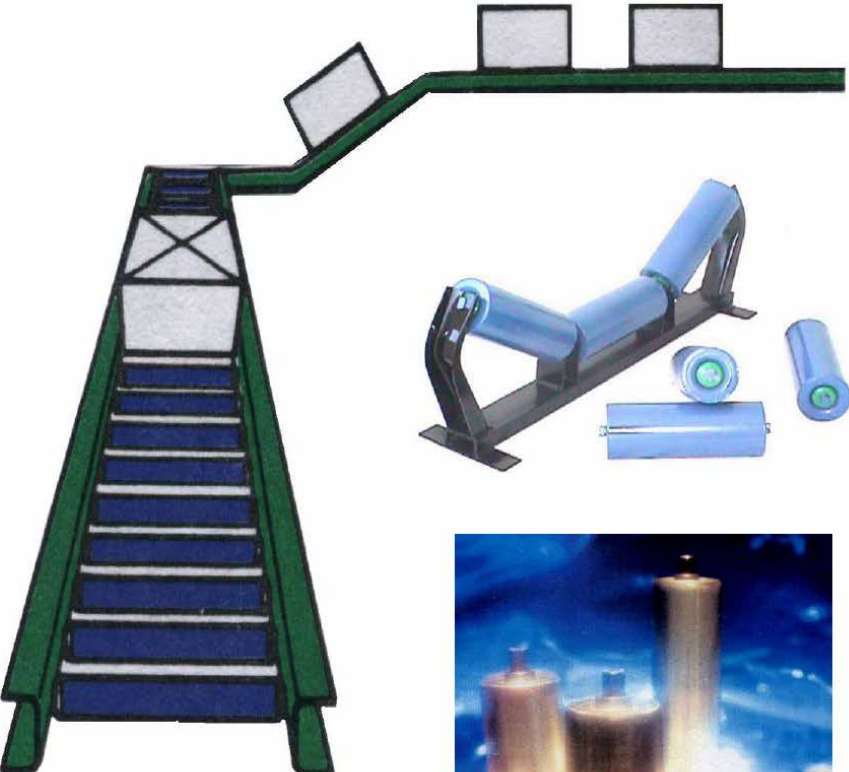
- Trans-roll C.A.
- Rollers Conveyors S.A.

[PLANOS]

ANEXO 1: Catálogo de Rodillos de la empresa Rollers Conveyors S.A.

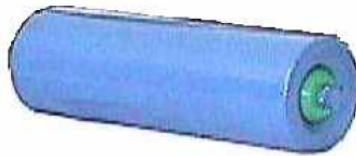


Fabrica de Rodillos y
Transportadores



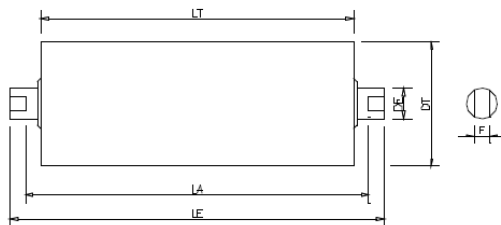
Transportadores a Granel
Equipos para Manejo de Materiales

**R
C**



Serie RCMD/RCHD/RCEHD

Los rodillos Rollers Conveyors (MD/HD/EHD), MEDIUM DUTY, heavy DUTY y extra-heavy DUTY están diseñados para sistemas de transportes a granel en diversidad de capacidades de acuerdo a la carga a transportar, es por esto que en su estructura se pueden utilizar tanto rodamientos de bola como rodamiento cónicos. El sistema de sellos de rodamientos está conformado interiormente por una tapa de polipropileno creando una cámara de alojamiento de grasa para mantener la lubricación permanente, y un triple laberinto de Nylon 6.6 lo cual incrementa la vida del rodillo, ya que no permite salida o entrada de grasa, agua o polvo bajando de esta manera los costos operativos por ser de libre mantenimiento.



$$\begin{aligned} LE &= LT + 26 \\ LA &= LE - 18 \\ LA &= LT + 8 \end{aligned}$$

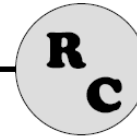
NOMENCLATURA

RC(MD/HD/EHD)*DT*LT*DE*LE*LA*F

RCMD: Rollers Conveyors Medium Duty
RCHD: Rollers Conveyors Heavy Duty
RCEHD: Rollers Conveyors Extra-Heavy Duty
DT: Diámetro del tubo (mm)
LT: Longitud del tubo (mm)
DE: Diámetro del eje (mm) (20-25-30)
LE: Longitud del eje (mm)
LA: Longitud del anclaje (mm)
F: Fresado del eje (14-18-22)mm. estándares

		MEDIUM DUTY		HEAVY DUTY					EXTRA - HEAVY DUTY	
		60	76	89	102	114	127	152		
RCMD	Ø Tubo (mm)	60	76	89	102	114	127	152		
	Ø Eje (mm)	20	20	20	20	20	–	–		
RCHD	Ø Eje (mm)	–	–	25	25	25	25	–		
	Ø Eje (mm)	–	–	30	30	30	30	30		
RCEHD	Ø Eje (mm)	–	–	30	30	30	30	30		
	Espesor Tubo (mm)	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18	4.5	5.5		

NOTA: El extremo del eje puede ser adaptado a cualquier tipo de soporte utilizado por el cliente pero manteniendo las normas internacionales para la fabricación de rodillos a granel, recomendamos fresado "F" para un rápido mantenimiento y montaje, además de bajar los costos del producto.



MATERIALES DE LOS RODILLOS RCMD/RCHD/RCEHD

TUBOS: Fabricados en Acero A- 569 con costura y de fabricación nacional, manteniendo un control estricto en su elaboración por cualquier defecto de excentricidad.

EJES: Utilizamos ejes de acero C-1020 trefilados en frio con ajuste h_9 en los siguientes diámetros: 20mm - 25mm - 30mm.

TAPAS: Las tapas de nuestros rodillos son fabricadas en el país con laminas de embutición A-569 y utilizando una alta tecnología en su elaboración manteniendo un control estricto en el ajuste interno M7.

RODAMIENTOS: Utilizamos rodamientos de bolas y cónicos de las siguientes series: 6204 - 6205 6206 - 6305 / 30204 - 30205 - 30206 - 30305 en marcas reconocidas.

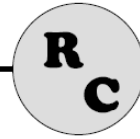
TRIPLE LABERINTO: Es de doble efecto (interno y externo) y fabricado en Nylon 6.6 ofreciendo un alto grado de resistencia, de impacto, tenacidad, estanqueidad y resistencia a la fatiga.

TAPAS INTERNAS Y EXTERNAS: Fabricado en polipropileno debido a la excelente resistencia al esfuerzo, al agrietamiento por flexión, al rayado, impacto, resistencia química y al calor protegiendo ambos extremos de la tapa portadora.

GRASA: Factolago EP-2.

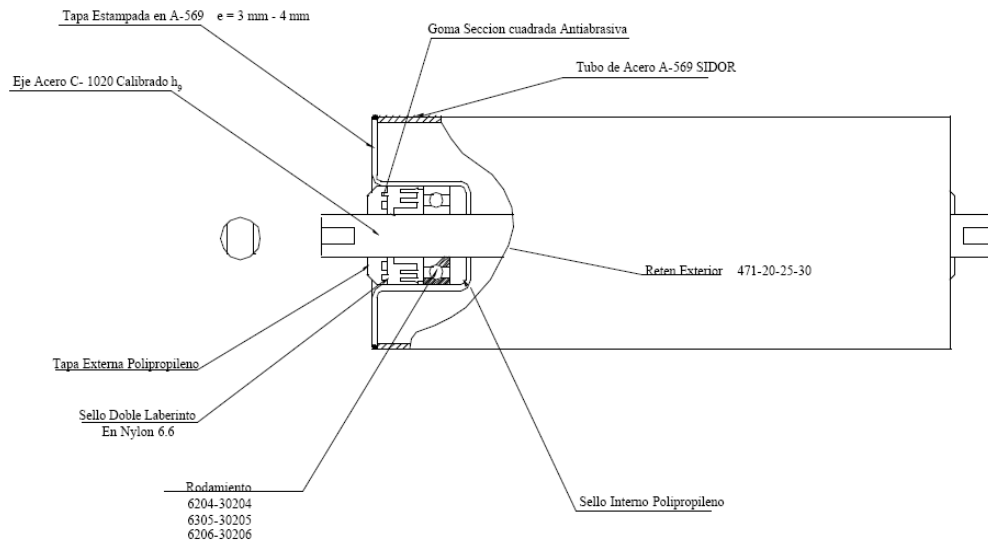
NORMAS INTERNACIONALES UTILIZADAS EN ESTOS RODILLOS

ISO - 1537	FEM 201	DIN 15207
ISO / TC101	FEM - 4	AFNOR E 53
ISO / R 336	FEM - 5	CEMA III Y IV

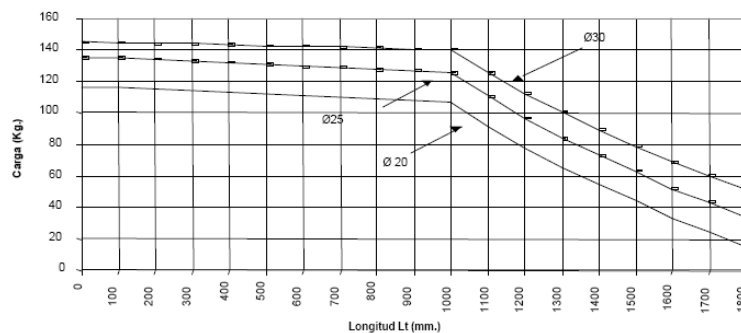


Serie RCMD/RCHD/RCEHD

CONFORMACIÓN DE RODILLO



Capacidad de Carga vs. Longitud



ANEXO 2: Catálogo de Rodillos de la empresa Rotrans S.A. (España)

SERIES / TUBO / SOPORTES / EJE / RODAMIENTOS



Rodillos

Serie M

Los rodillos Rotrans de la serie “M” están fabricados con tubo, eje y soportes de acero, un sistema de estanqueidad de doble retén y laberinto, que impide la penetración de cualquier elemento contaminante al rodamiento. Dentro de esta serie se encuentran los siguientes tipos:

Superiores e Inferiores lisos, de Impacto, de Limpieza (Rectos y Helicoidales), Guía. Se fabrican en normas DIN, ISO, FEM y CEMA (No dentro de este catálogo).

