



Diseño y construcción de una máquina automatizada para la fabricación de tubos de cartón para la industria papelera para la reducción de tiempos de producción

Casa Balcazar, Maria Belen y Mora Aguilar, Jorge Luis

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Arteaga López, Oscar Bladimir

29 de enero del 2021

Latacunga



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE TUBOS DE CARTÓN PARA LA INDUSTRIA PAPELERA PARA LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE PRODUCCIÓN**”, fue realizado por los señores **Casa Balcazar, Maria Belen y Mora Aguilar, Jorge Luis**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 29 de enero del 2021



.....
Ing. Arteaga López, Oscar Bladimir

C.C.: 1802379261

DIRECTOR

Urkund Analysis Result

Analysed Document: 1_Tesis_CASA -MORA.pdf (D95194918)
Submitted: 2/10/2021 5:18:00 PM
Submitted By: hcteran@espe.edu.ec
Significance: 6 %

Sources included in the report:

INFORME FINAL .pdf (D25803414)
 INFORME-FINAL-PROYECTO-MAQUINAS-DE-ELEVACION.docx (D62423242)
<https://www.quinterohurtado.com/post/qu%C3%A9-es-una-chumacera>
<https://neumaticabasicaepp.wordpress.com/44-2/receptores-neumaticos/cilindros-de-simple-y-doble-efecto/>
<http://www.hnsa.com.co/unidades-de-mantenimiento-fri/>
<http://www.aldakin.com/automatizacion-industrial-robotica-claves-exito/>
<https://www.antala.es/clasificacion-adhesivos-industriales/>
<https://clr.es/blog/es/tipos-de-rodamientos-accionamientos/>
<https://www.definicionabc.com/tecnologia/normas-din.php>
<https://www.distribomotor.es/2019/07/15/c%C3%B3mo-funciona-un-motor-trif%C3%A1sico/>
https://www.formazion.com/noticias_formacion/cuales-son-las-normas-iso-mas-importantes-org-5273.html
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>
<https://www.isotools.org/2015/03/19/que-son-las-normas-iso-y-cual-es-su-finalidad/>
<https://koyola.com.pa/pdf/automotriz/1.pdf>
<https://www.luisllamas.es/detectar-obstaculos-con-sensor-infrarrojo-y-arduino/>
<https://www.fabricantes-maquinaria-industrial.es/automatizacion-industrial-que-es/>
<https://ar.microautomacion.com/es/que-es-un-cilindro-neumatico/>
<http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/gl/component/content/article/502-monografico-lenguajes-de-programacion?start=2>
<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/motor-trifasico/>
<https://www.seas.es/blog/automatizacion/el-rele-para-que-es-para-que-sirve-y-que-tipos-existen/>
<https://www.normalizacion.gob.ec/resena-historica/>
<https://smc.com.mx/valvulas-de-control-direccional-linea-neumatica/>
<https://unicrom.com/contactor/>
<https://vestertraining.com/automatizacion-industrial-que-es-como-funciona/>
<https://docplayer.es/76801397-Departamento-de-ciencias-de-la-energia-y-mecanica-carrera-de-ingenieria-mecatronica.html>
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6898/1/T-ESPEL-MEC-0011.pdf>

Instances where selected sources appear:

52



 Ing. Arteaga López, Oscar Bladimir
 DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Casa Balcazar, Maria Belen y Mora Aguilar, Jorge Luis**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE TUBOS DE CARTÓN PARA LA INDUSTRIA PAPELERA PARA LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE PRODUCCIÓN”**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 29 de enero del 2021



.....
Casa Balcazar, Maria Belen

C.C.:0502882350



.....
Mora Aguilar, Jorge Luis

C.C.:1725244436



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Casa Balcazar, Maria Belen** y **Mora Aguilar, Jorge Luis**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA LA FABRICACIÓN DE TUBOS DE CARTÓN PARA LA INDUSTRIA PAPELERA PARA LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE PRODUCCIÓN”**, en el repositorio institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 29 de enero del 2021



.....
Casa Balcazar, Maria Belen

C.C.:0502882350



.....
Mora Aguilar, Jorge Luis

C.C.:1725244436

Dedicatoria

Dedico esta tesis a Dios, que pese a todas las dificultades que se han presentado ha sabido guiarme por el buen camino y lo seguirá haciendo.

A mis padres, Ibelia y Luis, que gracias a su amor y sacrificio han podido darme una educación de calidad.

A mis hermanos, que me han apoyado y ayudado en los momentos que más los he necesitado.

A mis compañeros, que gracias a su cariño y amistad sincera he podido cursar esta etapa de mi vida de manera satisfactoria.

Jorge Luis

Este trabajo lo dedico, a Dios y a mi familia que ha sido un pilar fundamental en el transcurso de este camino, quienes son mis padres, Margarita y Rafael que día con día me han brindado su amor y su apoyo para culminar con esta nueva meta.

A mis hermanos, Jonathan y Dayana que me han apoyado con su amor.

A mis amigos por estar en el trascurso de este camino con sus palabras de ánimo y el apoyo en la misma permitiendo que sea más especial.

Y a mi compañero de tesis por todo el apoyo incondicional.

Maria Belen

Agradecimiento

Quiero agradecer a mi familia, todo el amor y apoyo que me han brindado, que han hecho de mí una persona recta y de buenos valores

Un agradecimiento especial a mis tíos, Catalina y Oscar, que me han apoyado de manera fundamental para poder culminar mi proyecto de titulación.

Gracias a mi hermano, Santiago, por guiarme y ayudarme en toda la elaboración del proyecto.

Un agradecimiento especial a mi tutor Ing. Oscar Arteaga por ayudarme hacer posible esta tesis, por guiarme y forjarme como un profesional en esta etapa universitaria.

Gracias a todos mis amigos y compañeros, que han cursado conmigo esta etapa de mi vida, que me llevo no solo buenos recuerdos sino personas con las que se contare toda la vida.

Jorge Luis

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia por el apoyo que me han brindado en cada paso de mi vida por darme las herramientas para poder avanzar y levantarme en las situaciones que se me han presentado.

Un agradecimiento especial a mi compañero de tesis para la elaboración de este proyecto y a mi tutor el Ing. Oscar Arteaga por el apoyo y guía en el desarrollo de la tesis.

Gracias a todos mis amigos y compañeros, futuros colegas que he tenido la posibilidad de conocer por los momentos buenos y malos que hemos tenido en el transcurso de este camino.

Maria Belen

Índice de contenidos

Caratula	1
Certificación	2
Reporte Urkund.....	3
Autoría De Responsabilidad.....	4
Autorización	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenidos	8
Índice de figuras	16
Índice de tablas	22
Resumen	24
Abstract.....	25
Planteamiento del problema de investigación	26
Antecedentes	26
Planteamiento del problema	28
Justificación e importancia.....	29
Objetivos	30
<i>Objetivo general</i>	30
<i>Objetivos específicos</i>	31

Hipótesis.....	31
Marco Teórico	32
Máquinas convertidoras de tubos de cartón	32
<i>Módulo porta bobinas.....</i>	<i>32</i>
<i>Módulo engomador</i>	<i>33</i>
<i>Módulo entubador</i>	<i>33</i>
<i>Módulo cortador.....</i>	<i>34</i>
Automatización industrial	35
<i>Sistema automatizado modelo estructural.....</i>	<i>37</i>
Cartón.....	39
<i>Papel industrial.....</i>	<i>40</i>
Papel Kraft 1 ^a MG.	40
Papel Kraft 2 ^a	40
Adhesivos.....	41
<i>Clasificación de adhesivos por el número de componentes</i>	<i>41</i>
<i>Clasificación por las propiedades mecánicas de los adhesivos.....</i>	<i>42</i>
<i>industriales</i>	<i>42</i>
<i>Adhesivo de contacto.....</i>	<i>42</i>
Diseño de ejes	42
<i>Diseño estático de ejes.....</i>	<i>44</i>
<i>Diseño de ejes a fatiga.....</i>	<i>45</i>

	10
Rodamientos	46
<i>Tipos de rodamientos</i>	47
Rodamientos rígidos de bolas	47
<i>Ventajas y desventajas de los rodamientos</i>	48
<i>Vida útil de los rodamientos</i>	49
Chumacera.....	49
<i>Características</i>	50
<i>Tipos de chumaceras</i>	50
Cadenas de transmisión	50
<i>Transmisión de cadenas</i>	51
Diseño de transmisiones con cadenas.....	52
Bandas o correas de transmisión	54
<i>Transmisión de bandas</i>	55
<i>Diseño de transmisiones con bandas</i>	55
Motor trifásico.....	58
<i>Partes del motor</i>	58
PLC.....	59
<i>Funciones del PLC</i>	60
Variador de frecuencia.....	61
Contactores	62
<i>Clasificación de los Contactores</i>	62

	11
Relés	63
<i>Tipos de relé</i>	63
Cilindros neumáticos.....	63
<i>Cilindro de doble efecto</i>	64
Válvulas monoestables	66
Sensor infrarrojo.....	66
Módulo de acondicionamiento neumático	67
<i>Funcionamiento</i>	67
Normativas	68
<i>Normas ISO</i>	68
Norma ISO 12100.....	70
<i>Normas DIN</i>	72
<i>Normas INEN</i>	72
Diseño y selección de componentes	74
Evaluación de soluciones y diseño mecánico	74
Generalidades.....	74
Método de evaluación de soluciones	74
Casa de la calidad.....	81
Esquema del diseño de la máquina automatizada de tubos de cartón	81
<i>Módulo porta bobinas</i>	82

	12
<i>Módulo engomador</i>	<i>86</i>
<i>Módulo de la entubadora</i>	<i>87</i>
<i>Módulo de la cortadora</i>	<i>91</i>
Diseño de módulo porta bobinas	95
<i>Análisis de fuerzas del porta bobinas</i>	<i>96</i>
<i>Análisis estructural de módulo porta bobinas.....</i>	<i>96</i>
Diseño estructural de la máquina entubadora.....	99
<i>Análisis de Fuerzas del módulo entubador.....</i>	<i>99</i>
<i>Análisis estructural de la máquina entubadora.....</i>	<i>100</i>
<i>Análisis estructural del eje base del módulo de la entubadora</i>	<i>102</i>
Diseño del módulo cortador	106
<i>Análisis de fuerzas de la cortadora.....</i>	<i>106</i>
<i>Análisis estructural de la cortadora.....</i>	<i>107</i>
<i>Análisis estructural del eje inferior</i>	<i>109</i>
<i>Análisis estructural del eje de la cortadora</i>	<i>112</i>
Diseño de componentes del sistema de transmisión de la máquina.....	118
<i>A. Selección del motor</i>	<i>118</i>
<i>B. Diseño de bandas de transmisión del módulo de la entubadora.....</i>	<i>127</i>
<i>C. Diseño de bandas de transmisión del módulo de la cortadora</i>	<i>131</i>
<i>D. Diseño de eje AD del sistema de transmisión del módulo de la</i>	
<i>entubadora</i>	<i>139</i>

<i>E. Diseño de eje AB del sistema de transmisión del módulo de la</i>	
<i>entubadora.</i>	145
<i>F. Diseño de transmisión de la cadena del módulo de la entubadora</i>	149
<i>G. Selección de rodamientos del módulo de la entubadora</i>	153
<i>F. Selección de rodamientos del módulo de la cortadora</i>	157
Diseño eléctrico.....	160
<i>Diagrama eléctrico de potencia</i>	160
<i>Diagrama eléctrico de control</i>	162
<i>Circuito neumático</i>	163
<i>Diseño de los pistones</i>	165
Programación del PLC.....	166
Construcción, Montaje y Costos	172
Generalidades.....	172
Construcción de la máquina	172
<i>Máquinas, herramientas e instrumentos de medición</i>	172
<i>Materia prima</i>	173
<i>Elementos mecánicos y piezas a construir</i>	174
<i>Etapas de construcción</i>	180
<i>Diagrama de flujo de construcción</i>	183
Montaje.....	192
<i>Diagrama de flujo del montaje</i>	193

Análisis de costos	199
<i>Costos directos</i>	199
<i>Materiales directos</i>	199
<i>Elementos normalizados</i>	201
<i>Mano de obra directa</i>	202
<i>Costos indirectos</i>	203
<i>Materiales indirectos</i>	203
<i>Gastos adicionales</i>	204
<i>Costo total</i>	204
Análisis de resultados	207
Generalidades.....	207
Características de la empresa (UNIHOGAR).....	207
<i>Descripción de la máquina entubadora (UNIHOGAR)</i>	207
Descripción de la máquina entubadora automatizada (diseñada y construida). 210	
Descripción de la empresa INDUPAPEL.....	212
Cuadro comparativo máquina entubadora UNIHOGAR y máquina entubadora.....	
construida.....	213
Análisis de la hipótesis.....	217
Conclusiones y Recomendaciones	218
Conclusiones.....	218

Recomendaciones	220
Referencias Bibliográficas	222
Anexos	227
Anexo 1 Factores de servicios para impulsores de bandas V, K_s	
Anexo 2 Selección para bandas en V industriales.....	
Anexo 3 Potencia nominal básica y agregada por banda $3V$	
Anexo 4 Factor de corrección por longitud de banda CL	
Anexo 5 Factor de corrección por ángulo de la envolvente $C\theta$	
Anexo 6 Factor de servicio	
Anexo 7 Gráfica para la selección en primera iteración del tamaño de una cadena...	
Anexo 8 Especificaciones de potencia para cadena RS 50	
Anexo 9 Especificaciones de potencia para cadena RS 40	
Anexo 10 Especificaciones de potencia para cadena RS 35	
Anexo 11 Catálogo de Rodamientos de Bolas	
Anexo 12 Casa de la Calidad	

Índice de figuras

Figura 1 <i>Módulo porta bobinas</i>	32
Figura 2 <i>Módulo engomador por cascada</i>	33
Figura 3 <i>Módulo entubador</i>	34
Figura 4 <i>Módulo cortador</i>	35
Figura 5 <i>Automatización industrial</i>	36
Figura 6 <i>Modelo estructural de un sistema automatizado</i>	37
Figura 7 <i>Papel industrial</i>	40
Figura 8 <i>Adhesivos</i>	41
Figura 9 <i>Adhesivo de contacto</i>	42
Figura 10 <i>Diseño de ejes</i>	43
Figura 11 <i>Rodamiento</i>	46
Figura 12 <i>Chumacera</i>	49
Figura 13 <i>Cadena de transmisión</i>	51
Figura 14 <i>Banda o correa de transmisión</i>	54
Figura 15 <i>Motor trifásico</i>	58
Figura 16 <i>PLC</i>	60
Figura 17 <i>Variador de frecuencia</i>	61
Figura 18 <i>Contactador</i>	62
Figura 19 <i>Relé</i>	63
Figura 20 <i>Cilindros neumáticos</i>	64
Figura 21 <i>Cilindro doble efecto</i>	64
Figura 22 <i>Válvula 5/2</i>	66
Figura 23 <i>Sensor infrarrojo</i>	67
Figura 24 <i>Módulo neumático</i>	68
Figura 25 <i>Esquema máquina entubadora</i>	82

Figura 26 <i>Estructura del porta bobinas</i>	83
Figura 27 <i>Diseño compacto del porta bobinas</i>	84
Figura 28 <i>Bobinas de cartón</i>	84
Figura 29 <i>Máquina entubadora</i>	85
Figura 30 <i>Bandeja del engomado</i>	86
Figura 31 <i>Sistema del porta bobinas</i>	87
Figura 32 <i>Estructura base máquina entubadora</i>	88
Figura 33 <i>Partes de la estructura de la máquina</i>	88
Figura 34 <i>Sistema motriz de la engomadora</i>	89
Figura 35 <i>Ingreso del cartón a la máquina</i>	90
Figura 36 <i>Diseño final del módulo engomado</i>	91
Figura 37 <i>Mesa del módulo de la cortadora</i>	92
Figura 38 <i>Partes del módulo cortador</i>	93
Figura 39 <i>Partes de la ubicación de la cortadora</i>	93
Figura 40 <i>Sistema de cortado</i>	94
Figura 41 <i>Módulo final de la cortadora</i>	95
Figura 42 <i>Análisis del módulo porta bobinas</i>	95
Figura 43 <i>Análisis de fuerzas del porta bobinas</i>	96
Figura 44 <i>Soporte fijo y fuerzas del porta bobinas</i>	97
Figura 45 <i>Deformación total del porta bobinas</i>	97
Figura 46 <i>Esfuerzo equivalente del porta bobinas</i>	98
Figura 47 <i>Factor de seguridad del porta bobinas</i>	98
Figura 48 <i>Análisis del módulo de la entubadora</i>	99
Figura 49 <i>Análisis de fuerzas del módulo entubador</i>	100
Figura 50 <i>Soporte fijo y fuerza de la entubadora</i>	100
Figura 51 <i>Deformación total de la entubadora</i>	101

Figura 52 <i>Esfuerzo equivalente de la entubadora</i>	101
Figura 53 <i>Factor de seguridad del módulo de la entubadora</i>	102
Figura 54 <i>Análisis del eje base del módulo de la entubadora</i>	102
Figura 55 <i>Análisis de fuerzas del eje base</i>	103
Figura 56 <i>Diagrama de fuerzas del eje base</i>	103
Figura 57 <i>Diagrama de momentos flectores del eje base</i>	104
Figura 58 <i>Diagrama de torque del eje base</i>	104
Figura 59 <i>Análisis del módulo de la cortadora</i>	106
Figura 60 <i>Análisis de fuerzas de la cortadora</i>	107
Figura 61 <i>Soporte fijo y fuerza de la cortadora</i>	107
Figura 62 <i>Deformación total de la cortadora</i>	108
Figura 63 <i>Esfuerzo equivalente de la cortadora</i>	108
Figura 64 <i>Factor de seguridad del módulo de la cortadora</i>	109
Figura 65 <i>Análisis estructural del eje inferior</i>	109
Figura 66 <i>Análisis de fuerzas del tubo de soporte</i>	110
Figura 67 <i>Diagrama de fuerzas del eje soporte</i>	110
Figura 68 <i>Diagrama de momentos flectores del eje soporte</i>	111
Figura 69 <i>Análisis estructural del eje de la cortadora</i>	112
Figura 70 <i>Análisis de fuerzas del eje de la cortadora</i>	113
Figura 71 <i>Diagrama de fuerzas del eje soporte</i>	113
Figura 72 <i>Diagrama de momentos flectores del eje soporte</i>	114
Figura 73 <i>Análisis del eje de transmisión de la cortadora</i>	115
Figura 74 <i>Análisis de fuerzas del eje de transmisión de la cortadora</i>	116
Figura 75 <i>Diagrama de fuerzas cortantes del eje de transmisión de la cortadora</i>	117

Figura 76 Diagrama de momentos flectores del eje de transmisión de la cortadora.....	117
Figura 77 Diseño del diámetro del eje.....	120
Figura 78 Condiciones iniciales de la bobina de papel.....	122
Figura 79 Dirección del eje en el sistema	125
Figura 80 Banda de transmisión del módulo de la entubadora	127
Figura 81 Bandas calculadas del módulo de la entubadora.....	131
Figura 82 Banda de transmisión del módulo de la cortadora parte 1.....	131
Figura 83 Bandas calculadas del módulo de la cortadora parte 1.....	135
Figura 84 Banda de transmisión del módulo de la cortadora parte 2.....	135
Figura 85 Bandas calculadas del módulo de la cortadora parte 2.....	139
Figura 86 Cálculo del eje AD.....	139
Figura 87 Fuerzas que actúan en el eje AD.....	141
Figura 88 Diagramas de fuerzas y momentos del eje AD	141
Figura 89 Diagrama de fuerzas del plano xz	142
Figura 90 Diagramas de fuerzas y momentos del eje AD momentos críticos.....	143
Figura 91 Cálculo del eje AB.....	146
Figura 92 Fuerzas que actúan en el eje AB.....	146
Figura 93 Diagramas de fuerzas y momentos del eje AB.....	147
Figura 94 Transmisión de cadena	149
Figura 95 Ubicación de los datos para la selección del tipo de cadena.....	151
Figura 96 Selección del rodamiento para el eje AB.....	153
Figura 97 Selección del rodamiento para el eje CD.....	154
Figura 98 Selección del rodamiento cilindro	155
Figura 99 Chumacera de mesa módulo de la cortadora.....	157
Figura 100 Chumacera de pared módulo de la cortadora	158

Figura 101 <i>Diseño eléctrico de potencia</i>	160
Figura 102 <i>Diagrama eléctrico de control</i>	162
Figura 103 <i>PLC Siemens logo V8</i>	163
Figura 104 <i>Circuito neumático</i>	164
Figura 105 <i>Cilindro A</i>	164
Figura 106 <i>Análisis de fuerzas de los pistones</i>	165
Figura 107 <i>Siemens LOGO V8</i>	167
Figura 108 <i>Servidor Siemens logo V8 230Rc</i>	169
Figura 109 <i>Bloque de red de entrada analógica</i>	169
Figura 110 <i>Salida del PLC - amplificador lógico</i>	170
Figura 111 <i>Lectura amplificada del variador de frecuencia</i>	170
Figura 112 <i>Transporte de la materia prima para la estructura de la máquina</i>	181
Figura 113 <i>Trazo y corte de las planchas de soporte de la estructura de la entubadora</i>	182
Figura 114 <i>Soldadura de la estructura porta bobina</i>	182
Figura 115 <i>Estructura de la entubadora</i>	183
Figura 116 <i>Montaje del porta bobinas</i>	197
Figura 117 <i>Montaje de la entubadora</i>	197
Figura 118 <i>Montaje del tablero eléctrico</i>	198
Figura 119 <i>Montaje de la cortadora</i>	198
Figura 120 <i>Construcción del módulo porta bobinas</i>	205
Figura 121 <i>Construcción del módulo de la entubadora</i>	205
Figura 122 <i>Construcción del módulo de la cortadora</i>	206
Figura 123 <i>Módulos de la máquina entubadora UNIHOGAR</i>	208
Figura 124 <i>Representante UNIHOGAR</i>	210
Figura 125 <i>Módulo porta bobinas</i>	211

Figura 126 <i>Módulo entubador</i>	212
Figura 127 <i>Logo de la empresa INDUPAPEL</i>	213
Figura 128 <i>Comparación tiempos de producción UNIHOGAR – CONSTRUIDA</i>	215
Figura 129 <i>Producto final obtenido</i>	216

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Factor de cadenas múltiples</i>	53
Tabla 2 <i>Evaluación de los pesos específicos según los criterios</i>	76
Tabla 3 <i>Evaluación del criterio precio moderado</i>	77
Tabla 4 <i>Evaluación del criterio mantenimiento</i>	77
Tabla 5 <i>Evaluación del criterio regulación</i>	78
Tabla 6 <i>Evaluación del criterio engomadora</i>	78
Tabla 7 <i>Evaluación del criterio cortadora</i>	79
Tabla 8 <i>Evaluación del criterio velocidad</i>	79
Tabla 9 <i>Evaluación del criterio fácil operación</i>	80
Tabla 10 <i>Cálculo de las conclusiones</i>	80
Tabla 11 <i>Modelos y rangos de velocidades del motor</i>	119
Tabla 12 <i>Número de polos del motor</i>	121
Tabla 13 <i>Variador de frecuencia KINCO V20</i>	168
Tabla 14 <i>Listado de máquinas, herramientas e instrumentos de medición</i>	173
Tabla 15 <i>Materia prima para la construcción de la máquina</i>	173
Tabla 16 <i>Elementos y piezas a construir</i>	174
Tabla 17 <i>Simbología del diagrama de flujo</i>	183
Tabla 18 <i>Diagrama de flujo de construcción</i>	184
Tabla 19 <i>Diagrama de flujo del montaje</i>	193
Tabla 20 <i>Costos de materiales directos</i>	200
Tabla 21 <i>Costos de elementos normalizados</i>	201
Tabla 22 <i>Costos de mano de obra directa</i>	203
Tabla 23 <i>Costos de materiales indirectos</i>	203
Tabla 24 <i>Gastos adicionales</i>	204
Tabla 25 <i>Costo total de la máquina automatizada</i>	204

Tabla 26 <i>Datos característicos de la máquina entubadora empresa UNIHOGAR.....</i>	208
Tabla 27 <i>Datos característicos de la máquina entubadora CONSTRUIDA.....</i>	211
Tabla 28 <i>Demanda mensual de la empresa INDUPAPEL.....</i>	213
Tabla 29 <i>Tiempos de producción del canuto 3 in x 9,3cm.....</i>	214
Tabla 30 <i>Tiempos de producción del canuto 2 in x 20 cm.....</i>	214
Tabla 31 <i>Tiempos de producción del canuto 3 in x 22 cm.....</i>	215

Resumen

La automatización industrial ha progresado en los últimos años, debido a que la industria requiere de cierta información o supervisión de los procesos productivos permitiendo de esta manera el desarrollo de la misma. El presente proyecto expone el diseño y la construcción de una máquina enfocada en el desarrollo de tubos de cartón en espiral para papel higiénico con el fin de la optimización del proceso de fabricación de los mismos, ahorrando así para la empresa, los costos en el ciclo producción del mismo. Esta máquina se realizará a partir de un diseño propio que será pasado por diferentes pruebas de simulación, para proceder a la fabricación e implementación del mismo. Esta máquina se puede dividir en 4 etapas primordiales, que son: *i) Desbobinado*, entiéndase como desbobinado a la obtención de tiras de un rollo grande de cartón conocido como bobina, *ii) Engomado*, etapa en la cual parte de las tiras de cartón serán recubiertas de manera uniforme con un pegamento para su etapa posterior, *iii) Fabricación*, esta etapa es en la cual se realiza el espiralado de las tiras de cartón generando un tubo de múltiples capas que posteriormente será cortado, y por último, *iv) Control*, esta etapa es la encargada del manejo de los diferentes actuadores de la máquina.

Palabras Claves:

- **AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**
- **ENGOMADO**
- **ESPIRALADO**

Abstract

Industrial automation has progressed in recent years, due to the fact that the industry requires certain information or supervision of production processes, in this way its development. This project exposes the design and construction of a machine focused on the development of spiral cardboard tubes for toilet paper in order to optimize their manufacturing process, thus saving costs for the company in the cycle production of it. The design and construction of this tube machine is to improve the production of paper companies since there is a great demand for these basic products. Another important aspect is that the competitiveness of the company in the market will be increased, since a better response can be given to the needs of the market. This machine can be divided into 4 main stages, which are: *i) Unwinding*, understood to be unwinding, obtaining strips from a large roll of cardboard known as a coil, *ii) Gumming*, a stage in which part of the cardboard strips will be uniformly coated with a glue for its subsequent stage, *iii) Manufacturing*, this stage is in which the cardboard strips are spiraled generating a multi-layer tube that will later be cut, and finally, *iv) Control*, this stage is in charge of managing the different actuators of the machine.

Keywords:

- **INDUSTRIAL AUTOMATION**
- **GUMMED**
- **SPIRAL**

Planteamiento del problema de investigación

Antecedentes

Desde el principio de los tiempos el ser humano ha desarrollado técnicas para la utilización de fibras para diversos tipos de materiales que se han empleado en numerosas aplicaciones. Los egipcios implementaron procesos para realizar el papiro a partir de cañas extraídas del Río Nilo, posteriormente en Asia se inventó la manera de realizar el ahora conocido como pergamino a partir de la piel de la cabra y la ternera, generando así un tipo de papel más resistente. De la misma manera en los primeros siglos después de Cristo, se empezó a desarrollar el papel a partir la pulpa de trapos viejos disminuyendo significativamente la materia prima utilizada para la realización del mismo. Posteriormente, en España fue implementada la primera máquina para la fabricación de papel, por lo cual la industrialización de fibras como el papel y el cartón fue creciendo. en el siglo XIX Europa poseía el mayor terreno en el desarrollo de papel y cartón, como ejemplo se tiene a Inglaterra que poseía aproximadamente 300 máquinas dedicadas a la fabricación de cartón utilizado para el transporte y resguardo de mercancía, como consiguiente a esto pronto se tomaría esta iniciativa en otros países (Loaiza Rojas, 2003).

La primera empresa mayorista ecuatoriana enfocada en la fabricación de envases de cartón fue OMEGA, fundada en 1975 a partir de empresas más pequeñas como fueron FADESA Y CEDESA. CARTOPEL fundada en 1989, focalizada especialmente en la fabricación y comercialización de cartulinas y papeles, posteriormente a esto constituyeron la empresa Ondultec S.A. con el objetivo de la fabricación y comercialización de empaques de papel corrugado (Cartopel, 2016). En el

año de 1997 Corrupac S.A. una empresa enfocada en la comercialización del cartón corrugado fue absorbida de la misma manera por CARTOPEL S. A. Así como existen mayoristas que se han dedicado a la fabricación de cartón para diferentes aplicaciones, existen muchas microempresas que se han dedicado a la elaboración de insumos para las grandes empresas de papel, esto lo realizan a través de máquinas artesanales enfocadas en la espora lado de cartón multicapa para tubos.

En el Ecuador existe suficiente disponibilidad de materia prima y mano de obra para la fabricación de tubos de cartón, por lo tanto, el Ecuador no debería de importar ni un solo envase. (Loaiza Rojas, 2003). La elaboración de este tipo de máquinas es realizada en el país de manera artesanal, sin tomar en cuenta criterios que son necesarios para un óptimo funcionamiento de la misma, si no se sigue una normativa se corre el riesgo de que existan pérdidas en la materia prima generando así pérdidas a nivel financiero pudiendo llegar a ser un detonante importante en la caída de un emprendimiento. Existen muchas normativas que facilitan la construcción de este tipo de máquinas, como se lo muestra en el proyecto de titulación de la Universidad Politécnica Salesiana que se enfoca en el diseño de una máquina entubadora de diferentes diámetros (Gualotuña & Pupiales, 2011), este proyecto guiado por las normas INEN, ISO, ASTM y DIN otorga una visión más clara y puntos fundamentales a tomar en cuenta tanto al diseñar cómo construir la misma.

De la misma manera un pilar primordial es la optimización de la fabricación de máquinas de papel entubadoras es la automatización y control de procesos, debido a en las máquinas artesanales convencionales que existen no se tiene en cuenta la expansión de la industria, y evitan a toda costa la fabricación de la misma con tecnología que lleve a mayor producción y control, un proyecto de titulación de la

Universidad Católica de Guayaquil se centra en la automatización de una máquina artesanal para aumentar la producción de la empresa y reducir su consumo energético (Díaz Vera, 2015). Siendo así una parte importante a considerar en la fabricación de este tipo de maquinaria para impulsar la empresa nacional.

Planteamiento del problema

En la actualidad la automatización industrial ha progresado en los últimos tiempos; múltiples investigaciones, proyectos se han orientado en la creación de este tipo de sistemas aplicables en la industria, cubriendo con la necesidad del mejoramiento del ciclo de producción, calidad, eficiencia y seguridad en la elaboración de estos productos, la aplicación de esto permite el manejo de diferentes tecnologías las cuales facilitan el control y supervisión de los procesos, en fin, esta herramienta se usa en diversas empresas industriales que buscan cubrir la demanda de diversos productos; siendo así un gran apoyo en el sector industrial.

En el Ecuador, existe un bajo nivel de tecnología en las empresas industriales. Por tal razón las mismas no pueden ser competitivas ya que sus productos no poseen un nivel de calidad que supere a otros productos. Otra problemática son los retrasos en los productos ya que al tener equipos antiguos existe una producción baja que impiden cubrir con la demanda necesaria a tiempo generando pérdidas en las empresas.

Por otra parte, la adquisición de este tipo de equipos automatizados tiene un costo elevado los cuales son superiores a los \$10000 (B2Brazil, 2020) en comparación con la inversión que se va a destinar para la máquina automatizada en el presente proyecto es alrededor de \$3500. Este tipo de factores y la importación de los mismos dificulta que las empresas industriales papeleras adquieran este tipo de maquinarias.

En relación a lo mencionado, la misión de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE es potenciar el avance tecnológico y la investigación científica, aplicando estos conocimientos de manera apropiada para el beneficio de la sociedad, bajo este contexto este proyecto de titulación propone el desarrollo de una máquina automatizada para tubos de cartón para una empresa papelera, que poseerá un sistema mecánico óptimo para el ambiente industrial el cual facilitará la elaboración de tubos de cartón y aumentará su producción.

Justificación e importancia

La automatización industrial es el uso de tecnologías para el control y monitoreo de distintos procesos industriales, en el contexto económico existe una gran disputa actualmente, en la cual la automatización de procesos se ha transformado en un componente esencial al momento de optimizar la producción y lograr convencer a la demanda existente de los bienes elaborados en tiempos más reducidos (Kronergy, 2018). Convirtiéndose así en un fenómeno importante para el crecimiento del sector empresarial y productivo.

El propósito del presente proyecto es el desarrollo de un sistema que se base en la combinación de las diferentes tecnologías anteriormente mencionadas, como son la automatización industrial, implementando está en la construcción de una máquina para tubos de cartón, enfocada en la optimización del proceso de fabricación de tubos de cartón para el papel higiénico, ahorrando así para la empresa, los costos en el ciclo producción del mismo. De esta manera también ayuda al desarrollo tecnológico del país impulsando el uso de maquinarias automatizadas, evitando la importación de este tipo de quipos y dando la posibilidad del desarrollo en el ámbito educativo.

En resumen, la importancia del diseño y construcción de una máquina de tubos es para mejorar y reducir los tiempos de producción de las empresas papeleras ya que existe una gran demanda de estos productos de primera necesidad. Otro aspecto importante es que se aumentara la competitividad de la empresa en el mercado, ya que se puede dar una mejor respuesta a las necesidades de este, ofrecer productos de mejor calidad en menor tiempo, reaccionar de forma más rápida a los cambios. También permitirá el control de los procesos que permitirán supervisar cada una de las etapas del ciclo de producción de los tubos, estandarizando parámetros de calidad de la empresa.

Finalmente, la utilización de este tipo de tecnologías en empresas industriales colabora con el Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021 (Toda una vida) cuyo objetivo es promover el desarrollo integral de los individuos durante todo el ciclo de vida promoviendo la infraestructura productiva, la tecnología y el conocimiento siendo estos elementos fundamentales para fortalecer los circuitos comerciales solidarios, los encadenamientos productivos y las economías de escala capaces de dinamizar la competitividad sistémica del territorio nacional (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Senplades 2017, 2017).

Objetivos

Objetivo general

Diseñar y construir de una máquina automatizada para la fabricación de tubos de cartón para la industria papeleras para la reducción de tiempo de producción.

Objetivos específicos

- Investigar el proceso que se realiza de manera industrial para la fabricación de tubos en espiral de cartón utilizados para la industria papelera.
- Implementar la máquina entubadora basándose en las necesidades de producción que se necesita apoyándose en diferentes normativas para la fabricación de maquinaria industrial.
- Programar la máquina para la fabricación de tubos de cartón de manera que realice de manera eficiente su propósito.
- Realizar pruebas de validación de la máquina entubadora.

Hipótesis

La construcción de una máquina de automatización para la fabricación de tubos de cartón permitirá la reducción de tiempos de producción.

Marco Teórico

Máquinas convertidoras de tubos de cartón

Las máquinas que realizan los tubos de cartón poseen módulos que permiten tener como producto final pequeños canutos, los cuales son: el módulo porta bobinas, módulo engomador, el módulo entubador y el módulo cortador que forman un sistema que permiten la fabricación del mismo.

Módulo porta bobinas

Este tipo de módulos Figura 1 poseen dos puntos de apoyo para el montaje de las bobinas de papel, permitiendo de esta manera que las bobinas puedan variar de tamaño, y se puedan agregar el número de capas que se desee para los canutos de cartón. Por otra parte, posee un manejo sencillo al instante del reemplazo de las bobinas, es decir, un fácil montaje de las mismas.

Figura 1

Módulo porta bobinas



Nota. Tomado de YouTube, por Cozzolino Julian, 2016, Flickr
(<https://www.youtube.com/watch?v=6zIGA7qMJuE>)

Módulo engomador

No existe una clasificación definida de los tipos de engomadoras Figura 2, pero es necesario distinguir dependiendo de la forma como se engoma las capas de cartón para el módulo de la entubadora. Por esta razón se diferencia: por inmersión, rodillos o casada:

- **Por rodillos:** este tipo de engomador las capas de cartón pasan por rodillos los cuales contiene el adhesivo correspondiente para su respectiva entubación.

Figura 2

Módulo engomador por cascada



Nota. Tomado de YouTube, por Cozzolino Julian, 2016, Flickr
(<https://www.youtube.com/watch?v=6zIGA7qMJuE>)

Módulo entubador

En este módulo Figura 3 se realiza la entubación del cartón, es decir, la realización del canuto del diámetro que posea el eje núcleo del mismo. El canuto se realizará dependiendo del número de capas que posea el porta bobinas. En este módulo las capas de cartón ya poseen el engomador correspondiente en las mismas.

Figura 3

Módulo entubador



Nota. Tomado de YouTube, por Cozzolino Julian, 2016, Flickr
(<https://www.youtube.com/watch?v=6zIGA7qMJuE>)

Módulo cortador

En este módulo Figura 4 la ubicación de la cortadora podría ser en cualquier ubicación dependerá del tipo de material que se desee cortar. Esta acción se llevará a cabo por una cuchilla plana, en estos casos la desventaja es la vida útil de la hoja de cortar debido a que puede fallar con frecuencia con respecto al filo de la misma. En este sistema se puede usar un sistema de cortadora a presión o a tijera.

- **Sistema de corte por cuchillas circulares a presión:** el corte ocurre cuando al momento de presionar el papel entre el rodillo endurecido y la cuchilla para el respectivo corte del canuto.

Figura 4

Módulo cortador



Nota. Tomado de YouTube, por Cozzolino Julian, 2016, Flickr (<https://www.youtube.com/watch?v=6zIGA7qMJuE>)

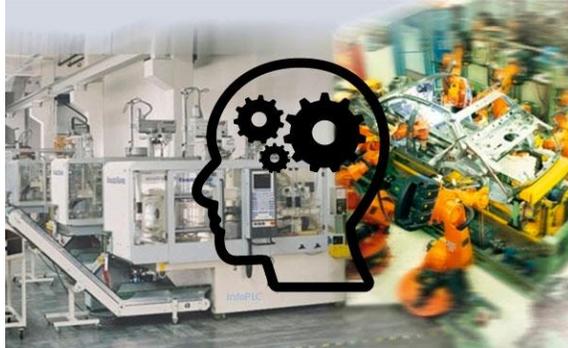
Automatización industrial

Etimológicamente, la palabra “auto” significa “guiado por uno mismo”, por lo que la automatización industrial se respalda en el manejo de sistemas computarizados, mecánicos y eléctricos para controlar y monitorear los procedimientos que realizan las máquinas, aparatos o dispositivos que forman parte del área industrial (Maquiclick, 2018).