SERIE P

Los rodillos de la serie “P” tienen como característica diferenciadora los soportes (que contienen los rodamientos) y tapas de cierre en material plástico (poliamida). El sistema de obturación está compuesto por varios laberintos almenados que impiden la penetración de sustancias contaminantes.

TUBO

Los rodillos son contruidos con tubo de acero soldado, de calidad St 37.2 o superior, de acuerdo a las Normas DIN 17100 e ISO 1129.

Los extremos del rodillo se mandrinan interiormente y de forma simultánea, para asegurar su correcto centrado y alineamiento de los soportes. Para evitar daños en la banda transportadora, los extremos de los rodillos se redondean.

SOPORTES

En la serie “M” los soportes son fabricados en chapa de acero, por estampación profunda con tolerancias ISO N7, para el ajuste externo del rodamiento. Así mismo los soportes son mecanizados en su diámetro exterior para asegurar su concentricidad con el tubo.

La serie “P” contiene soportes en poliamida 6.

EJE

Los ejes son de acero, con resistencia a la tracción superior a 50 Kg/mm², rectificadas y biseladas en los extremos, con tolerancia ISO js6 en la zona de contacto con los rodamientos.

RODAMIENTOS

Todos los rodillos contienen rodamientos rígidos de bolas de primeras marcas, engrasados “de por vida”, y de las series: 6.204, 6.205, 6.305, 6.306, 6.307, 6.308, 6.309, 6.310, 6.312. Habitualmente en juego C3.

ROTRANS, S.A. Polígono Industrial de Villalonquénjar. C/ Merindad de Montija, 5. Tel. (34) 947 29 80 31. Fax (34) 947 29 81 03. BURGOS



GOMAS / OBTURACIÓN / TOLERANCIAS CONSTRUCTIVAS
/ RODILLOS ESPECIALES

GOMAS

Los rodillos de Impacto y Limpieza se fabrican de acuerdo a las normas DIN 15207-22107, ISO 1537. Las piezas de goma utilizadas se moldean de acuerdo a las geométricas, dimensiones y calidades de las normas.

OBTURACIÓN

Los sistemas de obturación de Rotrans aseguran la estanqueidad en todo tipo de aplicaciones y regímenes de trabajo.

El sistema JI consiste en la aplicación de dos retenes de nitrilo sobre casquillo de poliamida, haciendo éste de laberinto entre retenes. En la parte posterior del rodamiento otro retén frena la entrada de elementos contaminantes del interior del tubo (cascarilla, agua, etc.). Todo el conjunto se encuentra inundado en grasa con base de litio.

El sistema JS está formado por un conjunto de retén y poliamida, donde la poliamida forma un laberinto almenado y el retén nitrílico con alma metálica de contacto directo en la zona rectificada del eje. En la parte posterior del rodamiento otro retén impide la entrada de elementos contaminantes del interior del tubo (cascarilla, agua, etc.). En el sector interno del laberinto existe un depósito de grasa que asegura la lubricación del rodamiento.

Estos sistemas impiden totalmente la penetración de cualquier elemento contaminante, (polvo, agua, etc.) al rodamiento y aseguran una gran suavidad en el giro.

TOLERANCIAS CONSTRUCTIVAS

Diámetro del tubo y ovalización	± 0,5 % D (Diámetro tubo)
Flecha del tubo	≤ 1,1 % L (Longitud tubo)
Espesor del tubo	± 10 % A (Espesor tubo)
Excentricidad máxima del rodillo	± 0,5 % D (Diámetro tubo)
Longitud del rodillo	+ 0 / -1 m/m
Espesor entre caras	+ 0 / -0.2 m/m
Longitud entre caras	+ 0 / -1 m/m
Longitud total del eje	+ 0 / -1 m/m
Desplazamiento axial	≤ 1 m/m

RODILLOS ESPECIALES

Bajo consulta, y para condiciones especiales, existe la posibilidad de fabricar rodillos especiales:

- Rodillos en tubos de calidad especial (St 52, acero inoxidable, PVC, aluminio, etc.)
- Rodillos de impacto y limpieza vulcanizados en molde, con geometrías de amortiguación y limpieza de discos, en diferentes calidades de goma e índices de abrasión.
- Rodillos vulcanizados en caliente con diferentes espesores y calidades.
- Rodillos en tubos sin soldadura y con espesores especiales, para aplicaciones de alta resistencia.
- Rodillos con piñones simples, dobles, triples, encauzadores, embragados y cónicos.
- Acabados especiales: rilsalizados, plastificados, cincados, galvanizados, bicromatados, a-magnéticos, etc.

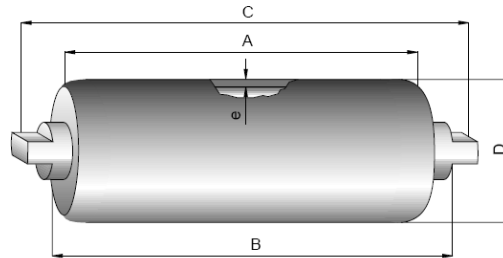
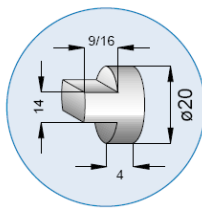
RODILLOS LISOS



RODAMIENTO 6204 EJE Ø20

Serie
M / S-20

DIÁMETRO RODILLO (mm)	D	63,5	70	76	89	102	108	127	133	152	159
ESPESOR DE TUBO (mm)	e	3	3	3	3	3,6	3,8	4	4	4,5	5
CONSTANTE PESO RODILLO	T	1	1,1	1,2	1,3	1,6	1,8	2	2,2	2,4	3
CONSTANTE PESO P. MÓVILES	T1	1	1,2	1,2	1,4	2	2,3	2,8	2,9	3,3	4



Colocación en ARTESA

BANDA	A	B	C	Peso rodillo Ø63.5	Peso partes móviles Ø63.5
300					
400	160	168	186	1,80	1,27
500	200	208	226	2,09	1,50
650	250	258	276	2,44	1,75
800	315	323	341	2,90	2,05
1000	380	388	406	3,35	2,35
1200	465	473	491	3,95	2,73
1400	530	538	556	4,41	3,02
1600	600	608	626	4,90	3,33
1800	670	678	696	5,40	3,66
2000	750	758	776	5,96	4,02

Colocación en HORIZONTAL

BANDA	A	B	C	Peso rodillo Ø63.5	Peso partes móviles Ø63.5
300	400	408	440	3,35	2,40
400	500	508	540	4,20	2,85
500	600	608	640	4,93	3,33
650	750	758	790	5,99	4,02
800	950	958	990	7,40	4,92
1000	1150	1158	1190	8,80	5,82
1200	1400	1408	1440	10,56	6,96
1400	1600	1608	1640	11,97	7,87
1600	1800	1808	1840	13,38	8,78
1800	2000	2008	2040	14,79	9,87
2000	2200	2208	2240	16,20	10,60

Colocación en "V"

BANDA	A	B	C	Peso rodillo Ø63.5	Peso partes móviles Ø63.5
300	200	208	226	2,09	1,50
400	250	258	276	2,44	1,75
500	315	323	341	2,90	2,05
650	380	388	406	3,35	2,35
800	465	473	491	3,95	2,73
1000	600	608	626	4,90	3,34
1200	700	708	726	5,61	3,79
1400	800	808	826	6,31	4,24
1600	900	908	926	7,01	4,69
1800	1000	1008	1026	7,72	5,14
2000	1100	1108	1126	8,42	5,60

Notas

- En las tablas, los anchos de banda están expresados en milímetros y los pesos en kilogramos.
- Estas medidas son según normas. Bajo demanda es posible fabricar en cualquier longitud de tubo (máximo 2.400 mm) o eje (máximo 3.000 mm).

Observaciones

- El cálculo de los pesos, tanto de los rodillos como de las partes móviles, para otros diámetros es:
Peso de la tabla (Rod.Ø63.5) x Constante (T ó T1).
Ej. Peso Rod. (Ø89x160) = peso (Ø63.5x160) x T
Peso = 1,8 x 1,3 = 2,34 Kg
- Pesos aproximados.
- Para rodillos inferiores de minería es admisible sumar 10 mm al largo normal de las entrecaras.
- NORMAS ISO 1537 // DIN 15207-22107
UNE 58-232-92

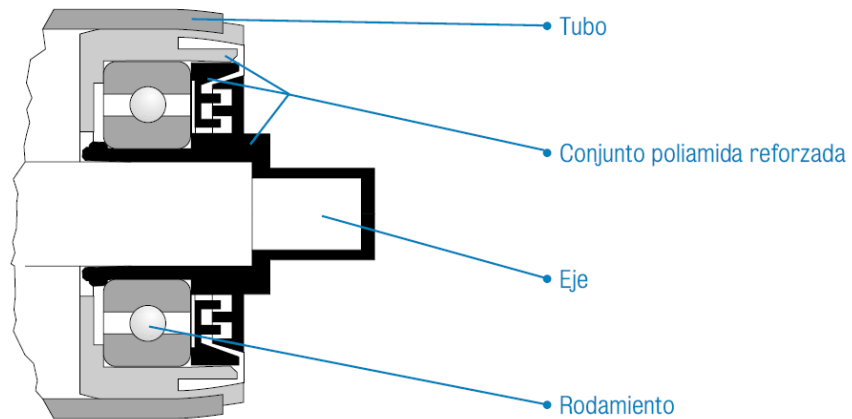
SISTEMAS DE CIERRE



SISTEMAS

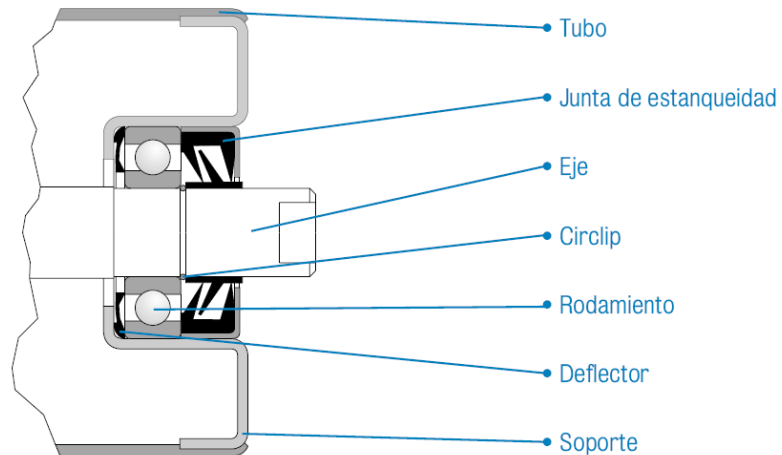
Serie P

Para rodamientos 6204 - 6205 - 6206



Serie M

Para rodamientos 6204 - 6205 - 6305 - 6306



ANEXO 3: Cotización del transportador de rodillos de la empresa Trans-roll C.A.



Pág.. 1/3

Empresa: PHELP DODGE

COTIZACIÓN: PT- 0011-08

TELEFAX.:

Fecha: Valencia, 21/02/2008

Atención: Ing. Luis F. Alvarez.

Proveedor N°:

Obra: SISTEMA TRANSPORTADOR.

ITEMS	CANT.	UNID.	DESCRIPCION	PRECIO UNIT. (Bs.)	P. TOTAL (Bs)
01	6	S.G.	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE:	14,577.98	87,467.87
			TRANSPORTADOR DE RODILLOS A GRAVEDAD DE SERVICIO PESADO	-	-
			ANCHO TOTAL: 1180 mm.	-	-
			ANCHO ÚTIL: 1100 mm.	-	-
			LARGO: 6 m.	-	-
			ESTRUCTURA FABRICADA EN PERFIL VIGA UPL 120 CON REFUERZOS EN ÁNGULOS DE 50X5.	-	-
			CON RODILLOS DE Ø 89 mm. CON EJE Ø 20 mm.	-	-
			SEPARADOS A 125 mm. C/C.	-	-
			ACABADO EN FONDO INDUSTRIAL Y ESMALTE.	-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
				-	-
VALIDEZ DE LA OFERTA: 7 días.				SUB-TOTAL	87,467.87
CONDICIONES DE PAGO: 50% DE INICIAL, SALDO CONTRA ENTREGA.				PÁG.. ANTERIOR	
TIEMPO DE ENTREGA: DE 8 A 10 SEMANAS.					
TIPO DE GARANTÍA: 1 AÑO POR DEFECTOS DE FABRICACIÓN				TOTAL GENERAL	87,467.87

PRECIOS NO INCLUYEN I.V.A.

Arturo Hernández

Director Técnico

WWW.TRANS-ROLL.COM

ZONA IND. EL RECREO, SOCIEDAD INDUSTRIAL BATALLA DE CARABOBO GALPÓN C-4 VALENCIA EDO. CARABOBO
TELEFAX. (0241) 8786155 TELF. 8786155-8787567 CEL. 0414-3413855-3403192. E-mail: transroll@cantv.net

ANEXO 4: Cotización del transportador de rodillos facilitada por Rollers Conveyors S.A.

Windows Live™

Band. entrada

Correo no deseado

Borradores

Enviados

Eliminados

Amazon

Administrar carpetas

Hoy

Correo

Contactos

Calendario

So, what do you think?

Principal

Hotmail

Spaces

OneCare

Web

Correo

Mover a

Eliminar

Reenviar

Responder a todos

Nuevo

Responder

redhair115@hotmail...
Cerrar sesión

RE: INFORMACION SOBRE COTIZACION

De: rollers conveyors (rollersconveyorssa@hotmail.com)

Enviado: miércoles, 05 de marzo de 2008 09:28:07 p.m.

Para: Luis Fernando Alvarez Celis (redhair115@hotmail.com)

ROLLERS CONVEYORS S.A.

Barquisimeto, 05/03/2008

SRS: Phelps Dodge de Venezuela C.A.

Atencion: Ing. Luis Alvarez

Cotizacion: # 050308

CANT	DESCRIPCION	P.U.	Ptotal
06	Secciones de transportadores a gravedad de 7 mts de longitud x 1,1 mts de ancho util, con las siguientes características: .- paso entre rodillos 184,21 mm .- rodillos de diametro 89 mm x 1100 .- perfil en viga UPL120 .- travesanos de angulo de 50x5 .- cada tramo lleva 38 rodillos .- tornillos de 1/2" a cada extremo de los rodillos. .- acabado de la estructura en fondo	8.908,00	53.448,00

nota: no incluye el impuesto

condiciones: o/c y 50% inicial, saldo para la entrega.

plazo de entrega: 3-4 semanas

validez de la oferta: 15 dias

flete por cuenta del cliente

Fuente: Catálogo de productos de Festo



ANEXO 6: Valores de las cotas del plano del actuador lineal sin vástago
FUENTE: Catálogo de productos de Festo

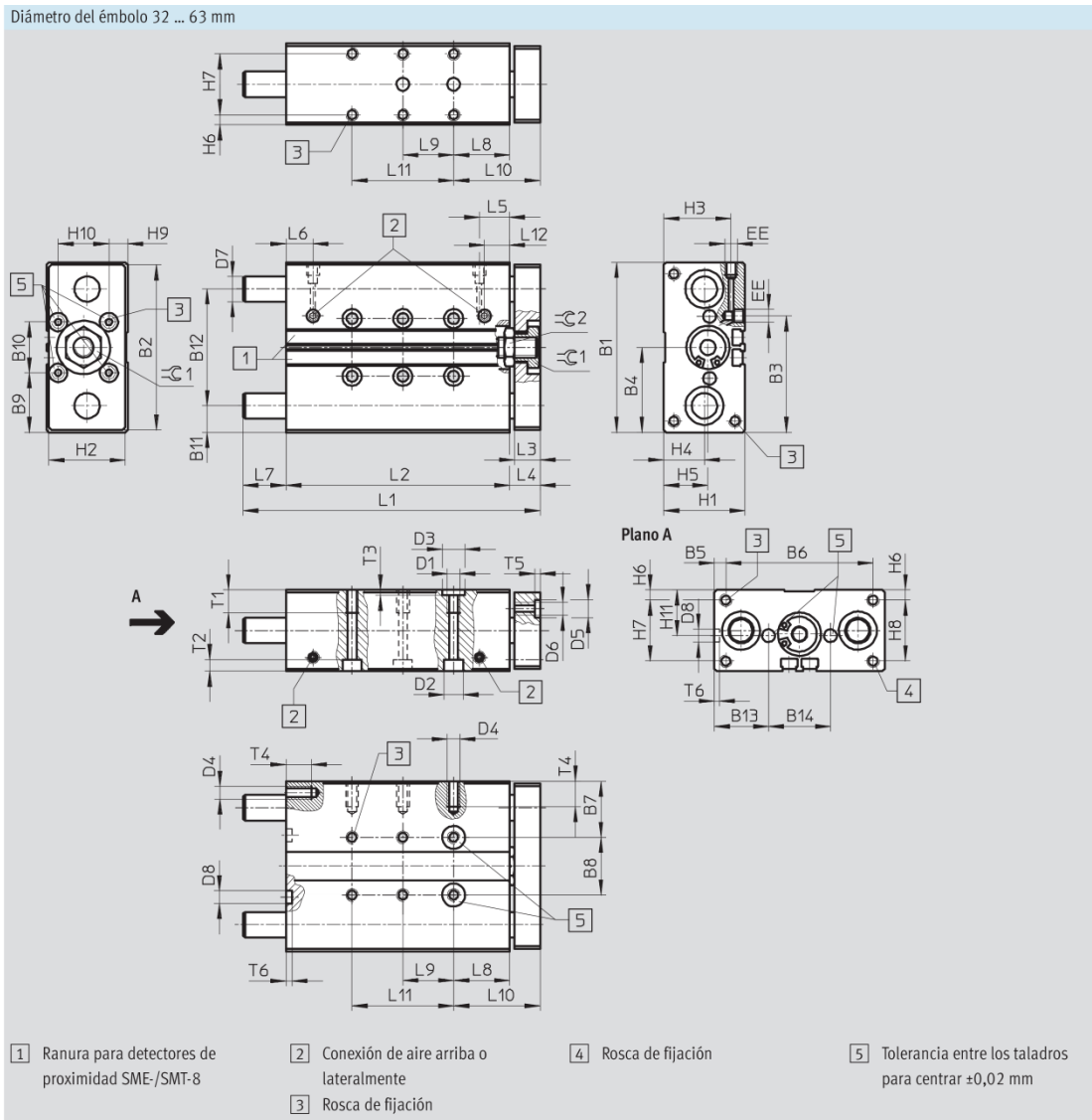
Ø	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
[mm]					±0,05				
18	44,5	46,3	19,5	8,8	21	31	0,3	3,8	0,4
25	59,8	61,6	30	12,65	30	42	–	6,65	–
32	73	75,5	38,5	5,7	63,1	57,5	–	8,5	–
40	91	94,5	45	17,2	55	65	–	12,2	–
50	113	127	60	8	52,8	81,6	–	12	–
63	142	147	68	15,5	68	97	–	19,5	6

Ø	B10	B11	B12	B13	D1 Ø	D2	EE	H1	H2
[mm]									
18	2,4	5,5	19,3	20	2±0,05	M4	M5	49,8	23,1
25	3,5	9,3	20,15	30	3±0,05	M5	G $\frac{1}{8}$	58,5	29
32	14	14,9	20,5	35	3±0,05	M6	G $\frac{1}{8}$	73	30
40	8	16,5	19,8	45	4±0,05	M6	G $\frac{1}{4}$	88	41,5
50	–	21	24	64	9 ^{H7}	M8	G $\frac{1}{4}$	120	38,5
63	–	21	30	64	9 ^{H7}	M10	G $\frac{3}{8}$	140	48,5