Por consiguiente, la automatización industrial es la utilización de varias tecnologías que permiten el control y monitoreo de ciertos procesos industriales, máquinas, entre otros, pero que posean como aspecto importante funciones repetitivas, permitiendo que funcione automáticamente de esta manera se reduce la participación del ser humano se puede ver en la Figura 5 (Aldakin, 2017).

Figura 5

Automatización industrial



Nota. Tomado de InfoPLC.net, por Blog Autómatas, 2016, Flickr (<https://www.infoplcn.net/blogs-automatizacion/item/103614-machine-learning-cloud-automatizacion-industrial>)

Con la colaboración de las distintas tecnologías la automatización industrial es posible, ya que el propósito de la misma, es la producción de la mayor cantidad de productos en el menor tiempo generando mejores recursos a la empresa.

Las características principales son numerosas se resaltan las de mayor impacto según (VITC, 2019):

- Optimiza la calidad de los productos a través de un proceso constante y repetitivo.
- Reduce los esfuerzos y tiempos de producción.
- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes industriales.
- Minimiza los daños en las piezas e incrementa la seguridad del personal.
- Permite ahorrar, lo que se traduce en mayor eficiencia en la producción de la organización.

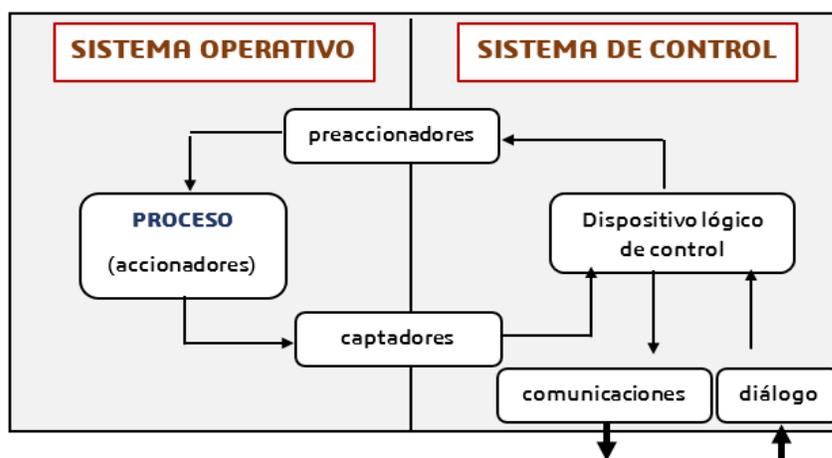
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Simplificación del mantenimiento de las máquinas.

Sistema automatizado modelo estructural

Un sistema automatizado se puede dividir en dos grupos los cuales se pueden diferenciar en la Figura 6: como primer grupo se observa al Sistema Operativo, el mismo está compuesto por un conjunto de dispositivos, máquinas o subprocesos, que están enfocadas a la realización de funciones específicas de fabricación; pueden tratarse de máquinas herramienta para la realización de operaciones de mecanizado, es decir, son los elementos que permite que la máquina se mueva y puedan realizar las operaciones para lo cual están diseñadas. Por otro parte, el segundo grupo es el Sistema de Control o Mando, que, sin poseer mayor relevancia su implementación tecnológica es la parte en donde de coordinan las distintas operaciones con el fin de mantener al Sistema Operativo bajo control (García Moreno, 1999).

Figura 6

Modelo estructural de un sistema automatizado



Nota. Tomado de Automatización de Procesos Industriales (p.11), por Emilio García Moreno, 1999, Universidad Politécnica de Valencia.

La vinculación del sistema operativo se obtiene a través del mantenimiento continuo de un intercambio de información que se obtiene con el sistema operativo y el sistema de control. Esta información se obtiene a través del uso de los captadores binarios, transductores analógicos y digitales, entre otros.

Los captadores binarios y los transductores analógicos y digitales permiten obtener información de las magnitudes físicas que se pretende controlar, como por ejemplo de las variaciones de estado, envían dicha información al sistema de control para su respectivo proceso. Posteriormente la información envía tareas de mando por medio de los preaccionadores. Los preaccionadores cuyo objetivo es permitir el control de grandes potencias mediante las señales de pequeña potencia.

En conclusión, la automatización de un proceso industrial, se basa en la integración a este sistema, de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos que garanticen el control y un adecuado funcionamiento (García Moreno, 1999).

Por otra parte, el objetivo característico es que el automatismo reaccione ante circunstancias anticipadas inicialmente y frente a esto situar al proceso y a los recursos humanos que lo asisten en la situación más adecuada y el proceso se desarrolle normalmente.

Durante un periodo trascendental la finalidad de la automatización ha sido el permitir la disminución de los costos de fabricación, conservando la calidad de la producción y proteger al ser humano de tareas que puedan afectar su integridad física con trabajos riesgosos o insalubres. A pesar de esto, desde los años 60, la alta competitividad empresarial y la internacionalización progresiva ha exigido a los diferentes mercados, enfocarse en los objetivos antes mencionados han ido teniendo una mayor relevancia en este sector (García Moreno, 1999).

Como resultado de un ámbito competitivo, las empresas han tenido que plantearse la necesidad de abordar procesos de cambio rápidos y eficaces permitiendo así cubrir con las demandas del nuevo mercado, provocando el cambio de estrategias al observar la disminución del ciclo de vida de algunos productos con el fin de la venta de más productos en el menor tiempo.

Estos aspectos exigen que los métodos de producción sean adecuados los cuales se caractericen por su flexibilidad y permitan el cambio oportuno de estrategias de producción. En la actualidad los avances tecnológicos son una constante en la sociedad como por ejemplo el computador es una herramienta útil tanto en el aspecto laboral, como personal como por ejemplo permitiendo en sistema productivo la integración de niveles que influyen en este sistema como los centros de decisión, dando paso a la visualización de la producción como un flujo de material a través del Sistema Productivo que interacciona con todas las áreas de la empresa.

Cartón

El cartón está conformado por varias capas de papel superpuestas que logran adherirse una a continuación de otra, que son secados por evaporación o pueden realizarse con capas de papel prensados, que lo hace un material más resistente que únicamente el papel. Son usados para la elaboración de cajas u otros tipos para el embalaje, etc. Este material puede ser reciclado, pero con el tiempo llega a deteriorarse. (Conceptos, 2019)

Gramaje: es el peso del papel por metro cuadrado, el cual es expresado en gramos.

Papel industrial

En la Figura 7 se observa una bobina de papel industrial que se utiliza para el embalaje dependiendo del enfoque del mismo.

Figura 7

Papel industrial



Nota. Tomado de ESTALKI PACK | Soluciones Embalaje, por Productos Embalaje, 2020, Flickr (<https://www.estalki.com/embalaje/bobinas-papel-carton-reciclado/>)

Papel Kraft 1ª MG.

Se caracteriza por su elevada resistencia debido a la conservación de la mayor parte de las fibras naturales de madera. Pulido en una cara. Posee un gramaje de 40gr. a 140 gr. Los principales usos son para el papel embalaje, protección, relleno, fabricación de bolsas alimentarias, entre otras. Usados en mercados como el textil, la industria del metal.

Papel Kraft 2ª .

Este tipo de papel posee una elevada composición de fibras extras vírgenes haciéndolo considerablemente resistente. Es elaborado con fibra virgen y pasta reciclada. Tiene un gramaje de 60 gr. a 140 gr. Los usos de este papel son para el embalaje, protección y relleno, bolsas alimentarias, bolsas boutique o también usados como papel de impresión.

Adhesivos

Los adhesivos pueden ser naturales o sintéticos los naturales son aquellos que se obtienen de los recursos de la naturaleza como los vegetales o animales, el almidón, entre otros. Por otra parte, los adhesivos sintéticos Figura 8 son los cuales están basados en polímeros este tipo de adhesivos son los que poseen una mayor uso en diversos sectores industriales que requieran este tipo de material, ya que brindan altas propiedades mecánicas, físicas y químicas (Antala, 2017).

Figura 8

Adhesivos



Nota. Tomado de DB Distribuidora Argentina, por Adhesivos Industriales S.A., 2020, Flickr (<https://dbdistribuidora.com/es/productos/quimicos/adhesivos-varios/adhesivos-industriales-sa/12771-adheblock-6-kg.html>)

Los adhesivos sintéticos se pueden clasificar por el número de componentes:

Clasificación de adhesivos por el número de componentes

Por el número de componentes que requiere para que se produzca proceso químico de cristalización del adhesivo:

- **Adhesivos monocomponentes**

Son aquellos que poseen un solo componente reactivo, por ejemplo, los adhesivos de poliuretano, siliconas de curado por humedad, entre otros.

Clasificación por las propiedades mecánicas de los adhesivos industriales

- **Adhesivos elásticos**

Son los que disponen de una alta elasticidad que se hace presente antes de realizarse una fractura, como, por ejemplo: adhesivos de contacto, adhesivos de silicona, los silanos modificados, etc.

Adhesivo de contacto

Son los pegamentos industriales más usados en el sector industrial, son adhesivos Figura 9 que poseen un pegado muy fuerte y las fusiones con las mismas consiguen flexibilidad. Hay que tener en cuenta que para el uso de este tipo de adhesivos se deben tener las respectivas precauciones ya que poseen olores fuertes.

Figura 9

Adhesivo de contacto



Nota. Tomado de PRONORSL, por Adhesivo Láminas EPDM y BUTILO, 2020, Flickr (<https://www.pronorsl.es/spanish/adhesivo-laminas-epdm-y-butilo-1-l-ceys.html#.X4O48WhKhPY/>)

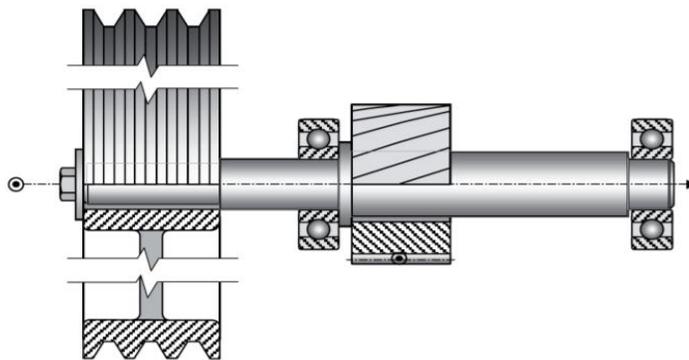
Diseño de ejes

Un eje Figura 10 es un componente o elemento cilíndrico, el cual puede mantenerse fijo o girando, sobre el cual se montan poleas, engranajes, catarinas, manivelas, etc., así como otros elementos mecánicos de transmisión de potencia y

sujeción. Para poder ubicar estos elementos el eje debe poseer algunos escalones con diferentes diámetros, que pueden ser ranuras o agujeros, que impiden el movimiento axial.

Figura 10

Diseño de ejes



Nota. Tomado de Diseño de Elementos de Máquinas (p.1), por Libardo Vanegas, 2018, Universidad Tecnológica de Pereira

Inicialmente para el diseño de los ejes, en primer lugar, se ubican las zonas críticas las cuales se dimensionan con el fin de que cumplan con las condiciones de resistencia. Posteriormente se dimensionan los demás elementos del eje con el fin que pueda satisfacer las necesidades de los elementos soportados por éste. Es importante resaltar que la deflexión no se ve afectada por la resistencia del material sino por su rigidez, ya que representada por el módulo de elasticidad, que es esencialmente constante en todos los aceros, por esta razón, los requisitos de rigidez se controlan por la geometría.

Diseño estático de ejes

Los ejes están expuestos a diferentes cargas como la flexión, torsión, tensión o compresión las cuales pueden trabajar individualmente o combinadas. Por otra parte, las cargas de torsión y de flexión son las que dominan los esfuerzos en los ejes; mientras que, las cargas axiales y cortantes pueden ser despreciables. Entonces, los esfuerzos normales y cortantes máximos en la superficie de un eje macizo de sección circular, sometido a cargas combinadas de flexión y torsión, vienen dado por:

$$\sigma_x = \frac{32 M}{\pi \phi^3} \quad \tau_{xy} = \frac{16 T}{\pi \phi^3} \quad (1)$$

Donde:

M es el momento flector máximo en la zona crítica.

T es el torque máximo en la zona crítica

ϕ es el diámetro

σ_x esfuerzo normal en x

τ_{xy} esfuerzo cortante en xy

Según la teoría de la Energía de Deformación, el diámetro del eje viene dado por:

$$\phi = \left[\left(\frac{32 FS}{\pi S_y} \right) \cdot \left(M^2 + \frac{3 T^2}{4} \right)^{1/2} \right]^{1/3} \quad (2)$$

Donde:

FS es el factor de seguridad

S_y resistencia a la fluencia en tensión o compresión de una muestra del material.

Diseño de ejes a fatiga

Es aquel eje sometido a cargas fluctuantes, los esfuerzos cortantes, torsión y axiales pueden estar presentes tanto en componentes medios como en alternantes (subíndice m, a respectivamente). Por lo general, las cargas de torsión y de flexión son los puntos críticos que están sometidos los ejes (Artega, 2018). La ecuación de falla por fatiga posee algunos criterios de deformación a continuación el criterio más usado.

Energía de Deformación de Goodman: está dada por la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{FS} = \frac{16}{\pi \phi^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (3)$$

$$\phi = \left(\frac{16}{\pi \phi^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{1/3} \quad (4)$$

Donde:

K_f y K_{fs} son el factor de concentración de esfuerzos por flexión y por torsión respectivamente

S_{ut} es la resistencia ultima a la tensión del material.

S_e es la resistencia a la fatiga.

Rodamientos

Los rodamientos son piezas de maquinaria mecánicas que aseguran un acoplamiento móvil entre dos elementos de un mecanismo, en el cual uno se encuentra en rotación con respecto a otro se muestra en la Figura 11.

La función principal está en permitir la rotación relativa de dichos elementos bajo carga, con presión y con un rozamiento mínimo, reduciendo la fricción entre un eje y las piezas conectadas a este por medio de una rodadura, que hace de apoyo y facilita su desplazamiento (Koyola, 2016).

Figura 11

Rodamiento



Nota. Tomado de Canales Sectoriales Interempresas, por Redacción Interempresas, 2016, Flickr (<https://www.interempresas.net/Mantenimiento/Articulos/154759-Brammer-logra-que-sus-clientes-ahorren-mas-de-10M-en-rodamientos.html/>)

En el proceso de diseño de los rodamientos se deben tener en cuenta una gran cantidad de factores: (CLR, 2020)

- Rozamiento
- Transferencia de calor
- Fatiga
- Resistencia a la corrosión
- Forma y tipo de lubricación

- Velocidades de funcionamiento
- Costos

Funciones principales de un rodamiento: Transfieren el movimiento, es decir, apoyan y guían componentes que giran entre sí. Transmiten fuerza.

Los rodamientos están formados por dos anillos, los elementos rodantes, y una jaula, y se clasifican en rodamientos radiales o rodamientos de apoyo dependiendo de la dirección de la carga principal. El rodamiento está comúnmente hecho de acero (de varios tipos) y mecanizado con gran exactitud, lo que lo convierte en un elemento de máquinas de gran resistencia y precisión (Koyola, 2016).

Tipos de rodamientos

Existen distintos tipos de rodamientos, cada uno tiene su función específica, propiedades y características por los cuales han sido diseñados. Actualmente, los rodamientos son las piezas utilizadas, ya que permiten obtener muy baja fricción porque utiliza pequeños elementos rodantes entre pistas giratorias de acero endurecido.

Los rodamientos se agrupan en dos grandes categorías, rodamientos de bolas y rodamientos de rodillos; ambos con variantes dentro de esas categorías.

Rodamientos rígidos de bolas

Tienen un simple diseño y no son desmontables, que sirven para altas velocidades de giro y cargas radiales ligeras, y necesitan un poco mantenimiento. Los rodamientos de bolas aprisionan esferas de acero endurecido mediante una jaula que las conservan adecuadamente espaciadas alrededor de los anillos y pueden soportar diferentes intensidades de cargas radiales y de empuje combinadas, dependiendo de su diseño y su construcción (CLR, 2020).

Para aumentar la capacidad de carga radial se pueden utilizar los rodamientos de contacto angular que permiten mayor número de bolas en contacto por hilera. Sin embargo, este incremento de la capacidad de carga radial se produce a un costo de reducir la capacidad de carga axial.

Ventajas y desventajas de los rodamientos

Las ventajas de los rodamientos son:

- Baja fricción durante la operación y especialmente en el arranque.
- Poseen capacidad para soportar cargas radiales y de empuje (axiales) combinadas.
- Lubricación más sencilla y pueden trabajar a mayores temperaturas con poca lubricación.
- Son elementos estandarizados y fáciles de seleccionar.

Por otra parte, las desventajas de los rodamientos son:

- Poseen un mayor peso y mayor nivel de ruido.
- Requieren mayor espacio radial.
- Tienen una menor durabilidad debido a las altas tensiones que soportan los elementos rodantes y con el tiempo fallan por la fatiga.
- Capacidad de amortiguamiento deficiente.

La mayoría de rodamientos están fabricados con acero AISI 5210 endurecido en alto grado y su principio básico de funcionamiento radica en la reducción de la fuerza de rozamiento mediante la introducción de pequeños elementos rodantes que disminuyen la fuerza de fricción opuesta al movimiento.

Vida útil de los rodamientos

En el momento que el rodamiento gira está generando esfuerzos de contacto en el anillo interior del rodamiento, el elemento rodante y el anillo exterior. Por esta razón si el rodamiento se conserva limpio y se lubrica de manera apropiada, y si su montaje está diseñado para evitar ingresos de suciedad y realiza su trabajo en temperaturas adecuadas a su función, entonces la fatiga superficial del material cuando se encuentre en funcionamiento, los elementos rodantes será la única causa de falla (Artega, 2018).

Chumacera

Una chumacera Figura 12 es un rodamiento montado que se utiliza para dar apoyo a un eje de rotación. Este tipo de cojinete se coloca generalmente en una línea paralela en el eje del árbol (Hurtado, 2018).

Figura 12

Chumacera



Nota. Tomado de Quintero Hurtado LTDA, por William Hanz, 2018, Flickr
(<https://www.quinterohurtado.com/post/qu%C3%A9-es-una-chumacera>)

Características

Los cojinetes de las chumaceras están diseñados básicamente para proporcionar apoyo a la rotación del eje, especialmente cuando se manejan diversos tipos de carga, sobre todo en las bombas y los transportadores.

Están diseñadas con un depósito para almacenar lubricante, por lo tanto, no necesitan ser lubricadas constantemente con el fin de funcionar sin problemas. El depósito ayuda en la ampliación de los intervalos de lubricación, ampliando por lo tanto la vida útil del cojinete mientras está en uso.

Tipos de chumaceras

- **Chumacera de Pared**

Son llamada así por su forma estas se fijan al cuerpo de la máquina vienen de diferente tamaño en su cuerpo se aloja un rodamiento que contiene el prisionero para fijarlo al eje o árbol de leva.

- **Chumacera de pedestal**

Usadas para la transmisión de movimiento entre diferentes componentes mecánico ubicada en la parte superior de la bancada o cinta transportadora.

Cadenas de transmisión

Las cadenas de transmisión como se muestra en la Figura 13 proporcionan una transmisión de velocidad, torque y potencia constante, ya que no permiten deslizamiento por esta razón son utilizadas en aplicaciones que requieran transmitir grandes pares de fuerza y en ejes que posean un rango de velocidades de giro que se encuentren entre medias y bajas (Ingemecanica, 2020).

Figura 13*Cadena de transmisión*

Nota. Tomado de Direct Industry, por Virtual Expo Group, 2020, Flickr

(<https://www.directindustry.es/prod/ramsey-products/product-17760-523670.html>)

Las transmisiones de las cadenas son compactas ya que permite trabajar en condiciones ambientales desfavorables, pero requieren de lubricación del sistema.

Según su función a desarrollar, las cadenas se clasifican en: (Ingemecanica, 2020)

- **Cadenas de transmisión de potencia:** su función es transmitir la potencia entre ejes que giran a unas determinadas velocidades.

Transmisión de cadenas

La transmisión por cadena trabaja con el uso de una cadena y dos o más piñones o conocidas como ruedas dentadas los cuales se encontrarán unidos a los ejes los cuales requieran transmitir el respectivo movimiento. Este tipo de sistemas permiten la transmisión de velocidad, torque y potencia constantes permitiendo de esta manera una mayor eficiencia mecánica. Poseen un diseño fácil, de igual manera la instalación y reparación de la misma son sencillos (Joresa, 2020).

Diseño de transmisiones con cadenas.

- Para un acoplamiento de la catarina se requiere el diámetro de paso que está dado por la siguiente ecuación 3:

$$D = \frac{p}{\text{sen}(180^\circ/N)} \quad (5)$$

Donde:

D → diámetro de paso

p → paso de la catarina

N → número de diente de la catarina (N_1 para la más rápida y N_2 para la más lenta)

- El factor de servicio o trabajo (K_s) es el coeficiente tiene en cuenta tanto la regularidad de marcha del motor de accionamiento, como el tipo de máquina o instalación que debe accionar, cuyo funcionamiento puede ser suave o irregular con impactos o golpe.
- La velocidad de la rueda dentada con menor número de dientes se estima que posea una duración de 15000 horas.
- La relación de velocidad o transmisión i es inversamente proporcional a la relación entre sus números de dientes o revoluciones por minuto de cada rueda dentada.

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (6)$$

Donde:

i → es la relación de transmisión

$\omega_1, \omega_2 \rightarrow$ es el número de revoluciones por minuto de cada rueda dentada la más rápida y la mas lenta respectivamente.

- El uso de cadenas múltiples permite notablemente aumentar ampliamente la velocidad a transmitir. Los valores a detallar se relacionan con la siguiente Tabla 1:

Tabla 1

Factor de cadenas múltiples

Número de filas	1	2	3	4	5	6
Factor	1	1.7	2.55	3.4	4.25	5.1

- La longitud L de cadena debe ser un múltiplo completo del par de pasos. Por lo cual está dada por la ecuación 6 siguiente que se encuentra en función de la distancia entre centros C y los números de dientes de las ruedas dentadas:

$$\frac{L}{p} = \frac{2C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C/p} \quad (7)$$

Donde:

$L \rightarrow$ es la longitud de la cadena.

$C \rightarrow$ es la distancia entre centros

- La distancia de centros viene dada por la ecuación 7:

$$C = \frac{p}{4} \left[\frac{L}{p} - \frac{N_1 + N_2}{2} + \sqrt{\left[\frac{L}{p} - \frac{N_1 + N_2}{2} \right]^2 - \frac{8(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2}} \right] \quad (8)$$

- La potencia de diseño se obtiene multiplicando la potencia nominal requerida por el impulsor por el factor de servicio y dividiendo para el factor de tramos múltiples, es decir:

$$Pot_{dis} = Pot_{nom} \frac{K_s}{K_{tm}} \quad (9)$$

Donde:

Pot_{dis} → es la potencia de diseño

Pot_{nom} → es la potencia nominal

K_{tm} → es el factor de tramos.

Bandas o correas de transmisión

Las bandas o correas Figura 14 de transmisión es un elemento fundamental en el sistema de bandas de transmisión ya que la misma es una cinta continua que puede ser de un perfil plano, redondo o trapezoidal que van a permitir el movimiento de rotación que se realizara entre dos o más poleas. Estas son elaboradas por la combinación de varias capas de tela como el algodón, rayón o nylon (Ecured, 2020).

Figura 14

Banda o correa de transmisión



Nota. Tomado de Suministros Romer S.A, por Suministros Romer, 2020, Flickr

(<http://www.suministrosromer.com/es/26-correas-de-transmision-habasisit-correas-planas>)

Transmisión de bandas

Las transmisiones por banda se adaptan a en aplicaciones en las que la distancia entre centros de ejes giratorios es grande. Por lo general, son más simples y económicas que otras alternativas de transmisión de potencia.

Las bandas son silenciosas y con una fácil instalación y simples de reemplazar, requiere poco mantenimiento, reduce la transmisión de golpes y vibraciones no deseadas entre los ejes. Sin embargo, debido al deslizamiento o arrastre, la relación de velocidad angular entre los ejes giratorios puede no ser precisa.

Las bandas planas son de uretano o de tela impregnada con caucho y están reforzadas con alambre de acero o cuerdas de nylon para soportar las cargas de tensión. Una o ambas superficies pueden tener un recubrimiento superficial de fricción. Las bandas planas son silenciosas, eficientes a altas velocidades y pueden transmitir grandes cantidades de potencia con grandes distancias entre centros. Las poleas abombadas se utilizan con bandas planas.

Las bandas en V son los más utilizados en impulsadores industriales. Se fabrican con tela, algodón, rayón o nylon impregnado con caucho y tienen cuerdas de alta resistencia hechas de acero y fibras naturales o sintéticas. Estas bandas trabajan con distancias más cortas entre centros que las planas.

Diseño de transmisiones con bandas

Los parámetros más importantes que se deben considerar al diseñar un sistema de transmisión con bandas, se mencionan a continuación:

- El tamaño de una polea se indica mediante su diámetro de paso D o d .
- La especificación de potencia para una banda siempre es función del tamaño y la velocidad de la polea más pequeña.

- La relación de velocidad i entre la polea impulsadora y la impulsada es inversamente proporcional a la relación entre los diámetros de paso de las poleas.

$$i = \frac{\omega_d}{\omega_D} = \frac{D}{d} \quad (10)$$

- La velocidad lineal de la línea de paso de ambas poleas es la misma e igual a la velocidad de banda v_b . Una velocidad de banda de 4000 pies/min (1220 m/min) es ideal, si esta velocidad es menor que 1000 pies/min (305 m/min), se debe considerar una transmisión de engranajes o de cadena.
- El ángulo de contacto θ de la banda con la polea más pequeña debe ser mayor que 120° y; para cada polea acanalada, el ángulo en radianes.
- La distancia nominal en centros de poleas C , es recomendable que se encuentre dentro del rango.

$$D < C < 3(D + d) \quad (11)$$

Donde:

C → es la distancia nominal en centros

- La longitud de paso L de la banda es una función de la distancia entre centros y los diámetros de las poleas y viene dado por:

$$L = [4C^2 - (D - d)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2}(D \theta_D + d \theta_d) \quad (12)$$

Donde:

L → es la longitud de paso

θ_D, θ_d → es el ángulo de contacto para cada polea

- La instalación de la banda debe ser realizada según las recomendaciones del fabricante. El valor del diseño de la relación de tensiones del lado tenso con la del lado flojo el 5,0 pero el valor real puede ser tan alto como 10,0.
- Con la longitud estándar, se determina el factor de corrección por la longitud de la banda C_L . Mientras que, a partir del ángulo de contacto de la banda con la polea más pequeña, se determina el factor de corrección por ángulo de la envolvente C_θ . La potencia nominal corregida por banda viene dada:

$$Pot_{corr} = C_L C_\theta Pot_{real} \quad (13)$$

Donde:

Pot_{corr} → es la potencia corregida

Pot_{real} → es la potencia real

C_L → es el factor de corrección por la longitud de la banda

C_θ → es el factor de corrección por ángulo de la envolvente

- La cantidad de bandas requeridas para el sistema de transmisión se obtiene dividiendo la potencia de diseño para la potencia corregida.

$$\#_{bandas} = \frac{Pot_{dis}}{Pot_{corr}}$$

Donde:

Pot_{dis} → es la potencia de diseño

(14)

Motor trifásico

Es una máquina eléctrica Figura 15 cuyo propósito es transformar la energía eléctrica en mecánica. Los cuales son utilizados para impulsar diferentes equipos los cuales se encuentren conectados de manera adecuada para su respectivo funcionamiento. Los motores trifásicos son producidos con diferentes potencias y están diseñados para trabajar con dos tensiones diferentes (Farina, 2018).

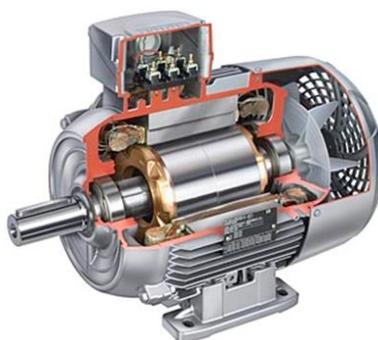
El motor trifásico normalmente, se usan para herramientas industriales, montacargas, ventiladores, sopladores, maquinarias elevadoras o vehículos de tracción, entre otros (Distrimotor 2020, 2020).

Partes del motor

Los componentes de un motor trifásico en tres partes concretas y diferenciadas. Las cuales son: el estator, el rotor y los escudos/carcasa (S&P, 2019).

Figura 15

Motor trifásico



Nota. Tomado de Monografías.com, por Sergio Rafael Tirado Pérez, 2020, Flickr (<https://www.monografias.com/trabajos93/prueba-circuito-abierto-y-cortocircuito-generadores-sincronicos/prueba-circuito-abierto-y-cortocircuito-generadores-sincronicos.shtml>)

- **Estator**

Parte fija del motor y funciona como parte base del motor. El estator está diseñado con un armazón que se fijan en las ranuras que pueden ser de hierro o silicio. En este tipo de ranuras se pueden observar tres bobinas y circuitos diferentes cada una.

- **Rotor**

Está ubicado en la parte interna del estator y por ende es la parte móvil del motor. Está constituido por un eje, el enchapado y unas barras que pueden ser de cobre o aluminio. A esta parte del motor es conocido también como jaula de ardilla.

- **Escudos/Carcasa**

Este componente del motor está fabricado con aluminio o hierro colado y es la parte exterior del mismo. Por otra parte, está diseñado para proteger partes internas del motor. Los escudos, deben estar bien acoplados al estator, ya que de lo mismo depende que el rotor pueda girar.

PLC

Controlador Lógico Programable es un dispositivo electrónico que posee la característica de poder programarse, su fin es controlar procesos secuenciales los cuales se desarrollan en un ambiente industrial. Por otra parte, estos dispositivos se fomentan en maquinarias que poseen procesos de producción y que se puedan controlar su trabajo (Prieto, 2007).

El PLC Figura 16 por las características que posee pueden ser utilizados para controlar distintos tipos de máquinas por ende tiene un amplio campo de aplicación. Estos dispositivos, son utilizados en la industria ya que los mismos no requiere de procesos de mantenimiento o reparación constantes. Aportando avances en la

producción ya que se garantiza la calidad de la elaboración de los productos (Sc.ehu, 2005).

Figura 16

PLC



Nota. Tomado de Ingeniería Mecafenix,, por Ingeniería Mecafenix La Enciclopedia de la Ingeniería, 2020, Flickr (<https://www.monografias.com/trabajos93/prueba-circuito-abierto-y-cortocircuito-generadores-sincronicos/prueba-circuito-abierto-y-cortocircuito-generadores-sincronicos.shtml>)

Funciones del PLC

- Recopilar datos de entrada mediante fuentes digitales y analógicas.
- Poder tomar decisiones dependiendo de los criterios programados
- Se generan ciclos de tiempo
- Almacenar datos en la memoria.
- Posee la función de proceder sobre distintos dispositivos que se puedan encontrar en el exterior que posean salidas analógicas y digitales.
- Comunicarse con otros sistemas externos.

Los PLC posee ciertas ventajas como su campo de aplicación es amplio, ya que las ecuaciones lógicas poseen un módulo de memoria suficiente y no es necesario simplificarlo, por otra parte, está en desarrollo con el fin de poder satisfacer las necesidades de distintos aspectos de la industria. Una de las desventajas que se

pueden resaltar es la inversión inicial o la necesidad de tener conocimientos para su respectiva programación.

Variador de frecuencia

Un variador de frecuencia Figura 17 es un sistema que permite controlar la velocidad de giro de un motor de corriente alterna (AC), a través, de la variación de la frecuencia y la tensión de la línea de alimentación (Ilguren, 2015). Este tipo de sistemas tienen un amplio campo de aplicación como bandas industriales, ascensores, fresadoras, etc.

Figura 17

Variador de frecuencia



Nota. Tomado de Kinco, por Kinco Electric, 2019, Flickr
(<https://en.kinco.cn/productdetail/fv20xlbpq44.html>)

Se puede mencionar ciertas ventajas de los variadores de frecuencia: (MYG Inc. Motores Eléctricos , 2020)

- Reducción con respecto al consumo de energía eléctrica.
- Poseen una instalación y mantenimiento fáciles.
- Tiene la posibilidad de controlarse mediante un PLC que permiten integrar sistemas para un control de aplicaciones más difíciles.

- Amplia la vida útil del motor, ya que el mismo lo protege ya que posee sistemas de protección internas.
- Reducción de alteraciones en las líneas de energía.
- Mejora la rentabilidad y productividad de los procesos productivos, ya que se aumenta la capacidad de producción con el incremento de la velocidad.

Contadores

Un contador Figura 18 es un dispositivo que posee el control de la corriente eléctrica la cual puede conducir o cortar la misma de un receptor, es decir, que tiene la posibilidad de funcionamiento en encendido o apagado (Cheng & Brem, 2018).

La característica primordial de los contactores es en la utilización de aplicaciones de alto voltaje, ya que poseen una protección de sobrecarga y la posibilidad de impedir grandes cantidades de corriente eléctrica.

Figura 18

Contactor



Nota. Tomado de Debiase, por Grupo Debiase, 2020, Flickr (<https://www.grupodebiase.com/control/1306-control-contactor-40a-db-lc1-d40f7-db.html>)

Clasificación de los Contactores

- **Contactores neumáticos.** Se accionan mediante la presión de un gas.

Relés

Los relés Figura 19 son de menor capacidad de corriente y voltaje. Son diseñados para aplicaciones en donde sus contactos deben estar normalmente abiertos (NA) o normalmente cerrados (NC), dependiendo de si la carga debe estar siempre conectada o no (Unicrom, 2019). Los relés sirven para activar un circuito que tiene un consumo considerable de electricidad mediante un circuito de pequeña potencia de 12 o 24 voltios que imanta la bobina (Seas, 2019).

Figura 19

Relé



Nota. Tomado de TRACON, por TRACON Electric, 2020, Flickr (<https://es.traconelectric.com/product/RM08240AC/Rele-industrial-230V-AC--2%D7CO--3A--230V-AC--28V-DC>)

Tipos de relé

- **Relés electromecánicos:** poseen variaciones según el mecanismo de activación. Pueden ser de tipo armadura, de núcleo móvil, relés polarizados o relés tripolares (Seas, 2019).

Cilindros neumáticos

Son unidades que transforman la energía potencial Figura 20 del aire comprimido en energía cinética o en fuerzas prensoras. Los mismos cuyo

accionamiento depende de gas comprimido, generalmente de aire (MicroAutomation, 2019).

Figura 20

Cilindros neumáticos



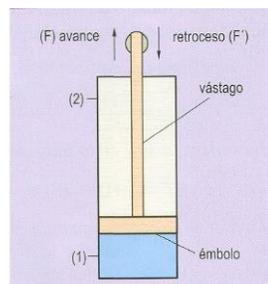
Nota. Tomado de CAVISA, por CAVISA Automatización Industrial, 2020, Flickr (<http://www.joucomatic.com.es/producto/cilindro-neumatico-doble-efecto-d32-125/>)

Cilindro de doble efecto

Son aquellos Figura 21 de realizar su trabajo en dos sentidos ya que se dispone de una fuerza activa tanto en el avance como en el retroceso. La carrera de estos cilindros suele ser más larga que en los cilindros de simple efecto (Wordpress, 2019).

Figura 21

Cilindro doble efecto



Nota. Tomado de Wordpress, por Conceptos de Neumática, 2019, Flickr (<https://neumaticabasicaepp.wordpress.com/44-2/receptores-neumaticos/cilindros-de-simple-y-doble-efecto/>)

Cálculo de fuerzas en actuadores lineales

- Cilindro de doble efecto

Avance:

$$F_n = A * P - F_R \quad (15)$$

Retroceso:

$$F_n = A' * P - F_R \quad (16)$$

Donde:

F_n → es la fuerza efectiva o real del émbolo

F_R → es la fuerza de rozamiento materiales (del 3% al 20% de la fuerza teórica)

A → es la superficie útil del émbolo en cm^2

$$A = \left(\frac{D^2 * \pi}{4} \right) \quad (17)$$

A' → es la superficie útil del anillo del émbolo en cm^2

$$A' = (D^2 - d^2) \left(\frac{\pi}{4} \right) \quad (18)$$

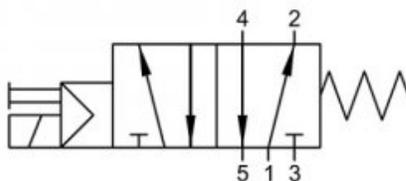
Válvulas monoestables

Las válvulas de control direccional son aquellas encargadas de cambiar el flujo del aire comprimido que va hacia los cilindros, pinzas neumáticas, entre otros.

Válvulas monoestables: Son aquellas que tienen una posición de reposo estable, que es en la que permanecerá la válvula de forma indefinida si no actúa sobre ella el dispositivo de mando. El regreso a la posición de reposo suele realizarse una vez que la señal contraria se desactiva en el muelle. Se nombran a partir del número de vías (número de conexiones que tiene la válvula), número de posiciones (número de maniobras que puede realizar) Figura 22 (SMC, 2020).

Figura 22

Válvula 5/2



Nota. Tomado de WebIndustrial, por WebIndustrial Ventas, 2017, Flickr

(<http://webindustrial.com.bo/Valvulas-Electroneumaticas/Valvula-Monostable-rosca-12q-y-52-vias-AIGNEP?return=true&type=pro>)

Sensor infrarrojo

Un sensor infrarrojo es un dispositivo que puede localizar la presencia de un elemento a través de la reflexión que provoca la luz Figura 23. En este caso el uso de la luz infrarroja (IR) se usa con el objetivo que no sea palpable para el ojo humano (Llamas, 2016).

Figura 23*Sensor infrarrojo*

Nota. Tomado de NoMada, por NoMada Store, 2020, Flickr (<https://nomada-e.com/store/sensores/413-sensor-omron-industrial-e3zd62-.html>)

Estos sensores funcionan para distancias cortas, las cuales no excedan entre los 5 a 20mm. Por otra parte, la cantidad de luz infrarroja recibida va a depender del color, material, forma y posición del obstáculo, este tipo de sensores cabe recalcar que no poseen una precisión exacta en cuanto a la información que entregue por esta razón tienen una limitación ya que el uso frecuente de los mismos es para objetos pequeños.