Ø	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	J1	J2
[mm]		±0,2							
18	48,3	10,3	13,4	20	5,3	2,4	25,2	20	16,5
25	56,5	13	15,8	24	7	4,5	29	26,1	18,6
32	71,5	5,7	17	27,7	8,5	14	35,2	30	22
40	85	17,2	25	36,5	12,2	8	44	35	26
50	116	52,8	29,3	36	12	8	53	30,5	30,5
63	137,5	68	34,8	46	19,5	15,5	67	41,5	39,5

Ø	J3	L1	L2	L3	L4	L5	L6	T1	T2	T6	Tolerancia de la carrera
[mm]		+0,9/–0,2									
18	11	150	74,5	5,7	5,8	15	5,5	9	2	10,7	0 ... 2,5
25	17	200	100	10,5	10,6	24,5	10,6	17,5	2	12	
32	18,5	250	124,8	14,5	14,5	30,5	14,5	15	2	13,8	
40	26	300	150	14,6	14,6	33,5	14,6	20	3	16,8	
50	28	350	175	17	–	41	17	24	2,1 ^{+0,2}	20,75	
63	31,5	400	200	20	–	44	20	27,5	2,1 ^{+0,2}	20,75	

ANEXO 7: Planos del actuador guiado tipo DFM
FUENTE: Catálogo de productos de Festo



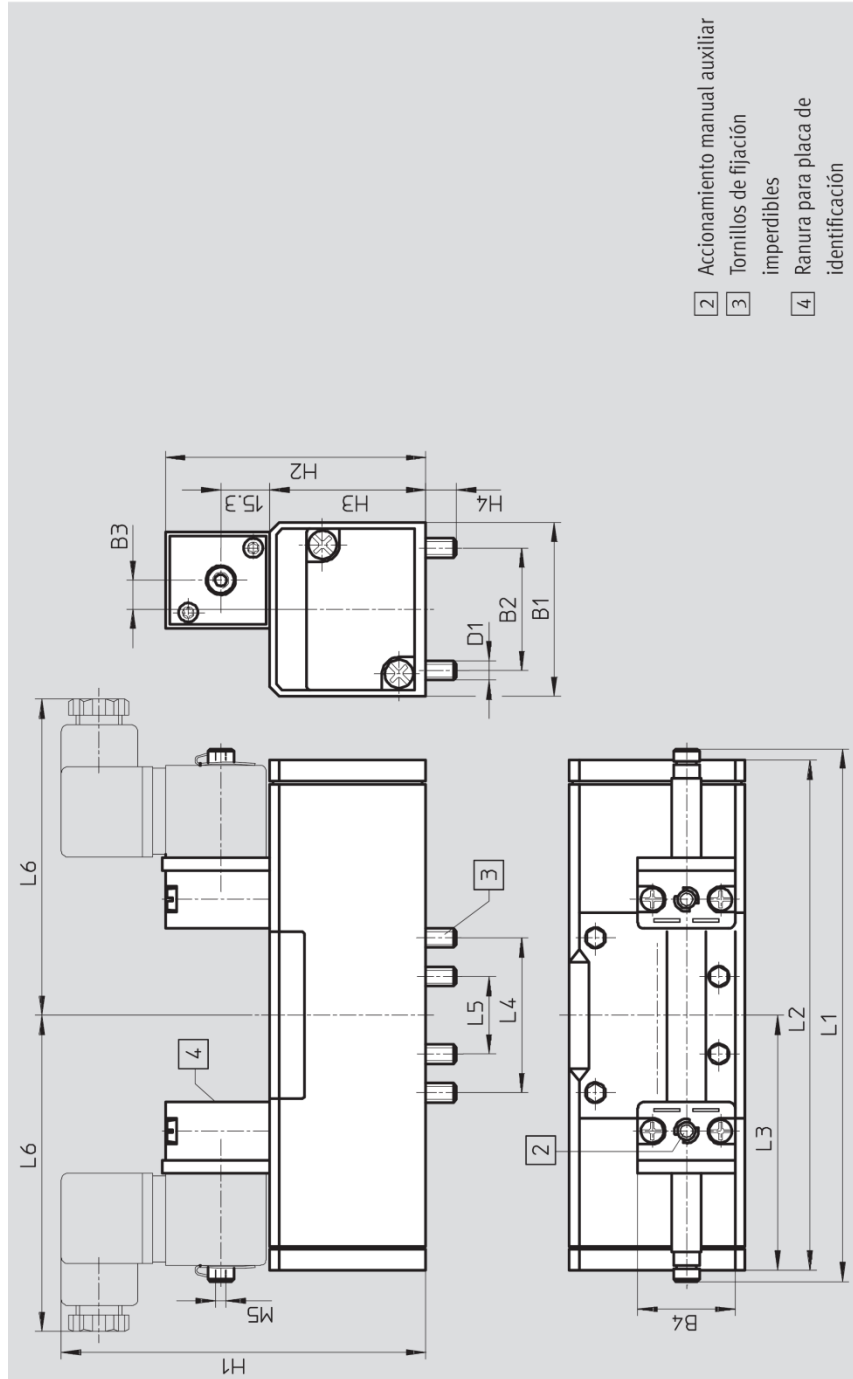
ANEXO 8: Valores de las cotas del plano del actuador guiado tipo DFM
FUENTE: Catálogo de productos de Festo

Ø [mm]	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	D1	D2 Ø	D3 Ø H7	D4
32	110	108	81	55	20	70	33,5	43	35	40	16	78	32,5	45	M8	11	12	M6
40	120	118	94	60	15	90	34,5	51	35	50	16	88	32,5	55	M8	11	12	M8
50	148	146	116,5	74	19	110	42	64	44	60	19	110	40	68	M8	11	12	M8
63	162	160	139	81	9	144	41	80	41	80	18,4	125	39,5	83	M10	15	12	M10

Ø [mm]	D5 Ø H7	D6	D7 Ø		D8 Ø H7	EE	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11
			GF	KF													
32	9	M6	20h8	16h6	9	G ¹₈	54	47	38,5	22	23,5	6	37	37	8,5	30	24,5
40	9	M6	20h8	16h6	9	G ¹₈	54	52	40,5	24	25	6	42	42	10	30	27
50	12	M8	25h8	20h6	12	G ¹₄	64	62	50,5	29,5	29,7	7	50	50	12	40	32
63	12	M8	25h8	20h6	12	G ¹₄	78	76	55	32	36,8	9	60	60	19	40	39

Ø	Ca- rrera	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	T1	T2	T3	T4	T5	T6	≈G1	≈G2
[mm]	[mm]										±0,1										
32	20	101	68	14	16	17	12	17	29	–	45	–	17	15	6,8	2,6	12	2,1	2,1	17	22
	25	106	73					17		20		–									
	30	111	78					17		20		–									
	40	121	88					17		20		–									
	50	131	98					17		40		–									
	80	179	128					35		40		–									
	100	199	148					35		40		80									
	125	244	173					55		40		80									
	160	279	208					55		40		120									
	200	319	248					55		40		160									
40	25	106	76	14	16	17,8	13,1	14	29	20	45	–	17,8	15	6,8	2,6	16	2,1	2,1	17	22
	50	131	101					14		40		–									
	80	179	131					32		40		–									
	100	199	151					32		40		80									
	125	244	176					52		40		80									
	160	279	211					52		40		120									
	200	319	251					52		40		160									
50	25	118	77	16	18	17,8	14,2	23	32	20	50	–	17,8	15	6,8	2,6	16	2,6	2,6	19	24
	50	143	102					23		40		–									
	80	194	132					44		40		–									
	100	214	152					44		40		80									
	125	259	177					64		40		80									
	160	294	212					64		40		120									
	200	334	252					64		40		160									
63	25	118	83	16	18	18,5	14,8	17	32	20	50	–	18,5	20	9	2,6	20	2,6	2,6	19	24
	50	143	108					17		40		–									
	80	194	138					38		40		80									
	100	214	158					38		40		80									
	125	259	183					58		40		120									
	160	294	218					58		40		160									
	200	334	258					58		40		200									

ANEXO 9: Planos de la electroválvula tipo MN1H de 5/3 vías biestable
FUENTE: Catálogo de productos de Festo



Tamaño ISO	B1	B2	B3	B4	D1	H1	H2	H3	H4	L1	L2	L3	L4	L5	L6
1	42	28	6	30	M5	106	74	38	9	147,3	108,4	54,2	36	18	89
2	54	38	9	30	M6	116	84	48	9,5	165	158	79	48	24	98
3	65	48	12	30	M8	123	91	55	12	185,7	184	92	64	32	109

ANEXO 10: Catálogo de PLC (Marca FATEK) de la empresa SEQUIN C.A.
FUENTE: SEQUIN C.A., C.C. Atlas, Prolongación Av. Michelena, Valencia-Edo.Carabobo