Módulo de acondicionamiento neumático

Este módulo es la combinación de los algunos componentes, los mismos que poseen un objetivo específico en este sistema de acondicionamiento (Hidráuliza & Neumática, 2019):

Filtro de aire comprimido, Regulador de presión y Lubricador de aire comprimido.

Funcionamiento

- **Filtro de aire:** Su función es extraer del aire comprimido todas las impurezas (partículas de metal, suciedad, etc.) y el agua condensada.

- **Regulador de presión:** El objetivo principal es mantener la presión de trabajo en un valor adecuado para el elemento que lo necesite con un valor que debe ser constante, indistintamente de las posibles variaciones que pueda tener la presión de la red o el consumo que genere con respecto al aire.
- **Lubricador de aire:** Finalmente, este elemento posee el objetivo de lubricar los elementos neumáticos, cuyo propósito es prevenir el desgaste de las piezas móviles, disminuir el rozamiento y proteger los elementos contra la corrosión.

Figura 24

Módulo neumático



Nota. Tomado de HNSA, por Hidráulica y Neumática S.A, 2019, Flickr
(<http://www.hnsa.com.co/unidades-de-mantenimiento-frl/>)

Normativas

Normas ISO

Las normas ISO son un conjunto de normas orientadas a ordenar la gestión de una empresa en sus distintos ámbitos. La alta competencia internacional acentuada por los procesos globalizadores de la economía y el mercado y el poder e importancia que ha ido tomando la figura y la opinión de los consumidores, ha propiciado que dichas normas, pese a su carácter voluntario, hayan ido ganando un gran reconocimiento y aceptación internacional (ISOTools, 2015).

Finalidad

Todas las normas ISO sirven para mejorar los resultados de una empresa, posicionarse mejor en el mercado, dar un mejor servicio a los clientes, diferenciarse de la competencia y demostrar innovación y liderazgo. Acreditar que se cumplen ciertos sistemas de gestión, calidad o seguridad es una opción voluntaria de cada empresa. Esta certificación es internacional, ya que va más allá de cualquier ley nacional y el organismo encargado de redactar las normas lo hace a nivel mundial, a pesar de que se compone de organizaciones nacionales (Formazion, 2018).

Ventajas para las empresas

En base a esta finalidad y objetivo inicial y debido al gran prestigio y enorme seguimiento alcanzado, las normas ISO suponen importantes beneficios para las empresas, compañías y organizaciones en general: (ISOTools, 2015)

- Proporcionan elementos para que una organización puede alcanzar y mantener mayores niveles de calidad en el producto o servicio.
- Ayudan a satisfacer las necesidades de un cliente cada vez más exigente.
- Permite a las empresas reducir costos, conseguir más rentabilidad y aumentar los niveles de productividad.
- Constituye uno de los medios más eficaces para conseguir ventaja competitiva.
- Reducir rechazos o incidencias en la producción o en la prestación de servicios.
- Implementar procesos de mejora continua.
- Conseguir un mayor y mejor acceso a grandes clientes y administraciones y a los mercados internacionales.

Actualmente, existen alrededor de 22.000 normas ISO diferentes. Cada una de ellas se encuentra enfocada en la normalización, estandarización o regulación de un elemento de los servicios y/o productos.

Norma ISO 12100.

Esta norma internacional especifica la terminología básica, los principios y una metodología para lograr la seguridad en el diseño de las máquinas. Especifica los principios de evaluación del riesgo y reducción del riesgo para ayudar a los diseñadores a alcanzar este objetivo. Estos principios están basados en el conocimiento y la experiencia en el diseño, utilización, incidentes, accidentes y riesgos asociados con las máquinas. Describe los procedimientos para la identificación de peligros y la estimación y valoración de los riesgos durante las fases relevantes del ciclo de vida de las máquinas, y para la eliminación de los peligros o la provisión de la reducción del riesgo adecuada. Proporciona directrices sobre la documentación y la verificación de la evaluación del riesgo y el proceso de reducción del riesgo (UNE (Normalización Española), 2012).

- **Reducción de riesgos**

Medidas de diseño inherentemente seguro

- **Consideración de factores geométricos y aspectos físicos**

Factores a considerar:

Factores geométricos

- La forma de la máquina se diseña con el fin de ampliar la visibilidad directa de las zonas de trabajo y de las zonas de peligro desde el puesto de mando.
- La forma y posición relativa de las partes mecánicas que las constituye: por ejemplo, los peligros de aplastamiento y cizallamiento.

- Evitar aristas cortantes, ángulos agudos, partes salientes.
- La forma de la máquina se diseña para lograr una posición de trabajo adecuada y proporcionar órganos de accionamiento accesibles.

Factores físicos

- Limitar la fuerza de accionamiento que no genere un peligro mecánico.
- Limitar la masa y/o velocidad de elementos móviles.
- Limitar las emisiones de sustancias peligrosas, emisiones de radiaciones, que incluyen.
- **Conocimientos técnicos generales del diseño de las máquinas.**

a) esfuerzos mecánicos, tales como:

- Prevención de fatiga en elementos sometidos a esfuerzos variables.
- Equilibrio estático y dinámico de los elementos giratorios.

b) materiales y sus propiedades, tales como:

- Resistencia a la corrosión, envejecimiento y desgaste.
- Dureza, ductilidad, fragilidad.
- Toxicidad
- Inflamabilidad

c) valores de emisión para:

- Ruido
- Vibraciones
- Radiaciones
- Sustancias peligrosas.

Normas DIN

Las normas DIN son los estándares técnicos para el aseguramiento de la calidad en productos industriales y científicos en Alemania.

Las normas DIN representan regulaciones que operan sobre el comercio, la industria, la ciencia e instituciones públicas respecto del desarrollo de productos alemanes. DIN es un acrónimo de 'Deutsches Institut für Normung', o bien, "Instituto Alemán de Normalización", que es la institución, con sede en Berlín y establecida en 1917, que se ocupa de la normalización alemana. El DIN realiza las mismas funciones que organismos internacionales como el ISO (Definición ABC, 2010).

Las normas DIN buscan corresponderse con el llamado «estado de la ciencia», garantizando calidad y seguridad en la producción y consumo. En ocasiones, el reglamento de las normas DIN influye sobre las regulaciones de otros organismos de normalización internacionales.

Normas INEN

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) Entidad nacional encargada de formular las Normas Técnicas Ecuatorianas teniendo como concepto básico satisfacer las necesidades locales y facilitar el comercio nacional e internacional (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2019).

El objetivo general es cumplir las competencias de organismo técnico nacional, en materia de:

- Reglamentación
- Normalización
- Metrología

Establecidos en las normativas constitucional y legal vigentes, así como en tratados, acuerdos y convenios internacionales.

Como objetivos estratégicos promover programas orientados al mejoramiento de la calidad y apoyar, de considerarlo necesario, las actividades de promoción ejecutadas por terceros.

Diseño y selección de componentes

Evaluación de soluciones y diseño mecánico

Generalidades

En el presente capítulo se detalla de manera clara el método de evaluación de soluciones de la máquina entubadora como también el diseño de los módulos que posee la máquina automatizada de tubos de cartón los cuales son el porta bobinas, entubadora y cortadora, desde su diseño con un análisis del mismo y los componentes que posee estos módulos como ejes, selección del motor, el sistema motriz de la entubadora, entre otros componentes de esta manera se puede visualizar la solidez de la máquina.

Método de evaluación de soluciones

Máquina entubadora para tubos de cartón de papel higiénico

Se pretende diseñar y construir una máquina entubadora de tubos de cartón para rollos de papel higiénico.

SOLUCIÓN A: Máquina entubadora para dos capas de cartón, con una engomadora de cascada y con un diámetro para el canuto de 2,5 pulgadas, con una entubadora de una velocidad máxima de 10 m/min, además de una cortadora manual. Y con el manejo de 4 operarios.

SOLUCIÓN B: Máquina entubadora automatizada para dos capas de cartón, con una engomadora de cascada y con un diámetro para el canuto de 2 pulgadas, con una entubadora de una velocidad máxima de 10 m/min, además de una cortadora automática. Y con el manejo de 2 operarios.

SOLUCIÓN C: Máquina entubadora para 2 a 3 capas de cartón, con una engomadora de inmersión y con un diámetro para el canuto de 2 a 3 pulgadas, con una entubadora de una velocidad máxima de 15 m/min, además de una cortadora manual. Y con el manejo de 4 operarios.

SOLUCIÓN D: Máquina entubadora automatizada para 2 a 4 capas de cartón, con una engomadora de inmersión y con un diámetro para el canuto de 2 a 3 pulgadas, con una entubadora de una velocidad máxima de 20 m/min, además de una cortadora automática. Y con el manejo de 2 operarios.

SOLUCIÓN E: Máquina entubadora automatizada de 2 a 7 capas de cartón, con una engomadora de rodillos y con un diámetro para el canuto de 2 a 5 pulgadas, con una entubadora de una velocidad máxima de 25 m/min, además de una cortadora automática. Y con el manejo de 1 operario.

Los criterios de valoración que se consideraron más determinantes fueron:

- a) **Precio moderado**, ya que es una máquina prescindible que será adquirido para la competencia de estos productos.
- b) **Mantenimiento**, que su mantenimiento sea sencillo ya que la suspensión de la máquina generaría pérdidas.
- c) **Regulación**, poder realizar canutos de diferentes diámetros y capas de cartón para la utilización de otros productos.
- d) **Engomadora**, al momento que las capas de cartón pasen por este punto que la materia prima del mismos no genere desperdicios.
- e) **Cortadora**, que la misma realice la operación de manera automática sin la intervención de más operarios para este módulo.

f) **Velocidad**, de la entubación para que los tiempos de producción sean bajos y de esta manera la reducción de costos.

g) **Fácil Operación**, que la puesta en marcha de la máquina entubadora sea de fácil manejo para los operarios.

Con los datos iniciales en la Tabla 2, se realizará una evaluación de los pesos específicos de cada uno de los criterios detallados anteriormente.

Tabla 2

Evaluación de los pesos específicos según los criterios

<i>regulación > velocidad > engomadora > cortadora > precio > operación = mantenimiento</i>									
Criterio	<i>regul.</i>	<i>veloc.</i>	<i>engo.</i>	<i>corta.</i>	<i>precio</i>	<i>oper.</i>	<i>mant.</i>	$\Sigma + 1$	Pond.
<i>regulación</i>		1	1	1	1	1	1	7	0,25
<i>velocidad</i>	0		1	1	1	1	1	6	0,22
<i>engoma.</i>	0	0		1	1	1	1	5	0,18
<i>cortadora</i>	0	0	0		1	1	1	4	0,14
<i>precio</i>	0	0	0	0		1	1	3	0,11
<i>operación</i>	0	0	0	0	0		0,5	1,5	0,05
<i>manten.</i>	0	0	0	0	0	0,5		1,5	0,05
							suma	28	1

Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones planteadas inicialmente para los criterios establecidos.

1. Evaluación Tabla 3 del peso específico del criterio de **precio moderado**.**Tabla 3***Evaluación del criterio precio moderado*

solución E > solución D > solución B > solución C > solución A

Criterio	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Sol. D	Sol. E	$\Sigma + 1$	Pond.
<i>Solución A</i>		0	0	0	0	1	0,07
<i>Solución B</i>	1		1	0	0	3	0,20
<i>Solución C</i>	1	0		0	0	2	0,13
<i>Solución D</i>	1	1	1		0	4	0,27
<i>Solución E</i>	1	1	1	1		5	0,33
					suma	15	1

2. Evaluación Tabla 4 del peso específico del criterio de **mantenimiento**.**Tabla 4***Evaluación del criterio mantenimiento*

solución E > solución D > solución C > solución B > solución A

Criterio	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Sol. D	Sol. E	$\Sigma + 1$	Pond.
<i>Solución A</i>		0	0	0	0	1	0,07
<i>Solución B</i>	1		0	0	0	2	0,13
<i>Solución C</i>	1	1		0	0	3	0,20
<i>Solución D</i>	1	1	1		0	4	0,27
<i>Solución E</i>	1	1	1	1		5	0,33
					suma	15	1

3. Evaluación Tabla 5 del peso específico del criterio de **regulación**.**Tabla 5***Evaluación del criterio regulación*

solución E > solución D > solución C > solución A = solución B

Criterio	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Sol. D	Sol. E	Σ + 1	Pond.
<i>Solución A</i>		0,5	0	0	0	1,5	0,10
<i>Solución B</i>	0,5		0	0	0	1,5	0,10
<i>Solución C</i>	1	1		0	0	3	0,20
<i>Solución D</i>	1	1	1		0	4	0,27
<i>Solución E</i>	1	1	1	1		5	0,33
					suma	15	1

4. Evaluación Tabla 6 del peso específico del criterio de **engomadora**.**Tabla 6***Evaluación del criterio engomadora*

solución E > solución C = solución D > solución A = solución B

Criterio	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Sol. D	Sol. E	Σ + 1	Pond.
<i>Solución A</i>		0,5	0	0	0	1,5	0,10
<i>Solución B</i>	0,5		0	0	0	1,5	0,10
<i>Solución C</i>	1	1		0,5	0	3,5	0,23
<i>Solución D</i>	1	1	0,5		0	3,5	0,23
<i>Solución E</i>	1	1	1	1		5	0,33
					suma	15	1

5. Evaluación Tabla 7 del peso específico del criterio de **cortadora**.**Tabla 7***evaluación del criterio cortadora*

solución B = solución D = solución E > solución A = solución C

Criterio	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Sol. D	Sol. E	Σ + 1	Pond.
<i>Solución A</i>		0	0,5	0	0	1,5	0,10
<i>Solución B</i>	1		1	0,5	0,5	4	0,27
<i>Solución C</i>	0,5	0		0	0	1,5	0,10
<i>Solución D</i>	1	0,5	1		0,5	4	0,27
<i>Solución E</i>	1	0,5	1	0,5		4	0,27
					suma	15	1

6. Evaluación Tabla 8 del peso específico del criterio de **velocidad**.**Tabla 8***Evaluación del criterio velocidad*

solución E > solución D > solución C > solución A = solución B

Criterio	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Sol. D	Sol. E	Σ + 1	Pond.
<i>Solución A</i>		0,5	0	0	0	1,5	0,10
<i>Solución B</i>	0,5		0	0	0	1,5	0,10
<i>Solución C</i>	1	1		0	0	3	0,20
<i>Solución D</i>	1	1	1		0	4	0,27
<i>Solución E</i>	1	1	1	1		5	0,33
					suma	15	1

7. Evaluación Tabla 9 del peso específico del criterio de **fácil operación**.**Tabla 9***Evaluación del criterio fácil operación*

solución B = solución D = solución E > solución A = solución C

Criterio	Sol. A	Sol. B	Sol. C	Sol. D	Sol. E	Σ + 1	Pond.
<i>Solución A</i>		0	0,5	0	0	1,5	0,10
<i>Solución B</i>	1		1	0,5	0,5	4	0,27
<i>Solución C</i>	0,5	0		0	0	1,5	0,10
<i>Solución D</i>	1	0,5	1		0,5	4	0,27
<i>Solución E</i>	1	0,5	1	0,5		4	0,27
					suma	15	1

A continuación, en la Tabla 10 el cálculo de las conclusiones para las soluciones mencionadas anteriormente:

Tabla 10*Cálculo de las conclusiones*

Criterio	regul.	veloc.	engo.	cort.	precio	oper.	mant.	Σ	Prior
<i>Solución A</i>	0,018	0,022	0,018	0,014	0,008	0,005	0,004	0,088	5
<i>Solución B</i>	0,050	0,022	0,018	0,038	0,022	0,014	0,007	0,169	4
<i>Solución C</i>	0,033	0,044	0,041	0,014	0,014	0,005	0,010	0,161	3
<i>Solución D</i>	0,068	0,059	0,041	0,038	0,029	0,014	0,014	0,263	2
<i>Solución E</i>	0,083	0,073	0,059	0,038	0,036	0,014	0,017	0,319	1

CONCLUSIÓN: La **solución E** posee una prioridad más alta para ser planteada como una solución ya que la misma es una máquina entubadora automatizada que poseerá de 2 a 7 capas de cartón, con una engomadora de rodillos, con un diámetro para el canuto de 2 a 5 pulgadas, también una entubadora de una velocidad máxima de 25 m/min, además de una cortadora automática. Y con el manejo de 1 operario. Siendo esta la de precedencia seguida de la solución D, solución C, solución B, solución A, respectivamente.

Casa de la calidad

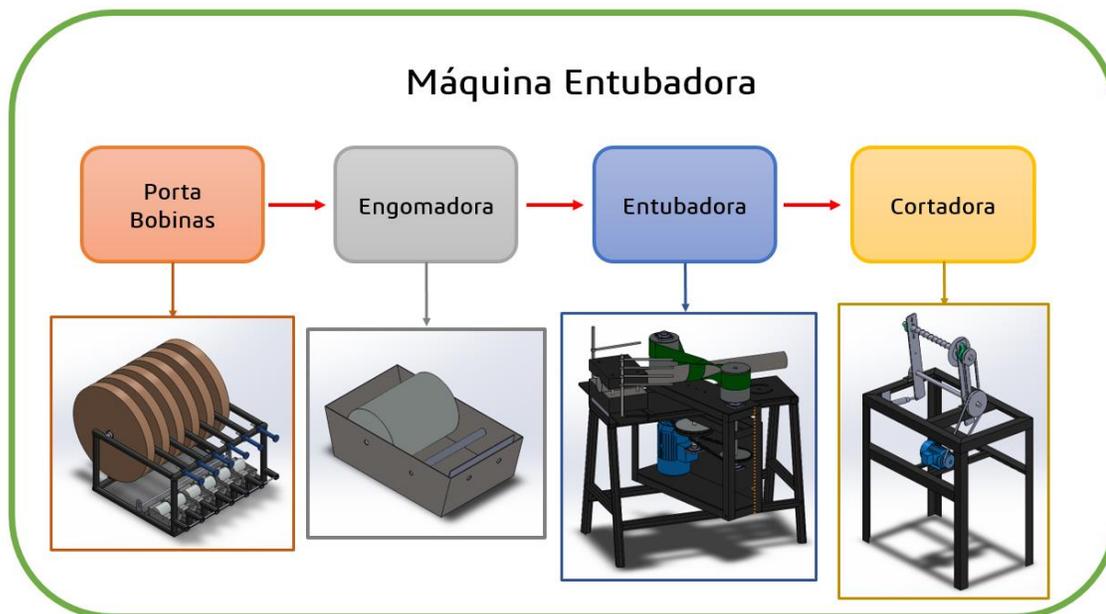
La casa de la calidad Anexo 12 permitirá focalizar las prioridades que se deben tener en cuenta al momento de diseñar los módulos de la máquina entubadora. De esta manera se podrá cubrir las prioridades de los clientes, una evaluación con la competencia, las características técnicas que la diferenciara, las relaciones fuertes, débiles y bajas que la caracterizaran. Finalmente, mostrará un resumen de los objetivos que poseerá la máquina automatizada de tubos de cartón.

Esquema del Diseño de la Máquina Automatizada de Tubos de Cartón

Una vez obtenida la solución que se va a desarrollar en el presente proyecto, se procede a determinar los módulos existentes en la máquina cortadora para posteriormente proceder a diseñar las piezas que conformaran las mismas. es necesario tener en cuenta que la máquina cortadora consta de 4 módulo esenciales para poder efectuar de manera eficiente su objetivo; estos módulos están ubicados de manera secuencial ya que este es el proceso que debe pasar el cartón para llegar a su producto final Figura 25.

Figura 25

Esquema máquina entubadora



A continuación, se describirá cada uno de los módulos que contiene la máquina automatizada.

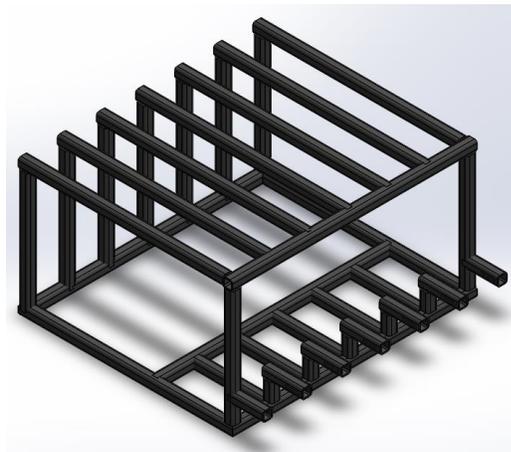
Módulo porta bobinas

Siendo el módulo porta bobinas, el inicio del proceso de fabricación es necesario tener en cuenta los aspectos o requerimientos que necesita este para poder ser diseñado. Como primer punto, la propuesta de este proyecto es el enrollado de tubos de cartón de hasta 4 capas independientemente del gramaje del cartón y su espesor, no obstante, la máquina está pensada a ser diseñada para una expansión a futuro, en otros términos, generar tubos de cartón superior a las 4 capas que pueden ser utilizados para otras aplicaciones y poder expandirse a un posible nuevo mercado.

Por eso en base a varias ideas de diseño que sirvieron de inspiración de diferentes modelos de máquinas entubadoras, máquinas de papel higiénico y diversas máquinas que trabajan con bobinas de papel, se ha optado un diseño un poco más compacto que brinde facilidad a la hora de la guiar el papel por lo diferentes módulos.

Figura 26

Estructura del porta bobinas



Como se puede apreciar en la Figura 26 es una estructura bastante compacta y robusta que da la posibilidad de colocar las bobinas por su parte posterior, mediante un eje de apoyo que será ilustrado más adelante. la estructura posee 6 canales que provee los medios para ingresar 6 bobinas para enrollar, como se explicó anteriormente la máquina está pensada a una expansión a futuro; este modelo puede ser replicado y ubicado paralelamente a al primer módulo para que se expanda a una capacidad de 12 bobinas, todo dependerá del producto a entregar. La estructura será fabricada tubo cuadrado de 2 pulgadas, con un espesor de 2 mm, esto garantizará un soporte robusto para colocar todos los implementos de la misma.

Figura 27

Diseño compacto del porta bobinas



La estructura posee dentro de sus canales, seis encajes internos Figura 27 que posteriormente serán utilizados para el engomado del papel, optimizando de esta manera el espacio que ocupara la máquina. Además de eso posee siete vigas en voladizo con canales internos que permitirán colocar ejes guías regulables para direccionar el papel a la siguiente estación. Las bobinas de papel Kraft que cargara la máquina tienen un peso que ronda entre los 20 y 30 kg, las estructura está diseñada para cargar filetes de papel de 1 metro de diámetro y un ancho de no más de ciento treinta milímetros. La bobina reposará sobre un eje hueco de acero Figura 28a) que podrá ser fácilmente colocado en el centro de la misma, y esta podrá posarse en la parte superior de la estructura como se ilustra en la siguiente Figura 28b)

Figura 28

Bobinas de cartón

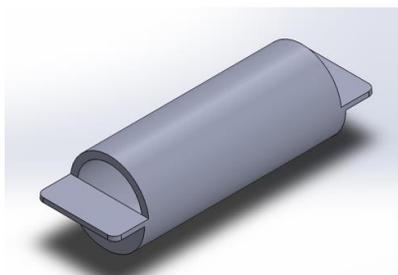


Figura a) Eje hueco

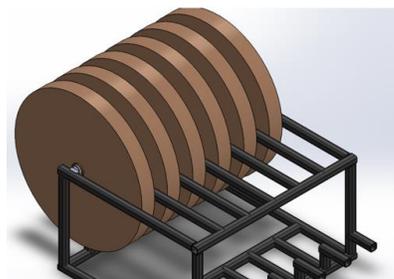
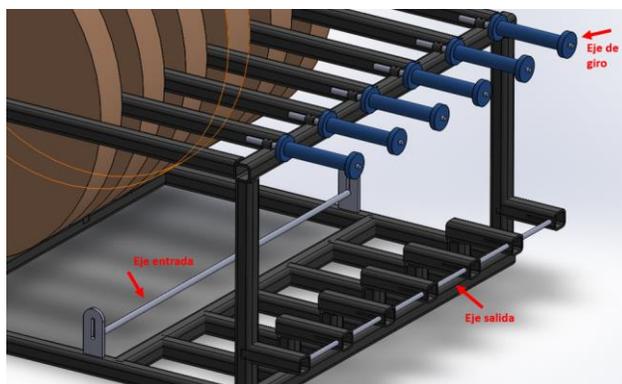


Figura b) Parte superior de la estructura

Muchos de los modelos de máquinas entubadoras que existen comercialmente, no están pensadas para la optimización de espacio, es decir cada uno de los módulos de la máquina en general son muy distanciados generando así una área de trabajo para una sola máquina muy extenso, esta estructura del porta bobinas posee 3 ejes guías regulables para el manejo y direccionamiento del papel, el primer eje está pensado para el ingreso al sub módulo de engomado este es regulable para que se pueda decidir si ejercer mayor o menor presión sobre el rodillo de engomado, el segundo eje o eje de salida está colocado verticalmente abajo del eje de giro, además siendo este regulable debido a que el papel debe entrar de manera escalonada a la máquina entubadora. Finalmente, le tercer y último eje presenta en su composición rodamientos que eliminan la fricción del papel disminuyendo el esfuerzo que se ejerce en el papel mientras se genera el giro, adicional a esto posee un par de aletas que impiden que le papel tienda a salirse del rodillo, este último eje también es regulable para colocar más adelante o atrás el papel, y formar la escalera de entrada la máquina entubadora; todo lo explicado anteriormente puede verse más detallado en la Figura 29.

Figura 29

Máquina entubadora



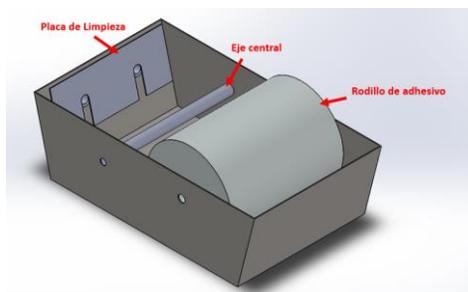
Módulo engomador

Uno de los componentes principales para la fabricación de tubos de cartón, sin importar el número de capas, es la aplicación del pegamento o adhesivo, ya que este es el encargado de mantener la estructura firme, después de que cada capa de papel Kraft o cartón sean comprimidos.

Se ha decidido aplicar el pegamento por medio de rodillos en la cara inferior del papel. existen modelos en los que el sistema de engomado son módulos aparte en donde se colocan bandejas de pegamento y un solo rodillo coloca el pegamento a 2 hasta 3 capas, se ha planteado generar bandejas independientes para cada capa la cual permite al usuario el fácil mantenimiento y limpieza de las mismas.

Figura 30

Bandeja del engomado



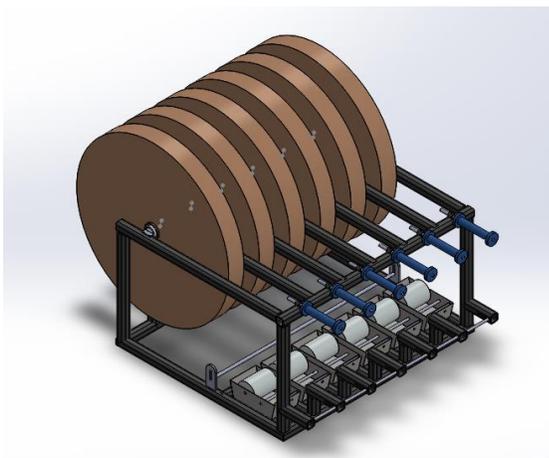
Como se muestra en la Figura 30, la bandeja cuenta como 3 partes primordiales, que son el rodillo de adhesivo, que es el encargado de colocar el pegamento en la cara inferior del papel, el papel hace girar el rodillo recogiendo el pegamento que se encuentra en la parte inferior de la bandeja; el eje central ayuda a ejercer presión del papel sobre el rodillo adhesivo y hacerlo girar, de la misma manera existe la placa de limpieza que distribuye el pegamento uniformemente en el papel, y elimina el exceso dejándolo dentro de la bandeja para que no exista desperdicio. Cabe recalcar que toda será fabricada en

acero inoxidable para su mantenimiento y que el volumen máximo de pegamento por bandeja es de 900 cm^3 y un mínimo de 471 cm^3 .

El sistema de porta bobinas y entubado se puede apreciar en la siguiente Figura 31.

Figura 31

Sistema del porta bobinas



Módulo de la entubadora

Existen varios modelos de máquinas entubadoras en el mercado unas más grandes unas más pequeñas, todo depende de la aplicación o el espesor de los tubos de cartón que se va a fabricar, pero todas constan con el mismo sistema, un eje que sirve como núcleo, dependiendo el tamaño del tubo a fabricar, anclado a una brida colocado en voladizo, en este eje se enrollarán las capas de cartón, que serán comprimidas por una banda plana perteneciente a un par de rodillos.

Se piensa en una máquina que cumpla su objetivo, y sea óptima en su espacio. La estructura base, Figura 35, que será anclada al suelo en sus cuatro apoyos, en donde reposará todos los componentes de la módulo principal de la máquina.

A esta estructura se le añadirá Figura 32, el sistema de transmisión y el soporte donde estará anclado el eje núcleo en donde se enrollarán los tubos de cartón.

Figura 32

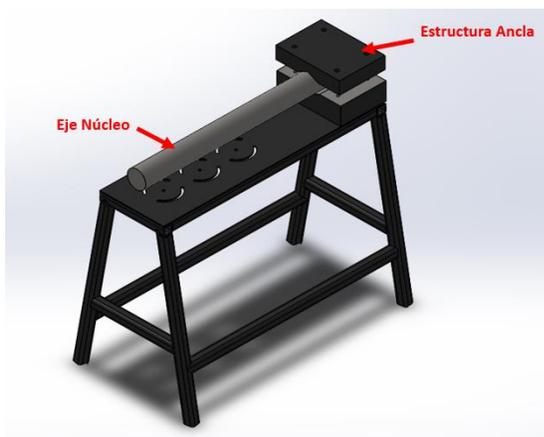
Estructura base máquina entubadora



La estructura base Figura 33 contara con una placa de 6mm de espesor suficiente para poder, anclar la estructura donde se anclará el eje de núcleo de los tubos de cartón, este eje podrá medir de 2 a 6 pulgadas de diámetro; y además de esto la palca contara con 3 ranuras que permitirán, la rotación del ángulo de la banda y permitirán desplazar el sistema motriz de la máquina hacia atrás o adelante, pensando en que posteriormente se aumentaran el número de capas a la máquina.

Figura 33

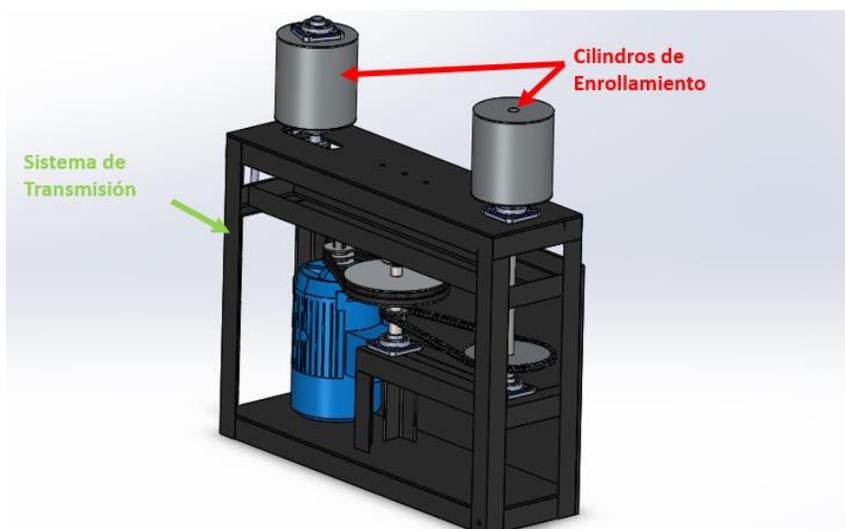
Partes de la estructura de la máquina



El sistema motriz de la máquina entubadora, es el encargado de enrollar las caras del papel sobre el eje núcleo, este consta de dos cilindros coloniales que están conectados por una banda plana que se enrolla en el eje núcleo.

Figura 34

Sistema motriz de la engomadora



La estructura motriz como se puede observar en la Figura 34, está diseñada con una pequeña abertura para que pueda deslizarse a través de la estructura base. Para poder anclarse a cualquiera de las tres ranuras que existen en la placa base. Los cilindros en la parte superior, poseen 180 mm de diámetro, uno de ellos está conectado directamente al sistema motriz por medio de un sistema de transmisión de potencia, que se explicara posteriormente. El otro cilindro es un cilindro libre, que podrá desplazarse hacia el centro o hacia afuera para poder templar la banda, que ejercerá presión sobre el papel enrollado.

Finalmente, el módulo de engomado necesita ejes guías para la entrada del papel, estos serán colocados al costado de la máquina para que pueda ingresar el papel de manera correcta; las tiras de papel o de cartón que ingresan a la máquina tiene que ingresar de manera escalonada, deben tener una separación constante entre cada capa y esta no puede superar los 20 m.

Figura 35

Ingreso del cartón a la máquina

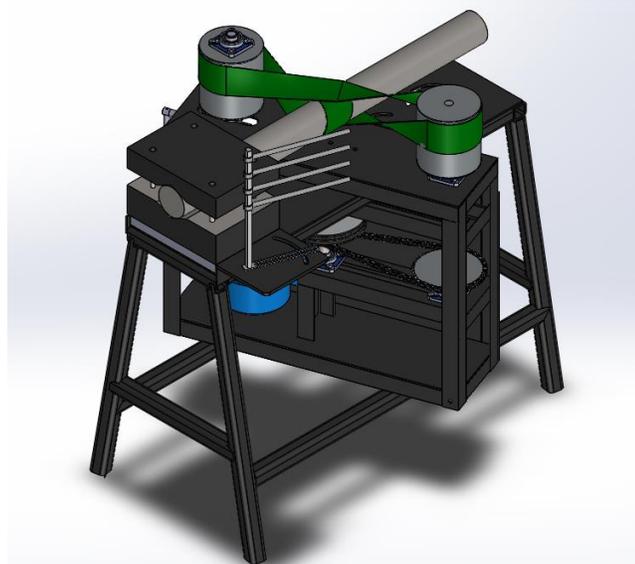


En la Figura 35, se ve claramente como el papel debe entrar el papel de forma escalonada, es importante aclarar, que cada una de las capas de poseer la cara superior engomada a excepción de la primera capa que tiene contacto directo con el núcleo, debido a que esta se desliza a lo largo del eje, y este debe ser liso sin ningún tipo de residuo.

En la siguiente Figura 36, se muestra el resultado final del diseño del módulo.

Figura 36

Diseño final del módulo engomado



Módulo de la cortadora

Para dar como finalizado, al diseño de la máquina entubadora, necesita un módulo muy por importante, el cual es el encargado de reducir los tiempos de producción de manera considerable, el módulo cortador es la parte final para que el producto, tubos de cartón, quede terminado y listo para ser distribuido. Este módulo debe ser, pensado a una expansión, igual que los anteriores, y diseñado para que en un futuro se pueda aumentar su eficacia, manteniendo el mismo sistema inicial.

Hay que recalcar, que este módulo es posterior al a fabricación a los tubos de cartón, y el tiempo de producción y entrega del producto depende mucho de este módulo.

Este módulo debe ser colocado y alineado en la parte delantera de la máquina, para esto se ha basado igualmente como toda la máquina, en un tubo cuadrado de 2 pulgadas, la razón de esto, aunque la máquina no realice un esfuerzo considerable, es el evitar un desperdicio de material sobrante.

Figura 37

Mesa del módulo de la cortadora

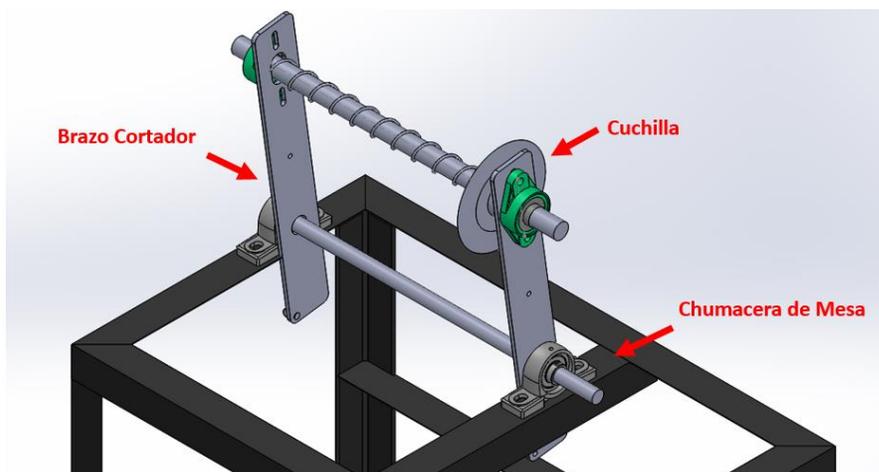


Al igual, que los módulos anteriores constan de una mesa pequeña, Figura 37, en la cual reposara el sistema móvil de cortado. Esta mesa será utilizada como soporte para el brazo cortador y el sistema motriz que reposara en la parte inferior.

El Brazo cortador está anclado a dos chumaceras de mesa las cuales permitirían la rotación del mismo, esta rotación permitirá acercar la cuchilla para cuando se necesite cortar, como alejarla para que esta vuelva a su posición inicial, Figura 38.

Figura 38

Partes del módulo cortador

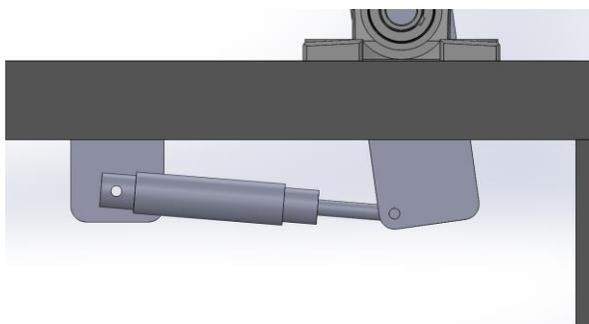


La razón de esta estructura móvil, es que la máquina entubadora no puede parar mientras se está cortando el tubo de cartón, en otras palabras, la máquina cortadora de tubos de cartón, debe seguir la otra máquina en u velocidad lineal para realizar un corte ortogonal al eje del tubo de cartón.

El actuador de este brazo no será más que un pistón de doble efecto conectado a la parte inferior de la mesa de soporte, figura 39, este será el encargado mediante accionamientos neumáticos de producir el corte, estos accionamientos serán manipulados desde el circuito de control.