Item Name	Model Number	Specifications	
NC Control Main Unit	FBS-20MN□◇△ - ◎	2 points 7920KHz 5VDC differential input, 10 points 24VDC digital input (20KHz), 2 points 7920KHz 5VDC differential output, 6 points (R/T/S) digital output (Model "T" 6 points 20KHz output), 1 RS232 or USB port (expandable up to 5), built-in RTC, detachable terminal block	
	FBS-32MN□◇△ - ◎	4 points 920KHz 5VDC digital differential input, 16 Points 24VDC digital input (20KHz for 12 Points), 4 points 7920KHz 5VDCdigital differential output, 8 Points (R/T/S) digital output (Model "T" 4 Points 20KHz output), 1 RS232 or USB port (expandable up to 5), built-in RTC, detachable terminal block	
	FBS-44MN□◇△ - ◎	8 points 7920KHz 5VDC digital differential input, 20 Points 24VDC digital input (20KHz for 8 points), 8 points 7920KHz 5VDCdigital differential output, 8 points (R/T/S) digital output (Model "T" 4 Points 20KHz output), 1 RS232 or USB port (expandable up to 5), built-in RTC, detachable terminal block	
Advanced Main Unit	FBS-10MC□◇△ - ◎ - XY	6 points 24VDC digital input (2 points 100KHz+4 points 20KHz), 4 points (R/T/S) digital output (Model "T" 2 points 100KHz+2 points 20KHz output), 1 RS232 or USB port (expandable up to 5), built-in RTC, I/O is not expandable	
	FBS-14MC□◇△ - ◎ - XY	8 points 24VDC digital input (2 points 100KHz+6 points 20KHz), 6 points (R/T/S) digital output (Model "T" 2 points 100KHz+4 points 20KHz output), 1 RS232 or USB port (expandable up to 5), built-in RTC, I/O is not expandable	
	FBS-20MC□◇△ - ◎ - XY	12 points 24VDC digital input (2 points 100KHz+10 points 20KHz), 8 points (R/T/S) digital output (Model "T" 2 points 100KHz+6 points 20KHz output), 1 RS232 or USB port (expandable up to 5), built-in RTC	
	FBS-24MC□◇△ - ◎ - XY	14 points 24VDC digital input (2points 100KHz+12 points 20KHz), 10 points (R/T/S) digital output (Model "T" 2 points 100KHz+6 points 20KHz output), 1 RS232 or USB port (expandable up to 5), built-in RTC, detachable terminal block	
	FBS-32MC□◇△ - ◎ - XY	20 points 24VDC digital input (2 points 100KHz+14 points 20KHz), 12 Points (R/T/S) digital output (Model "T" 2 points 100KHz+6 points 20KHz output), 1 RS232 or USB port (expandable up to 5), built-in RTC, detachable terminal block	
	FBS-40MC□◇△ - ◎ - XY	24 points 24VDC digital input (2 points 100KHz+14 points 20KHz), 16 points (R/T/S) digital output (Model "T" 2 points 100KHz+6 points 20KHz output), 1 RS232 or USB port (expandable up to 5), built-in RTC, detachable terminal block	
	FBS-60MC□◇△ - ◎ - XY	36 points 24VDC digital input (2 points 100KHz+14 points 20KHz), 24 points (R/T/S) digital output (Model "T" 2 points 100KHz+6 points 20KHz output), 1 RS232 or USB port (expandable up to 5), built-in RTC, detachable terminal block	
	Basic Main Unit	FBS-10MA□◇△ - ◎	6 points 24VDC digital input (up to 10KHz in 4 points), 4 Points (R/T/S) digital output (Model "T" has 4 points 10KHz output), one RS232 or USB port (can be expanded up to 3), I/O is not expandable
		FBS-14MA□◇△ - ◎	8 points 24VDC digital input (up to 10KHz in 4 points), 6 points (R/T/S) digital output (Model "T" has 4 points 10KHz output), one RS232 or USB port (can be expanded up to 3), I/O is not expandable
FBS-20MA□◇△ - ◎		12 points 24VDC digital input (up to 10KHz in 4 points), 8 points (R/T/S) digital output (Model "T" has 4 points 10KHz output), one RS232 or USB port (can be expanded up to 3)	
FBS-24MA□◇△ - ◎		14 points 24VDC digital input (up to 10KHz in 4 points), 10 points (R/T/S) digital output (Model "T" has 4 points 10KHz output), one RS232 or USB port (can be expanded up to 3)	
FBS-32MA□◇△ - ◎		20 points 24VDC digital input (up to 10KHz in 4 points), 12 points (R/T/S) digital output (Model "T" has 4 points 10KHz output), one RS232 or USB port (can be expanded up to 3)	
FBS-40MA□◇△ - ◎		24 points 24VDC digital input (up to 10KHz in 4 points), 16 points (R/T/S) digital output (Model "T" has 4 points 10KHz output), one RS232 or USB port (can be expanded up to 3)	
FBS-60MA□◇△ - ◎		36 points 24VDC digital input (up to 10KHz in 4 points), 24 points (R/T/S) digital output (Model "T" has 4 points 10KHz output), one RS232 or USB port (can be expanded up to 3)	
Expansion Power	FBS-EPOW-◎	Power supply for expansion module, with single 5VDC and dual 24VDC voltage output and up to 20VA capacity	
Digital Expansion Unit	FBS-24EAP□◇ - ◎	14 points 24VDC digital input, 10 points (R/T/S) digital output, built-in power supply	
	FBS-40EAP□◇ - ◎	24 points 24VDC digital input, 16 points (R/T/S) digital output, built-in power supply	
	FBS-60EAP□◇ - ◎	36 points 24VDC digital input, 24 points (R/T/S) digital output, built-in power supply	
Digital I/O Module	Digital Expansion Unit	FBS-8EA□◇	4 points 24VDC digital input, 4 points (R/T/S) digital output
		FBS-8EX	8 points 24VDC digital input
		FBS-8EY□◇	8 points (R/T/S) digital output
		FBS-16EA□◇	8 points 24VDC digital input, 8 points (R/T/S) digital output
		FBS-16EY□◇	16 points (R/T/S) digital output
		FBS-20EX	20 points 24VDC digital input
		FBS-24EA□◇	14 points 24VDC digital input, 10 points (R/T/S) digital input
		FBS-40EA□◇	24 points 24VDC digital input, 16 points (R/T/S) digital output
		FBS-60EA□◇	36 points 24VDCdigital input, 24 points (R/T/S) digital output
	High-Density Digital Expansion Module	FBS-24EX	24 points high-density 24VDC digital input, 30-Pin Header with latch
		FBS-24EYT	24 points high-density transistor Sink type digital output (0.1A max.), 30-Pin Header with latch

ANEXO 11: Características de selección de los actuadores lineales
Fuente: Catálogo de productos de Neumática Rotonda

DIMENSIONING - FORCE AND TORQUE							
Bore Ø	Centre Distance Y	Actual Force F at 6 bar [N]	Cushioning stroke [mm]	Max. load L [N]	Ma max [Nm]	Mr max [Nm]	Mv max [Nm]
25	14	200	21	350	22	5	22
32	18	300	26	400	40	10	40
40	22	490	32	700	70	26	70
63	44	1300	40	1800	250	80	250

N.B.:The loads can be applied for speeds below 0.2 m/s. For higher speeds, it is advisable not to exceed 1 m/s.

NB: When the cylinder is subjected simultaneously to torque and force, it is advisable to keep to the following equations.

$$Ma = F \times ha \quad Mr = L \times hv + G \times hr \quad Mv = F \times hv$$

$$\frac{Mv}{Mv_{max}} \leq 1; \quad \frac{L}{L_{max}} \leq 1; \quad \frac{Ma}{Ma_{max}} + \frac{Mr}{Mr_{max}} + 0.22 \times \frac{Mv}{Mv_{max}} + 0.4 \frac{L}{L_{max}} \leq 1$$

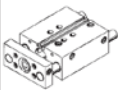
ANEXO 12: Datos técnicos generales de los actuadores lineales

Fuente: Catálogo de productos de Festo

TECHNICAL DATA			NBR	FKM/FPM
Operating pressure		bar	1.5 ÷ 8	
		MPa	0.15 ÷ 0.8	
		psi	21.8 ÷ 116	
Temperature range		°C	-15 ÷ 80	
		°F	- 5 ÷ 176	
Fluid			50µm unlubricated filtered air Lubrication, if used, must be continuous.	
Bores		mm	Ø 25, 32, 40 and 63	
Type of construction			Double-acting rodless cylinder with direct transmission system	
Strokes			for Ø 25, 32 and 40 :100 to 5700 mm with 1mm interval	
			for Ø 63 :100 to 5500 mm with 1mm interval	
Recommended speeds			V<1 m/s (NBR)	V>1 m/s (FKM/FPM)
Max. speed with decelerators			< 1 m/s (NBR)	2 m/s (FKM/FPM)
Weight	stroke = 0	g	øø25 = 953; ø32 = 2150 ; ø40 = 3210 ; ø63 = 9230	
	each mm	g	ø25 = 1.98 ; ø32 = 3.21 ; ø40 = 4.67 ; ø63 = 9.27	

ANEXO 13: Características de selección de actuadores guiados

Fuente: Catálogo de productos de Festo

Función	Ejecución	Tipo	Diámetro del émbolo [mm]	Carrera [mm]	Carrera variable [mm]
Doble efecto	Tipo básico DFM con guía de rodamientos				
		DFM Vástago simple	12, 16	10, 20, 25, 30, 40, 50, 80, 100	–
			20, 25	20, 25, 30, 40, 50, 80, 100	–
			32	20, 25, 30, 40, 50, 80, 100, 125, 160, 200	–
			40, 50, 63, 80, 100	25, 50, 80, 100, 125, 160, 200	–

ANEXO 14: Hoja de datos del actuador guiado de vástago simple

Fuente: Catálogo de productos de Festo

Caract.	Valor
distancia del centro de gravedad entre la carga útil y la placa	50 mm
Carrera	100 mm
Diámetro del émbolo	40 mm
Tipo de accionamiento del actuador	Yunque
Amortiguación	anillos elásticos / Placas elásticas en ambos lados (P)
Posición de montaje	indistinto
Guía	guía con rodamiento de bolas
Construcción	Guía
Detección de la posición	con detector de proximidad
Variantes	vástago simple
Presión de funcionamiento	1,5 - 10 bar
Velocidad máxima	0,8 m/s
Forma de funcionamiento	De efecto doble
Fluido	Aire seco, lubricado o sin lubricado
Clase de resistencia a la corrosión KBK	1
Temperatura ambiente	-5 - 60 °C
Energía del impacto en las posiciones finales	0,52 Nm
momento Mx máximo	5,6 Nm
carga útil máx. con distancia definida	128 N
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	686 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	754 N
Masa móvil	1.361 g

ANEXO 15: Datos técnicos generales de los actuadores guiados

Fuente: Catálogo de productos de Festo

Función

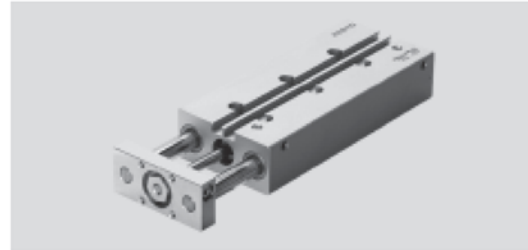


-  Diámetro
12 ... 100 mm
-  Carrera
10 ... 200 mm



www.festo.com/es/

Repuestos



Datos técnicos generales										
Diámetro del émbolo	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Conexión neumática	M5	M5	M5	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{8}$	G $\frac{1}{4}$	G $\frac{1}{4}$	G $\frac{3}{8}$	G $\frac{3}{8}$
Fluido	Aire comprimido filtrado, con o sin lubricación									
Presión de funcionamiento [bar]	2 ... 10		1,5 ... 10				1 ... 10		0,5 ... 10	
Construcción	Émbolo									
	Vástago									
	Barras de guía con yugo									
Amortiguación	Anillos y discos elásticos en ambos lados									
Detección de posiciones	Para detectores de proximidad									
Tipo de fijación	Mediante taladros									
	Con rosca interior									
Posición de montaje	Indistinta									
Antigiro/Guía	Barra de guía con estribo; guía de deslizamiento o de rodamiento de bolas									

¡ Importante: Este producto cumple con los estándares ISO 1179-1 e ISO 228-1.