Figura 39

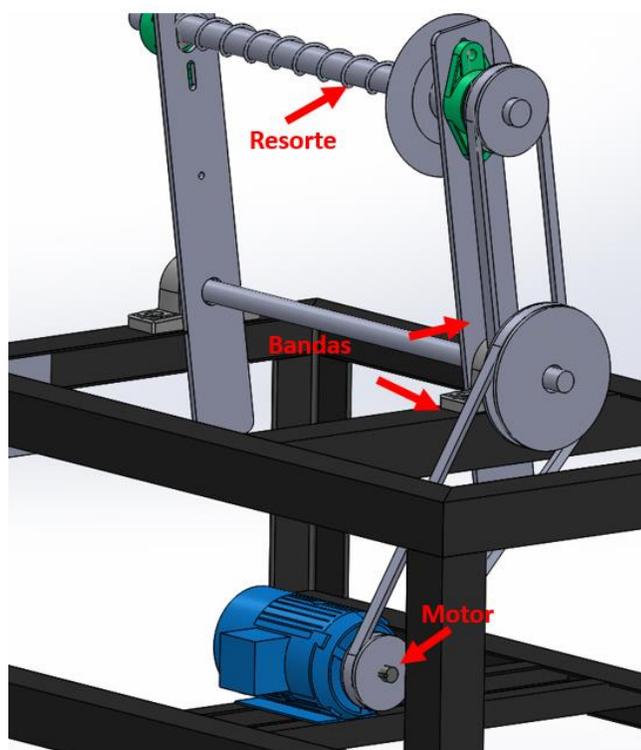
Partes de la ubicación de la cortadora



El eje que se encuentra en el extremo del brazo cortador, está conectado por dos chumaceras de pared que permiten la rotación del mismo, este eje es fundamental ya que es el encargado de transmitir el giro a la cuchilla. La cuchilla podrá deslizarse a través de esta efectuando el corte sin perder motricidad, cabe recalcar que le eje posee una chaveta que es la encargada de transmitir el movimiento.

Figura 40

Sistema de cortado



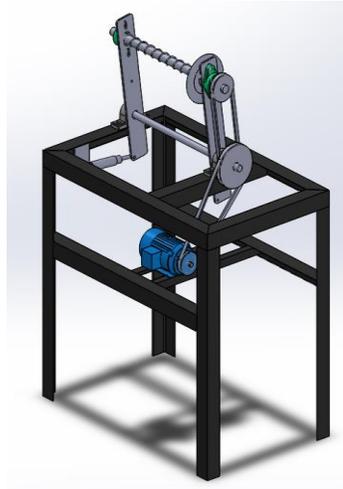
El sistema de cortado, Figura 40, consta de un motor que reposará en la parte inferior de la estructura base, este estará conectado por un sistema de transmisión basado en bandas desde el motor hasta el eje en el extremo del brazo, se utilizan dos bandas para poder realizarla transmisión sin que varíe el radio de giro y perder tensión en la banda, cabe recalcar que la cuchilla efectuara un corte ortogonal y se desplazara

gracias a que el propio cartón la ira empujando, y el método para poder regresar a su posición inicial será un resorte que estará en el mismo eje.

En la Figura 41 se puede observar la estructura final del módulo cortador.

Figura 41

Módulo final de la cortadora

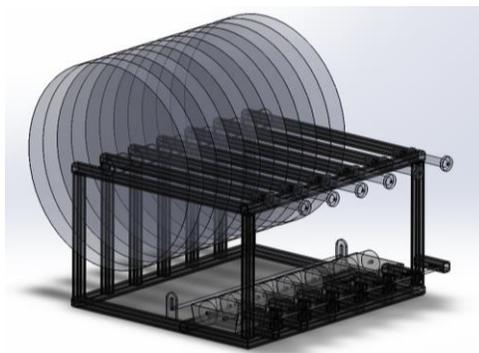


Diseño de módulo porta bobinas

Para comprobar si el diseño del módulo Figura 42 porta bobinas se realizará un análisis estructural de la misma que permitirá visualizar las posibles fallas con las fuerzas a las que estará sometida.

Figura 42

Análisis del módulo porta bobinas



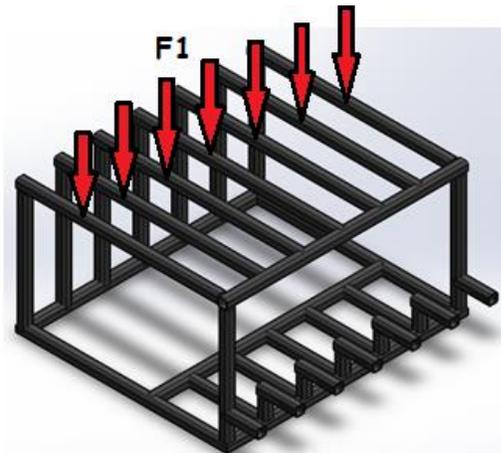
A continuación, se detallará las fuerzas que actúan en el módulo, la deformación total y el factor seguridad.

Análisis de fuerzas del porta bobinas

Las fuerzas que actúan en el módulo del porta Figura 43 bobinas es una F_1 la cual representa el total del peso de las bobinas de cartón, es decir, una fuerza que se ubica en la parte superior de la estructura en los soportes de la porta bobinas que se visualizan con un total de 7 de 200 N cada uno ya que cada bobina de cartón posee un peso de 400 N, dando un total de la fuerza F_1 de 1400 N.

Figura 43

Análisis de fuerzas del porta bobinas



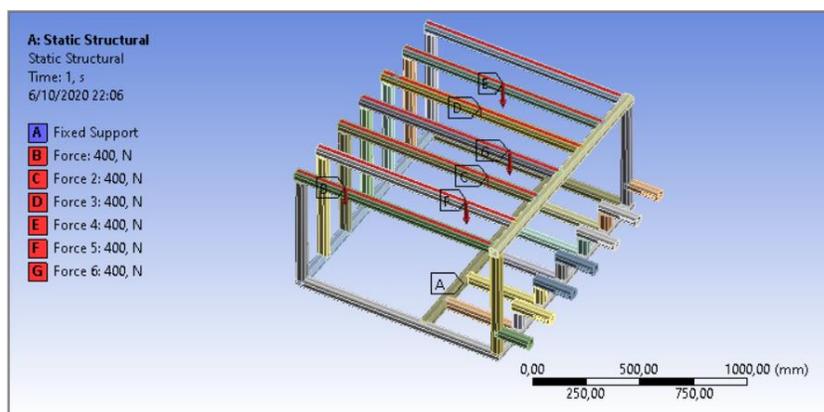
Análisis estructural de módulo porta bobinas

1. Ubicación de los soportes fijos y la fuerza, que se ubican en la parte inferior y superior respectivamente.

El soporte fijo Figura 44 se ubica en la parte inferior de la estructura para evitar el desplazamiento del mismo al instante del análisis de deformación y se ubicara fuerzas en la parte superior de la estructura en los soportes de la porta bobinas.

Figura 44

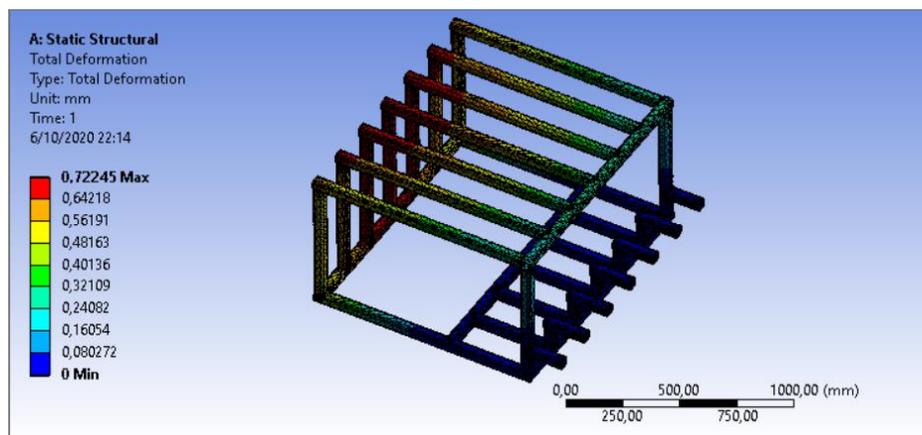
Soporte fijo y fuerzas del porta bobinas



2. Solución del análisis estructural donde la mayor deformación de la estructura existirá en la parte superior en los soportes del porta bobinas si este se excede de la fuerza ocasionando fallas e inestabilidad para los rollos de cartón.

Figura 45

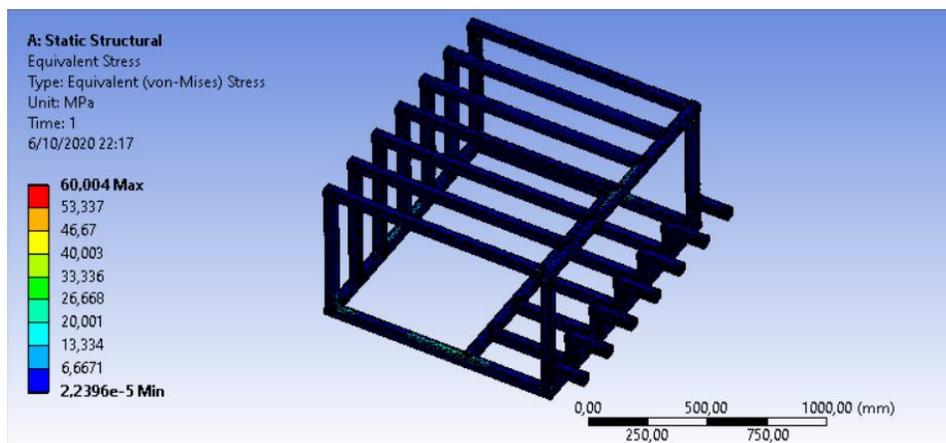
Deformación total del porta bobinas



La deformación total Figura 45 tiene un máximo de 0,72245 mm indicando que a los esfuerzos que está sometida la estructura no causa deformación en la misma que cause desalineación en la estructura del porta bobinas interfiriendo en el proceso de la engomadora.

Figura 46

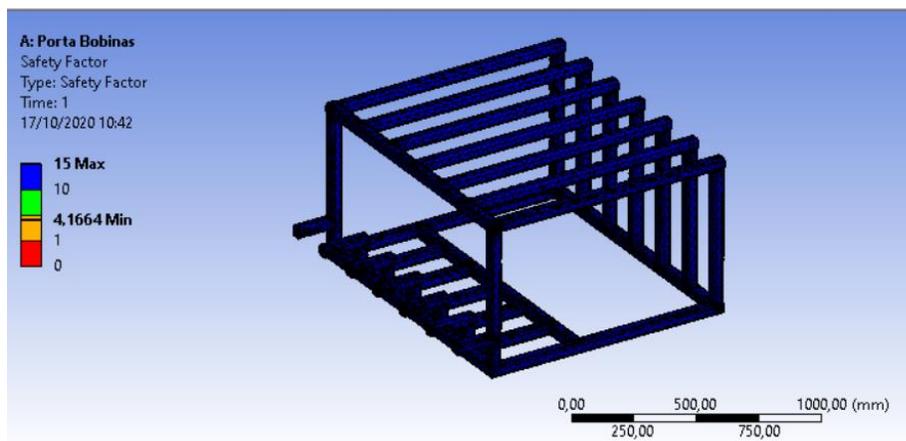
Esfuerzo equivalente del porta bobinas



El esfuerzo equivalente Figura 46 máximo es de 60,004 MPa , el cual en la gráfica no posee relevancia es decir que no está sometido a distorsiones en el módulo del porta bobinas.

Figura 47

Factor de seguridad del porta bobinas



El Factor de Seguridad Figura 47 es de 4,1664 lo que muestra que puede estar sometido a las fuerzas que actúan en el módulo y no sufrir daños en la misma, lo cual su diseño es adecuado para soportar las bobinas de cartón.

Diseño estructural de la máquina entubadora

Para comprobar si el diseño del módulo de la entubadora Figura 48 se realizará un análisis estructural de la misma que permitirá visualizar las posibles fallas con las fuerzas a las que estará sometida.

Figura 48

Análisis del módulo de la entubadora



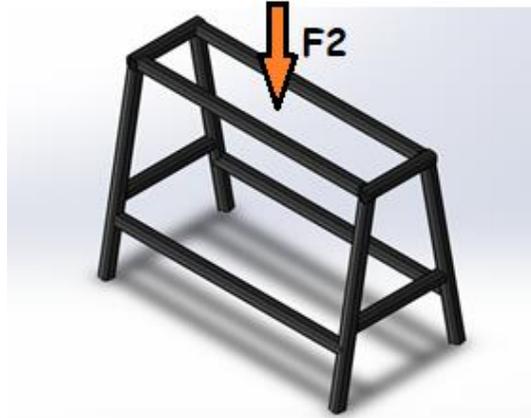
A continuación, se detallarán las fuerzas, la deformación total y el factor seguridad.

Análisis de Fuerzas del módulo entubador

En el módulo de la máquina entubadora las fuerzas que actúan son una Fuerza F_2 que representa el peso que estará sometida esta estructura la cual es aproximadamente de 4500 N para realizar el análisis se realizara con una fuerza de 5000N.

Figura 49

Análisis de fuerzas del módulo entubador



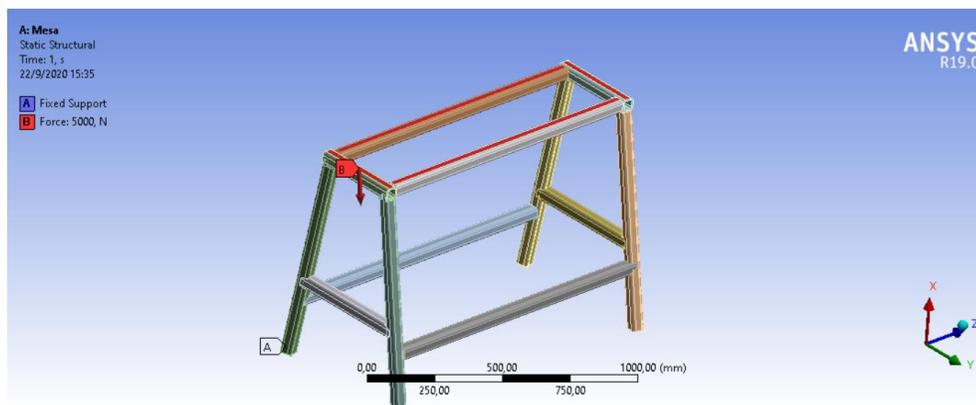
Análisis estructural de la máquina entubadora

1. Ubicación de los soportes fijos y la fuerza, que se ubican en la parte inferior y superior respectivamente.

El soporte fijo Figura 50 se ubica en la parte inferior de la estructura para evitar el desplazamiento del mismo al instante del análisis de deformación y se ubicara fuerzas en la parte superior de la estructura en los soportes de la entubadora.

Figura 50

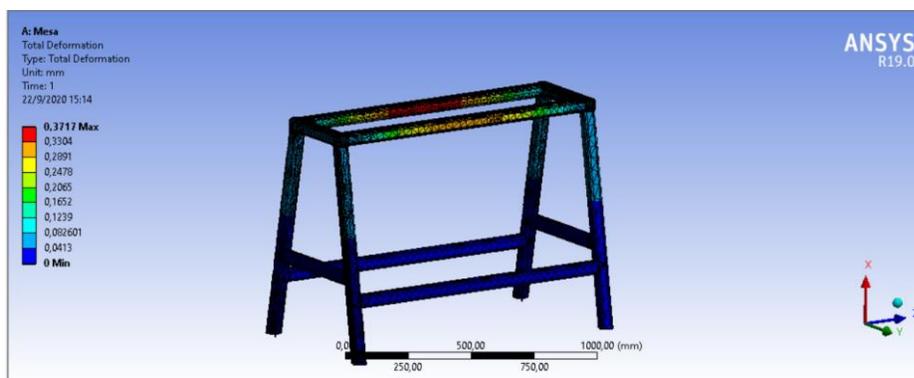
Soporte fijo y fuerza de la entubadora



- Solución del análisis estructural donde la mayor deformación de la mesa existirá en la parte superior de la misma si este se excede de la fuerza ocasionando fallas en el sistema de engomado de la máquina.

Figura 51

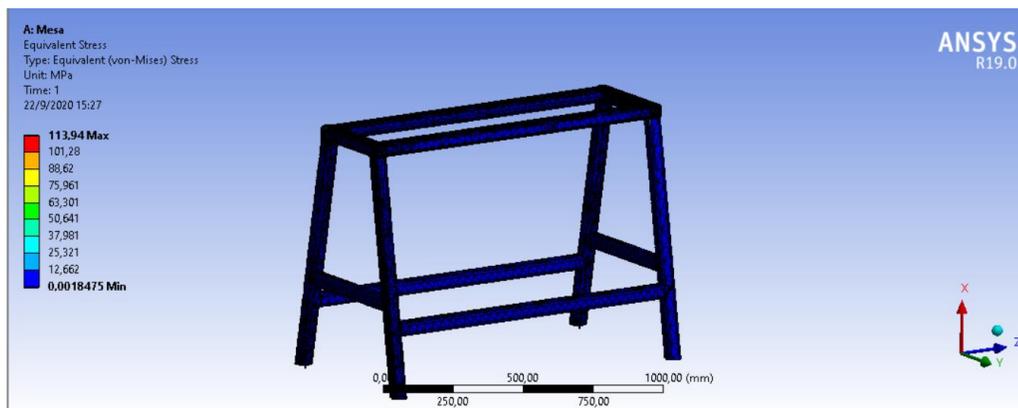
Deformación total de la entubadora



La deformación total Figura 51 tiene un máximo de 0,3717 mm indicando que a los esfuerzos que está sometida la estructura no causa deformación en la misma que cause desalineación en la máquina interfiriendo en el proceso de producción y en la vida útil de la máquina.

Figura 52

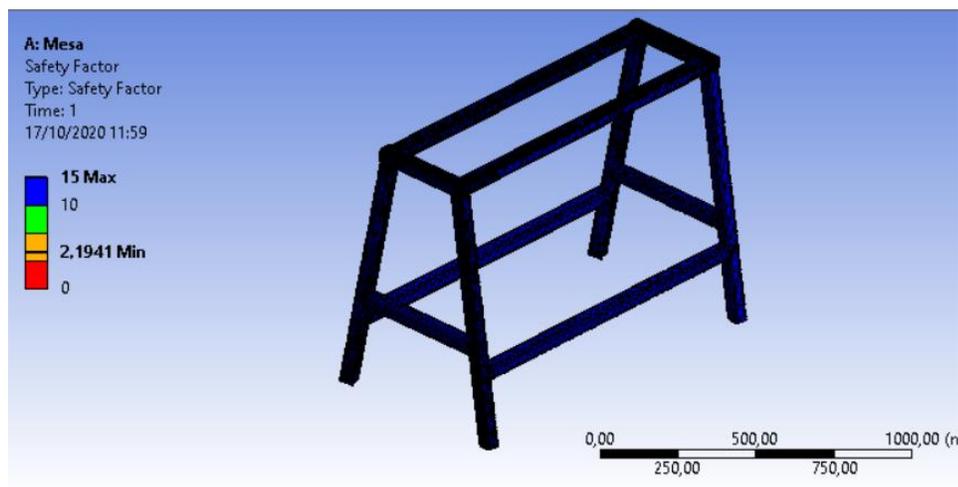
Esfuerzo equivalente de la entubadora



El esfuerzo equivalente máximo Figura 52 es de 113.94 MPa, el cual en la gráfica no posee relevancia es decir que no está sometido a distorsiones en la máquina.