Condiciones del entorno		
Variante	Guía de deslizamiento GF	Guía de rodamiento de bolas KF
Temperatura ambiente ¹⁾ [°C]	-20 ... +80	-5 ... +60
Clase de resistencia a la corrosión ²⁾	2	-

1) Tener en cuenta las condiciones de funcionamiento de los detectores

2) Clase de resistencia a la corrosión 1 según norma de Festo 940 070

Válida para piezas expuestas a peligro de corrosión. Protección para transporte y almacenamiento. Piezas con superficies sin fines decorativos, por ejemplo, por encontrarse en el interior o detrás de tapas o recubrimientos

Clase de resistencia a la corrosión 2 según norma de Festo 940 070

Válida para piezas expuestas a gran peligro de corrosión. Piezas exteriores en contacto directo con sustancias usuales en entornos industriales, tales como disolventes, detergentes o lubricantes, con superficies principalmente decorativas

Velocidades [m/s]										
Diámetro del émbolo	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Amortiguación P										
Velocidad máxima en avance	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,4	0,4
Velocidad máxima en retroceso	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,4	0,4

Fuerzas [N]										
Diámetro del émbolo	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Fuerza teórica con 6 bar, Avance	68	121	188	295	482	754	1 178	1 870	3 016	4 712
Fuerza teórica con 6 bar, Retroceso	51	90	141	247	415	686	1 057	1 750	2 827	4 418

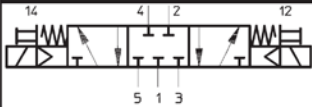
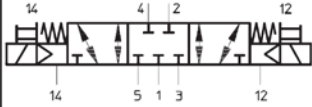
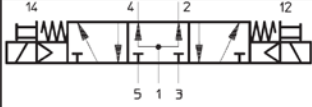
ANEXO 16: Características de selección de electroválvulas

Fuente: Catálogo de productos de Festo

Función	Ejecución	Tipo	Tamaño ISO	Caudal nominal [l/min]	Utilización neumática en la placa base	Tensión de funcionamiento	
						[V DC]	[V AC]
Válvulas de 5/3 vías		MN1H-5/3...	1	1 200	G $\frac{1}{4}$	24	110, 230
			2	2 300	G $\frac{3}{8}$		
			3	4 100	G $\frac{1}{2}$		
		MFH-5/3...	1	1 200	G $\frac{1}{4}$	12, 24, 42	24, 42, 48, 110, 230, 240
			2	2 300	G $\frac{3}{8}$		
			3	4 100	G $\frac{1}{2}$		
		MDH-5/3...	4	6 000	G $\frac{3}{4}$	24	110, 230

ANEXO 17: Hoja de datos de electroválvulas 5/3vías

Fuente: Catálogo de productos de Festo

Referencias				
Esquema de conexiones	Descripción	Tamaño ISO	Nº de artículo	Tipo
	Sin bobina N1 ¹⁾ Centro cerrado Alimentación interna del aire de pilotaje	1	159 681	MN1H-5/3G-D-1-C
			184 658	MN1H-5/3G-D-1-C-CT ²⁾
		2	159 693	MN1H-5/3G-D-2-C
			184 660	MN1H-5/3G-D-2-C-CT ²⁾
		3	159 705	MN1H-5/3G-D-3-C
			184 662	MN1H-5/3G-D-3-C-CT ²⁾
	Sin bobina N1 ¹⁾ Centro cerrado Alimentación externa del aire de pilotaje	1	159 680	MN1H-5/3G-D-1-S-C
		2	159 692	MN1H-5/3G-D-2-S-C
		3	159 704	MN1H-5/3G-D-3-S-C
	Sin bobina N1 ¹⁾ Centro a descarga Alimentación interna del aire de pilotaje	1	159 683	MN1H-5/3E-D-1-C
			184 652	MN1H-5/3E-D-1-C-CT ²⁾
		2	159 695	MN1H-5/3E-D-2-C
			184 654	MN1H-5/3E-D-2-C-CT ²⁾
		3	159 707	MN1H-5/3E-D-3-C
	Sin bobina N1 ¹⁾ Centro a descarga Alimentación externa del aire de pilotaje	1	159 682	MN1H-5/3E-D-1-S-C
		2	159 694	MN1H-5/3E-D-2-S-C
		3	159 706	MN1H-5/3E-D-3-S-C
	Sin bobina N1 ¹⁾ Centro a presión Alimentación interna del aire de pilotaje	1	159 685	MN1H-5/3B-D-1-C
			184 646	MN1H-5/3B-D-1-C-CT ²⁾
		2	159 697	MN1H-5/3B-D-2-C
			184 648	MN1H-5/3B-D-2-C-CT ²⁾
		3	159 709	MN1H-5/3B-D-3-C
			184 650	MN1H-5/3B-D-3-C-CT ²⁾

**ANEXO 18: Cotización de los actuadores y electroválvulas
de la compañía NEUMÁTICA ROTONDA**



**NEUMÁTICA
ROTONDA C.A.**

RIF: J - 30521389-5

www.neumaticarotonda.com
ventas@neumaticarotonda.com



Cliente: 1000410	UNIVERSIDAD DE CARABOBO	Cotización: 1014158
R.I.F.: G-20000041-4	N.I.T.: 0071412628	Página: 1/1
Dirección: AV. BOLIVAR NORTE SECTOR AV. PRICIPAL		Fecha Emisión: 10/04/2008
RECTORADO No.159-39		Validez de la Oferta: 7 DIAS
Teléfonos: 8663450	FAX:	Condic. Pago: CONTADO
Transporte: EL NUESTRO		Atención a:
Dir. Ent.:		ING LUIS ALVAREZ
Origen: 0		Vendedor: MOSTRADOR

Moneda: BS

Reng	Código	Modelo	Descripción	Cantidad	Unid.	Precio Unitario	% Desc.	Neto
1	2700403000CN	270	CILINDRO SIN VASTAGO 40 X 3000 ENTREGA EN 40 DIAS	4.00	PZ	6,752.05		27,008.20
2	W1430403100	40X100	CIL DOBLE EFECTO COMPACTO GUIADO CON BOLA DE JAULA ENTREGA EN 40 DIAS	8.00	PZ	2,745.60		21,964.80
3	7020022100	SOV 36 SOS CC	70 ELECTROVALVULA 5/3 1/4" CENTRO CERRADO ENTREGA EN 40 DIAS	12.00	PZ	689.02		8,268.24

FAX:	Sub-Total:	57,241.24
Precios Calculados a un Cambio de: 2150 BS/USD\$	% Desc.:	0.00
	Recargo:	0.00
	I.V.A.:	9.00 % 5,151.71
	Otros:	0.00
	TOTAL:	62,392.95

AL COLOCAR SU ORDEN DE COMPRA ESTA PUEDE SER EMITIDA EN US\$ O BS INDICANDO LA TASA DE CAMBIO VIGENTE EN EL BCV A LA FECHA Y QUE EL PAGO EN BOLIVARES SE REALIZARA A LA TASA DE CAMBIO VIGENTE EN EL BCV PARA LA FECHA DE CANCELACION DE LA FACTURA.

OFICINA PRINCIPAL VALENCIA

Prolongación Av. Michelena, Centro Comercial Atlas, Local 8-10 y
8-11 Valencia, Edo. Carabobo, Venezuela. Telfs: (58-241) 832.64.64
832.32.50 / 814.22.02, Fax: (58-241) 832.62.83

SUCURSAL CARACAS

Calle Póez con calle Bolívar, Edif. Borges, Local 2, Chacao
Edo. Miranda, Venezuela, Telf: (0212) 263.43.83
Fax: (0212) 265.40.18 Celular: (0414) 138.69.90

SUCURSAL ARAGUA

C.C. Paseo los Laureles, Planta Alta, Local 82
La Encrucijada, Cagua, Edo. Aragua, Venezuela.
Telfs: (0244) 395.90.58





RESUMEN

La premisa de este trabajo se basa en la problemática que en la actualidad presenta el proceso de producción de la empresa ALCAVE C.A., específicamente la máquina Buncher 1600 del área de cableado, la cual está generando tiempos muertos elevados como consecuencia de fallas en el suministro del alambre para el devanado y por ende ocasionando *cuellos de botella* en el proceso como un todo.

El estudio comenzó con un análisis exhaustivo de las causas y consecuencias que pueden generar la existencia de tiempos muertos, así como también de las condiciones actuales de funcionamiento de la línea de cableado. Se determinó que el devanado del alambre se lleva a cabo a través de cestas de alimentación que deben ser trasladadas por el montacargas desde la zona de trefilación, generando retrasos durante cada cambio de proceso.

Se procedió a buscar alternativas que pudieran solventar la situación, hasta encontrar que la mejor solución era diseñar un dispositivo de alimentación continua que permitiera la continuidad del proceso de cableado cada vez que las cestas contenedoras del alambre se vaciaran. Dicho mecanismo se basó en transportadores de rodillos a gravedad, sobre los cuales se deslizan las cestas de alimentación con la ayuda de una barra de empuje sostenida por dos actuadores lineales sin vástago, que a su vez son elevados por 4 cilindros guiados. El sistema de control se basó en lógica programa o PLC.

El proyecto resultó económicamente rentable porque pudo demostrarse que la inversión puede ser recuperada en un período menor a dos años, generando de igual forma un aumento en la producción de cable conductor de aluminio.

ÍNDICE GENERAL

TÓPICO	PÁGINA
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	11
1.1 Planteamiento del Problema	11
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivo General	14
1.2.2. Objetivos Específicos	14
1.3. Justificación de la Investigación	15
1.4. Limitaciones	15
1.5. Delimitaciones	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes de la Investigación	17
2.2. Bases Teóricas	19
2.2.1. Descripción del proceso de elaboración de cables en ALCAVE	19
2.2.2. Descripción del proceso de cableado en la máquina Buncher 1600	23
2.2.3. Conductores de aluminio. Definición e importancia	25
2.3. Transportadores de rodillos	29
2.3.1. Componentes de un Transportador de Rodillos	31
2.3.2. Tipos de Transportadores de Rodillos	32
2.3.3. Ancho del transportador y separación entre rodillos	33
2.3.4. Tipos de rodillos transportadores	33
2.3.5. Capacidad de carga de los rodillos transportadores	34
2.4. Fundamentos básicos de Electroneumática	35
2.4.1. Dispositivos eléctricos más comunes usados en Electroneumática	36
2.4.2. Electrohidráulica	39
2.4.3. Programmable logic controller (PLC)	40
2.5. Definición de términos básicos	43

TÓPICO (Continuación)	PÁGINA
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	48
3.1. Nivel de la Investigación	48
3.2. Diseño de la Investigación	48
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	50
4.1. Condiciones operacionales actuales del devanado en el proceso de cableado de la máquina Buncher 1600	50
4.2. Descripción y funcionamiento del sistema diseñado	58
4.3. Diseño del transportador de rodillos	63
4.3.1. Estudio de posibles cargas actuantes	63
4.3.2. Cálculo del diámetro de los rodillos	67
4.3.3. Selección de la viga de soporte de los rodillos	71
4.4. Diseño de la barra de empuje	72
4.4.1. Cálculo de la Fuerza de empuje	
4.4.2. Estudio de las cargas. Diseño a corte y flexión de la barra	77
4.5. Selección del actuador lineal sin vástago	79
4.6. Selección del actuador guiado (sube y baja)	85
4.7. Selección de electroválvulas	91
4.8. Diseño del sistema de control	95
4.8.1. Memoria descriptiva	95
4.9. Estudio de factibilidad económica	107
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	114
BIBLIOGRAFÍA	116
APÉNDICES	120
ANEXOS	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Nº	FIGURA	PÁGINA
1.1	Diagrama del Proceso de Producción de Alcave C.A	12
1.2	Imagen de la máquina cableadora Buncher 1600	12
1.3	Cestas de Alimentación contenedoras de alambre	13
1.4	Transporte de las cestas a través de montacargas	13
2.1	Lingotes de aluminio dispuestos para ser fundidos en los hornos	19
2.2	Horno de fundición de 32TM de la línea FENN	20
2.3	Rollos de alambrón al salir de los recogedores	21
2.4	Momento en el que la máquina de trefilado llena una cesta de alimentación con alambre	22
2.5	Cable conductor de aluminio terminado	22
2.6	Esquema de la Máquina Cableadora Buncher 1600	23
2.7	Sección Transversal de diversos tipos de conductores de aluminio	24
2.8	Plato Guía o de formación	24
2.9	Foto de la Máquina Cableadora Tipo Buncher 1600	25
2.10	Cable Conductor de Aluminio	26
2.11	Sección transversal de cables conductores de aleación de aluminio (AAC)	27
2.12	Sección transversal de cables conductores ACSR	28
2.13	Estructura Interna de un Rodillo Transportador con sus partes	30
2.14	Rodillos Transportadores	31
2.15	Transportadores de Rodillos	31
2.16	Rodillos Transportadores con tubo de acero con detalle de la estructura interna	33
2.17	Diversos tipos de pulsadores electrónicos	36
2.18	Representación simbólica de un relevador	37
2.19	Funcionamiento de un relé o relevador	38
2.20	Distintos tipos de válvulas electroneumáticas	39
3.1	Diagrama de etapas para la elaboración del proyecto	49
4.1	Layout de ALCAVE (sede Conal)	51
4.2	Gráfico de tiempo muerto vs. día del mes para el 1er. turno de trabajo	53

Nº	FIGURA (Continuación)	PÁGINA
4.3	Gráfico de tiempo muerto vs. día del mes para el 2do. turno de trabajo	54
4.4	Gráfico de tiempo muerto vs. día del mes para el 3er. turno de trabajo	54
4.5	Gráfico de Operatividad de la máquina vs. Parada por concepto de demoras en el devanado	55
4.6	Vista general del sistema diseñado con sus partes	57
4.7	Ubicación de la última cesta de alimentación llena en la zona de carga por medio del montacargas	58
4.8	Ubicación de las cestas de alimentación al final de la zona de carga	59
4.9	Ubicación de las cestas de alimentación en la zona de devanado	60
4.10	Ubicación de las cestas de alimentación en la zona de despacho	61
4.11	Representación gráfica del criterio de Von Mises	65
4.12	Diagrama de corte y momento para un rodillo transportador estudiado para su condición más crítica	67
4.13	Disposiciones constructivas de vigas UPL a nivel del suelo	70
4.14	Diagrama de cuerpo libre de una cesta de alimentación llena	72
4.15	Gráfico de fuerza de roce en función de la Fuerza de Empuje	73
4.16	Representación gráfica de la fuerza de empuje total	75
4.17	Dimensiones de la sección transversal de la barra de empuje	76
4.18	Diagrama de corte y momento para la barra de empuje	77
4.19	Representación gráfica de las placas de sujeción de la barra de empuje	79
4.20	Diagrama de cuerpo libre de la placa de sujeción de la barra de empuje	79
4.21	Ubicación de cargas en un actuador lineal sin vástago	82
4.22	Imagen del actuador lineal sin vástago	84
4.23	Ubicación de la barra de empuje y el carro móvil justo encima del cilindro guiado	85
4.24	Diagrama de cuerpo libre del actuador guiado	86
4.25	Funcionalidad del actuador guiado de vástago simple	88
4.26	Imagen del cilindro guiado de vástago simple con guía de rodamientos	88
4.27	Imagen de la electroválvula de 5/3vías	91
4.28	Ubicación de los actuadores y los Sistema de empuje 1 y 2	94
4.29	Diagrama electroneumático de actuadores y electroválvulas	101

Nº	FIGURA (Continuación)	PÁGINA
4.30	Diagrama de conexiones eléctricas del sistema diseñado	102
4.31	Diagrama de funcionamiento del sistema diseñado	103
4.32	Programación en escalera del sistema diseñado	104
4.33	Flujos monetarios para una escala de tiempo de 2 años (condiciones actuales)	112
4.34	Flujos monetarios para una escala de tiempo de 2 años (condiciones con el rediseño)	113

ÍNDICE DE TABLAS

Nº	TABLA	PÁGINA
4.1	Valores de tiempo muerto por día del mes durante los 3 turnos de trabajo	52
4.2	Características mecánicas generales del acero al carbono 1040	66
4.3	Características de los rodillos transportadores seleccionados	69
4.4	Propiedades estandarizadas de perfiles UPL	71
4.5	Denominación de elementos del sistema de control	97
4.6	Costo de equipos y materiales a utilizar en el sistema diseñado	108
4.7	Parámetros de evaluación	109
4.8	Valor agregado del costo del conductor por etapa de producción de la empresa	111

APÉNDICES

Nº	TABLA	PÁGINA
A-1	Datos de tiempo muerto en la máquina Buncher 1600 para los tres turnos de trabajo durante la semana del 01 al 06 de octubre de 2007	121
A-2	Datos de tiempo muerto en la máquina Buncher 1600 para los tres turnos de trabajo durante la semana del 08 al 13 de octubre de 2007	123
A-3	Datos de tiempo muerto en la máquina Buncher 1600 para los tres turnos de trabajo durante la semana del 15 al 20 de octubre de 2007	125
A-4	Datos de tiempo muerto en la máquina Buncher 1600 para los tres turnos de trabajo durante la semana del 15 al 20 de octubre de 2007	127
A-5	Propiedades mecánicas típicas de los aceros al carbono	129
A-6	Manual de estructuras de acero, Perfiles UPL	130
A-7	Coefficiente de fricción en rodillos	134
A-8	Factor de seguridad en materiales dúctiles	135
A-9	Propiedades mínimas a la tensión del metal soldante para soldadura de arco	136
A-10	Posible solución planteada como respuesta al problema planteado	137

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

En Phelps Dodge (Alcave C.A.), empresa dedicada a la elaboración de conductores de aluminio a partir de materia prima como alambrón de cobre, de aluminio y compuesto de plástico, se pueden fabricar diversidad de alambres, cables eléctricos y para telecomunicaciones. Los productos más fabricados son el alambre de construcción y esmaltado, cables de potencia y de alto voltaje, cable telefónico y automotriz, y otros como alambre de cobre desnudo y enchapado, y conductores de alta resistencia en aleación de cobre.

El proceso de fabricación, consiste inicialmente en calentar los lingotes de aluminio a una temperatura promedio de 700°C. Al fundirse, el aluminio es solidificado nuevamente y se le da forma de barra de perfil rectangular, para luego pasar a través de un proceso inicial de laminado, donde se producen largas hileras de alambre grueso, de perfil circular, denominado alambrón. Luego, el alambrón se trefila, removiendo el exceso de material y dando como resultado diversos tipos de alambre, de diámetros menores que el alambrón. Al final de esta etapa, el material es embobinado y dispuesto para ser cableado, que no es más que un proceso de torsión que permite unir varias hileras de alambre para formar lo que se conoce como conductor. En este proceso existen dos opciones: vender el conductor terminado a la industria eléctrica para ser usado como cables de alta tensión, o completar el proceso a través de una extrusión, proceso en el cual el conductor es aislado con plástico, y así venderlo como cables de alta y baja tensión subterráneos y marítimos. El diagrama del proceso de fabricación del conductor se muestra en la figura N° 1.

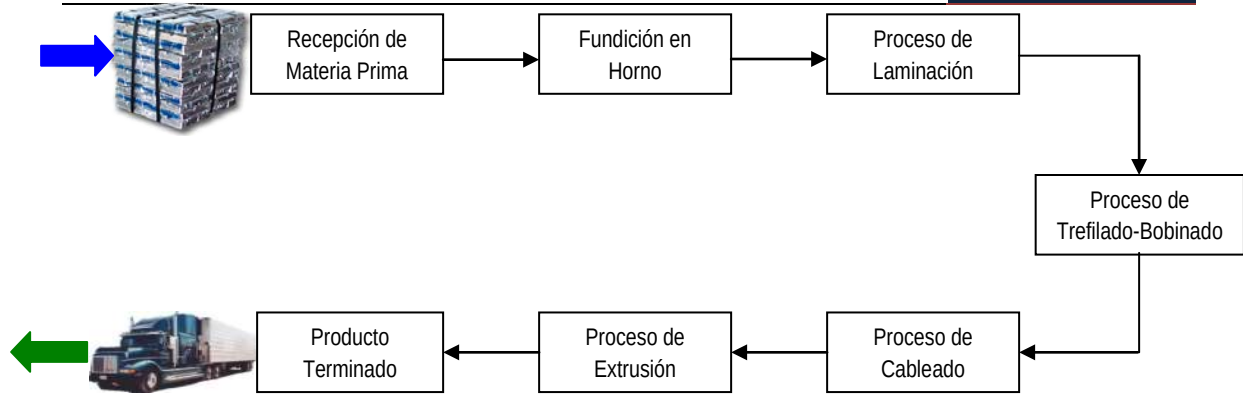


FIGURA N°1.1: Diagrama del Proceso de Producción de Alcave C.A.
(Fuente: L. Alvarez, 2007)

Así que en Alcave el proceso de cableado se realiza en tres (3) Máquinas, llamadas cableadoras tipo Buncher: dos de ellas son denominadas 1250 y una denominada 1600, donde se enfoca este estudio (Ver Figura N°2). Cada máquina cableadora consta de dos partes: el sistema de suministro de alambre (compuesto por cestas y bobinas de alambre para el devanado, el sistema tensor y las hileras), y un sistema de torsión denominado “CDT” que permite la unión de las hileras de alambre, para así formar el conductor dándole su forma característica, y finalmente disponerlo en carretes para su despacho comercial.



FIGURA N°1.2: Imagen de la máquina cableadora Buncher 1600.
Fuente: Instructivo de operación de la máquina cableadora Buncher 1600 (Alcave C.A.)

El alambre a ser cableado, se coloca en cestas (Figura N°3) que deben ser transportadas por montacargas (Figura N°4) desde su ubicación inicial hasta su colocación en la máquina. En el proceso de cableado se requiere en ocasiones de hasta 18 cestas de alambre, siendo necesario transportar una por una, lo que genera grandes retrasos en el momento de sustituir cestas vacías por cestas llenas. En la actualidad dicha acción genera las siguientes consecuencias:

- ➔ Tiempo muerto elevado de aproximadamente una hora durante el cambio de proceso.
- ➔ Interrupción del proceso de fabricación del conductor de aluminio.
- ➔ Demoras en el proceso de producción.



FIGURA N°1.3: Cestas de Alimentación contenedoras de alambre.
(Fuente: L. Alvarez, 2007)

En un proceso de producción donde las etapas dependen unas de las otras, lo anterior se presenta como una situación crítica que requiere ser solucionada.



FIGURA N°1.4: Transporte de las Cestas a través de Montacargas.
(Fuente: L. Alvarez, 2007)

Plantear un rediseño del mecanismo de suministro de alambre a través de cestas de alimentación, que elimine la intervención del montacargas al momento del cambio de proceso de cestas vacías por cestas llenas, permitiría disminuir al máximo el tiempo muerto y por ende aumentar la producción del conductor de aluminio.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Rediseñar el sistema de suministro de alambres para el devanado en una máquina cableadora de conductores de aluminio.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características operacionales del sistema actual de suministro de alambre para el devanado del proceso de cableado.
- Realizar el diseño mecánico del sistema de suministro de alambre para el devanado de la máquina cableadora.
- Realizar el diseño del sistema de control requerido para que el suministro de alambre para el devanado se haga de manera semi-automática.
- Determinar la factibilidad económica del diseño planteado.

1.3. Justificación de la Investigación

En la actualidad el proceso de cableado en Alcave presenta deficiencias que generan consecuencias negativas de tipo económico y técnico. Es una etapa del proceso de producción que se caracteriza por ser muy manual, que por el hecho de tener físicamente muy involucrados a los operarios, necesariamente ocasiona retrasos en la producción y continuo deterioro de la maquinaria. Esta investigación contribuirá a la disminución de los tiempos muertos que se generan a consecuencia de que el proceso de devanado se realiza a través de cestas de alimentación, que tienen que ser transportadas individualmente a través de un montacargas; permitirá aumentar la producción, ya que agiliza el cambio de proceso de cestas vacías a cestas llenas; ayudará a eliminar los retrasos en la entrega del producto final a los clientes; mejorará las condiciones de trabajo de los operadores, disminuyendo esfuerzos físicos innecesarios y por último contribuirá a la continuidad del proceso de producción, evitando cuellos de botella y paradas de maquinaria.

1.4. Limitaciones

- ⊗ La información disponible referente al proceso y maquinaria está sujeta a políticas de confidencialidad de la empresa, por lo que el acceso a las fuentes es limitado.
- ⊗ El acceso a la planta está permitido durante un período máximo de cuatro meses, por lo que el tiempo dispuesto para el desarrollo de la investigación es limitado, utilizando aproximadamente de 18 a 24 horas semanales.
- ⊗ La máquina cableadora tipo Buncher 1600 utiliza dos procesos diferentes para el devanado del alambre: cuando el suministro se realiza a través de bobinas no se utilizan cestas de alimentación, y viceversa. El rediseño debe permitir la alternabilidad y utilización de ambos procesos.
- ⊗ El espacio físico dispuesto para la elaboración del diseño es limitado.

1.5. Delimitaciones

- ⊖ El análisis y desarrollo de la investigación se ubicará solamente en el sistema de suministro de alambre para el devanado de la máquina cableadora Buncher 1600, propiedad de Phelps Dodge de Venezuela, sede Conal.
- ⊖ El estudio estará basado únicamente en el sistema de suministro de alambre para el devanado que se realiza a través de cestas de alimentación.
- ⊖ El trabajo contempla el diseño del sistema más no su implementación.

CONCLUSIONES

El sistema diseñado permite la disminución de los tiempos muertos que se generan en la máquina cableadora Buncher 1600, como consecuencia de fallas en el suministro de alambre para el devanado, de un 9,37% a menos de un 5% del tiempo total de operatividad de la maquinaria, disminuyendo de esta forma las pérdidas económicas que se generaban para la empresa.

El sistema diseñado para el devanado de las cestas contenedoras de alambre permite comenzar un nuevo proceso de cableado de forma continua una vez que las cestas estén vacías.

La implementación del mecanismo diseñado eliminaría los *cuellos de botella* del área de cableado, dando continuidad al proceso de producción de ALCAVE C.A.

El rediseño planteado para el devanado del alambre en la máquina Buncher 1600 elimina por completo la utilización del montacargas para el transporte y ubicación de las cestas de almacenamiento, contribuyendo a disminuir aún más los tiempos muertos presentes en la actualidad.

El sistema automatizado basado en PLC facilita el control y monitoreo permanente de cada uno de los elementos involucrados en el funcionamiento del dispositivo diseñado (actuadores y electroválvulas), permitiendo el cumplimiento a cabalidad de las instrucciones del operario.

El proyecto diseñado es rentable ya que los costos de inversión pueden recuperarse en un período menor a dos años, esto como consecuencia de que el implemento del nuevo sistema representa para la empresa un incremento en la producción de unos 115.019,16 BsF/año.

RECOMENDACIONES

Implementar el sistema diseñado en la sección de la máquina Buncher 1600 que se dispone para almacenar cestas de alimentación, con la finalidad de permitir la fabricación de cables conductores de mayor cantidad de hilos, es decir, lograr que la máquina pueda trabajar no sólo con un máximo de 12 cestas contenedoras de alambre sino con un total de hasta de 18 cestas.

Automatizar otras secciones de la máquina Buncher 1600 tales como: *el sistema tensor* de los alambres (que permita variar por medio de un controlador la tensión con que son estirados los alambres); *el portahileras* (que pueda verificarse el de forma automática el ángulo de inclinación con que ingresan los hilos) y *el plato de distribución* (que se pueda controlar automáticamente la velocidad de giro del mismo).

Elaborar un instructivo de operación actualizado de la máquina que incluya las condiciones de funcionamiento del sistema diseñado, así como los posibles riesgos físicos y ambientales que se producen con su utilización.

Capacitar al personal operativo de la máquina Buncher 1600 respecto al rediseño a implementarse, en pro de cumplir con la normativa de seguridad de ALCAVE y manteniendo vigente lo estipulado por la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT).

Diseñar un plan de mantenimiento actualizado de la maquinaria, que involucre el sistema diseñado y que se base en los fundamentos de confiabilidad.