Figura 53

Factor de seguridad del módulo de la entubadora



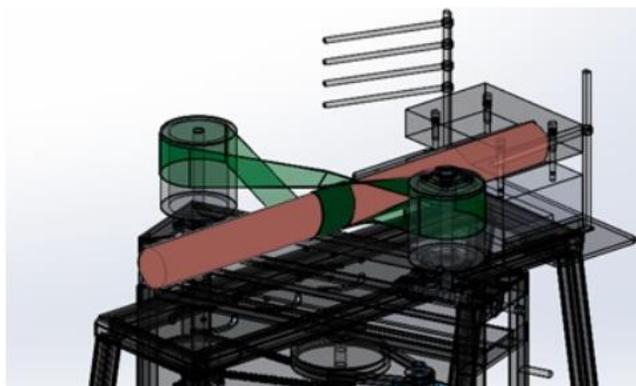
El Factor de seguridad Figura 53 es de 2,1941 lo que muestra que puede estar sometido a las fuerzas que actúan en el módulo y no sufrir daños en la misma, lo cual su diseño es adecuado para soportar el sistema de transmisión, el eje núcleo, entre otros.

Análisis estructural del eje base del módulo de la entubadora

Uno de los componentes del módulo de la entubadora es el eje base Figura 54, en donde se realiza el canuto por lo que es necesario realizar un análisis del mismo.

Figura 54

Análisis del eje base del módulo de la entubadora

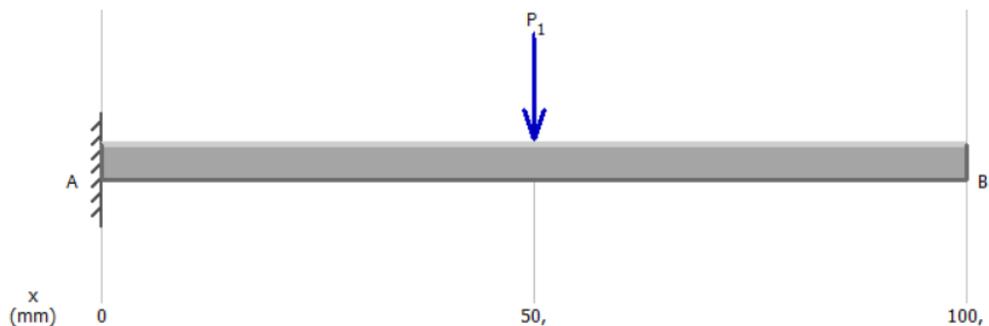


- **Análisis de fuerzas del eje del módulo de la entubadora**

En la Figura 55 se pueden observar la fuerza que actúan en el eje núcleo del módulo de la entubadora que es el peso que se ejerce en el mismo que es de 750N.

Figura 55

Análisis de fuerzas del eje base



- Diagrama de fuerzas cortantes

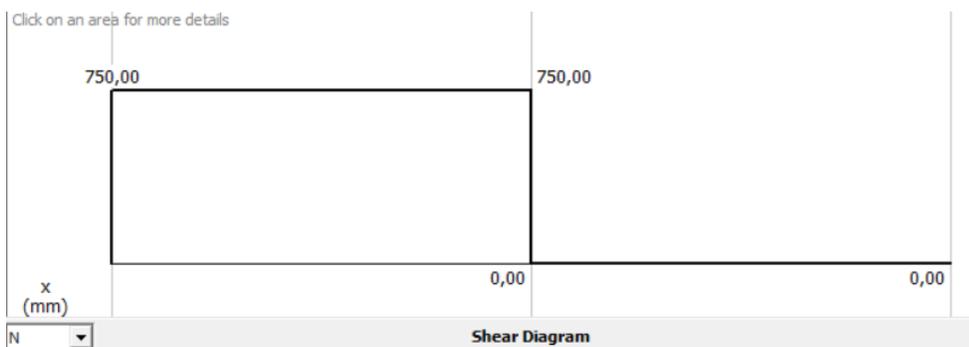
$$\sum F_y = 0$$

$$F_{Ay} - (750) = 0$$

$$F_{Ay} = 750 \text{ N}$$

Figura 56

Diagrama de fuerzas del eje base



- Diagrama de momentos flectores

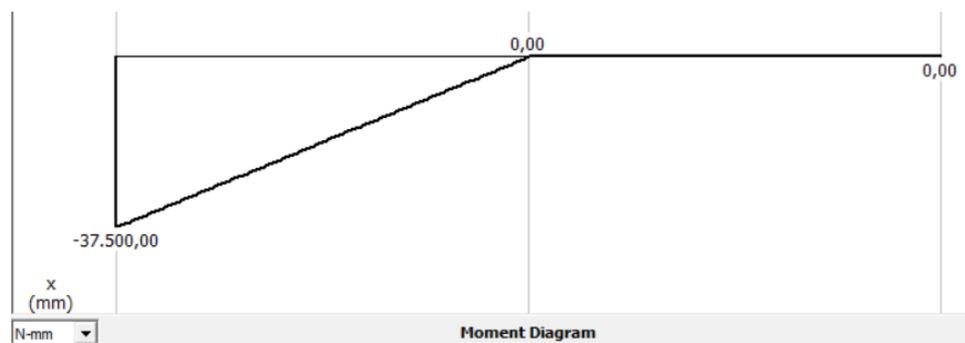
$$\sum M_A = 0$$

$$-M_A - (750)(50) = 0$$

$$M_A = -37500 \text{ Nmm}$$

Figura 57

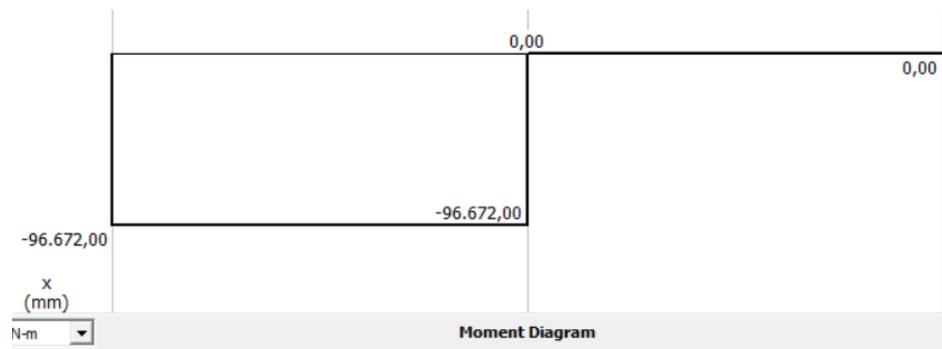
Diagrama de momentos flectores del eje base



- Diagrama de torques

Figura 58

Diagrama de torque del eje base



- **Análisis de esfuerzos**

Punto B

$$\sigma_{xM} = \pm \frac{32M}{\pi D^3}$$

$$\sigma_{xM} = \pm \frac{32(37.5Nm)}{\pi(0.0508 m)^3}$$

$$\sigma_{xM} = \pm 2.914 MPa$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{2.914}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{2.914}{2}\right)^2 + (3.756)^2}$$

$$\sigma_1 = 5.486 MPa$$

$$\sigma_2 = -2.512 MPa$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2}$$

$$\sigma' = \sqrt{(5.486)^2 + (-2.512)^2 - (5.486)(-2.512)}$$

$$\sigma' = 7.084 MPa$$

El esfuerzo máximo que tendrá el eje es de 7.084 MPa indicando que a los esfuerzos que está sometida la estructura no causará una deformación en la misma que cause inestabilidad al momento de realizar el canuto.

$$\tau_{xy} = \frac{16T}{\pi D^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16(96.672)Nm}{\pi(0.0508 m)^3}$$

$$\tau_{xy} = 3.756 MPa$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{2.914}{2}\right)^2 + (3.756)^2}$$

$$\tau_{max} = 4.029 MPa$$

Con un esfuerzo cortante máximo que es de 4.029 MPa indicando que a los esfuerzos que está sometida la estructura no causara distorsiones en el canuto.

AISI 1018 → $S_y = 370 MPa$

- **Esfuerzo cortante máximo (ECM)**

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2 FS}$$

$$FS = \frac{S_y}{2 \tau_{max}}$$

$$FS = \frac{370 MPa}{2 (4.029 MPa)}$$

$$FS = 4.592$$

- **Energía de distorsión (ED)**

$$\sigma' = \frac{S_y}{FS}$$

$$FS = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$FS = \frac{370 MPa}{(7.084 MPa)}$$

$$FS = 5.223$$

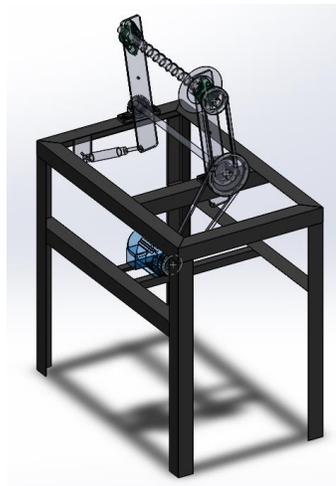
Con las teorías de Esfuerzo Cortante Máximo (ECM) y Energía de Distorsión (ED) se puede comprobar que posee un factor de seguridad de 4.592 y 5.223 respectivamente, es decir, que el sistema podrá mantener su estabilidad si es sometido a otras fuerzas.

Diseño del módulo cortador

Para comprobar si el diseño del módulo de la cortadora Figura 59 se realizará un análisis estructural de la misma que permitirá visualizar las posibles fallas con las fuerzas a las que estará sometida.

Figura 59

Análisis del módulo de la cortadora



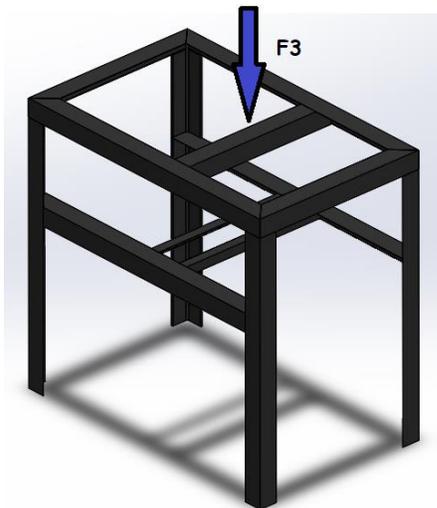
A continuación, se detallará las fuerzas que actúan en el módulo, la deformación total y el factor seguridad.

Análisis de fuerzas de la cortadora

En el módulo de la cortadora Figura 60 las fuerzas que actúan son una Fuerza F3 que representa el peso que estará sometida esta estructura la cual es aproximadamente de 700 N para realizar un análisis estructural se usará una fuerza de 1000N.

Figura 60

Análisis de fuerzas de la cortadora

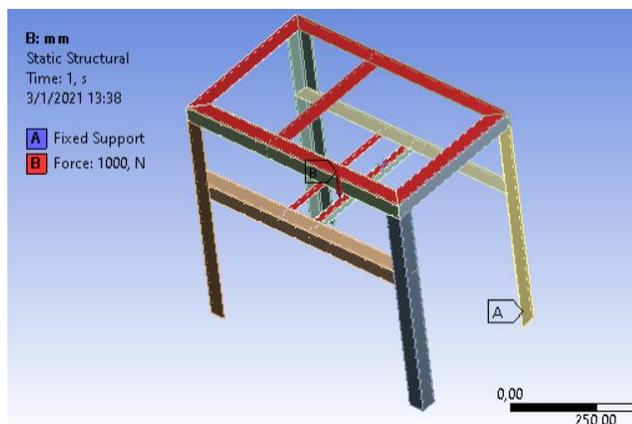
**Análisis estructural de la cortadora**

1. Ubicación de los soportes fijos y la fuerza, que se ubican en la parte inferior y superior respectivamente.

El soporte fijo Figura 61 se ubica en la parte inferior de la estructura para evitar el desplazamiento del mismo al instante del análisis de deformación y se ubicara la fuerza en la parte superior de la estructura de la cortadora.

Figura 61

Soporte fijo y fuerza de la cortadora

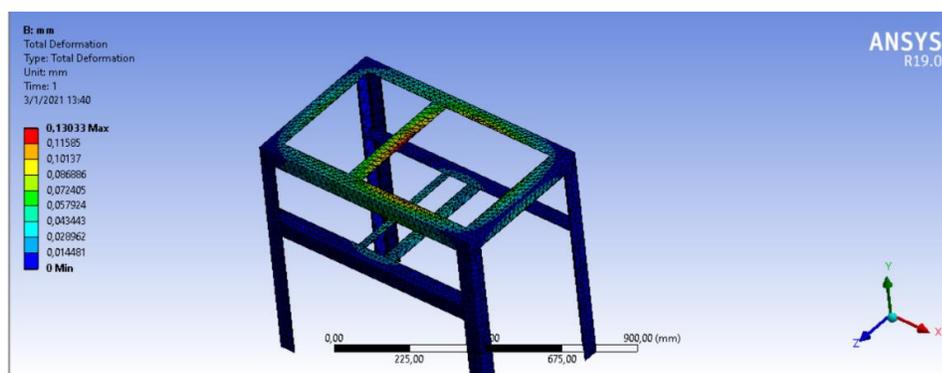


El peso que soporta la estructura es aproximadamente de 700 N para realizar el análisis se utilizará una fuerza de 1000 N observando la deformación del mismo.

2. Solución del análisis estructural donde la mayor deformación de la mesa existirá en la parte superior de la misma si este se excede de la fuerza ocasionando fallas al momento de cortar el canuto en pequeñas partes.

Figura 62

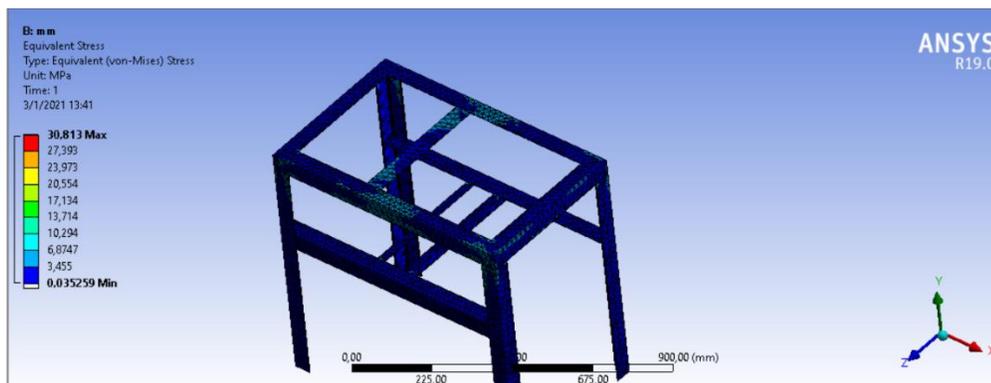
Deformación total de la cortadora



La deformación total Figura 62 tiene un máximo de 0,13033 mm indicando que a los esfuerzos que está sometida la estructura no causa deformación en la misma que cause un mal corte del canuto e interfiriendo en la calidad del mismo.

Figura 63

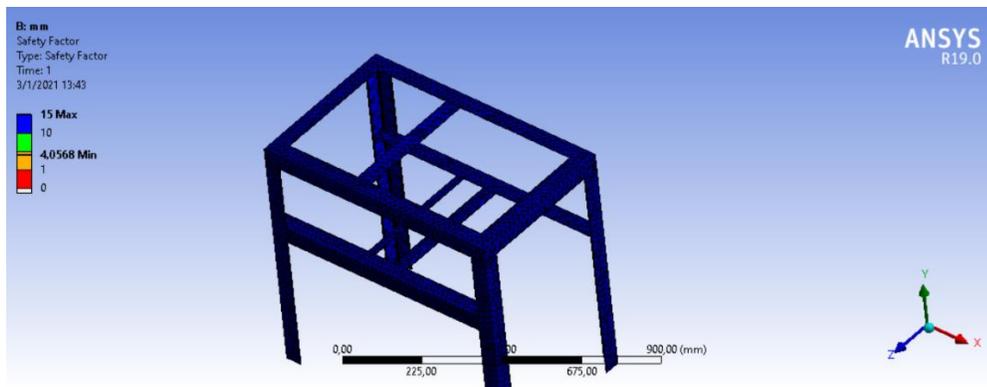
Esfuerzo equivalente de la cortadora



El esfuerzo equivalente máximo Figura 63 es de $30,813 \text{ MPa}$, el cual en la gráfica no posee relevancia es decir que no está sometido a distorsiones que influyan en el módulo de corte del canuto.

Figura 64

Factor de seguridad del módulo de la cortadora



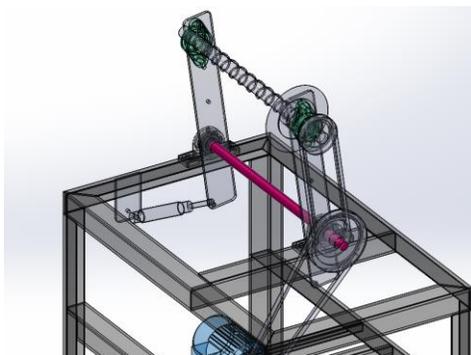
El Factor de seguridad Figura 64 es de 4,0568 lo que muestra que puede estar sometido a las fuerzas que actúan en el módulo y no sufrir daños en la misma, lo cual su diseño es adecuado para soportar el sistema de corte de los canutos.

Análisis estructural del eje inferior

Uno de los componentes del módulo de la cortadora es el eje de inferior Figura 65, el cual sirve como para el sistema de transmisión para la cortadora.

Figura 65

Análisis estructural del eje inferior

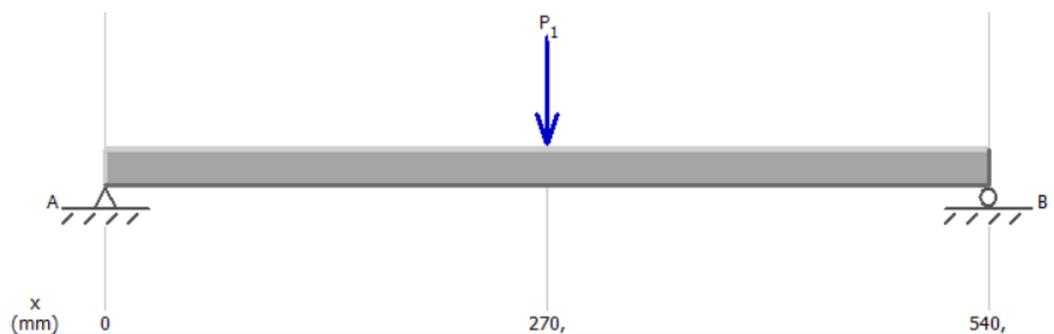


- **Análisis de fuerzas del eje inferior del módulo de la cortadora**

En la Figura 66 se pueden observar la fuerza que actúan en el eje del módulo de la cortadora que es el peso que se ejerce los componentes que colaboran con el soporte de la cortadora 100N.

Figura 66

Análisis de fuerzas del tubo de soporte



- Diagrama de fuerzas cortantes

$$\sum M_B = 0$$

$$A_y(0.540) - (100)(0.270) = 0$$

$$A_y = 50 \text{ N}$$

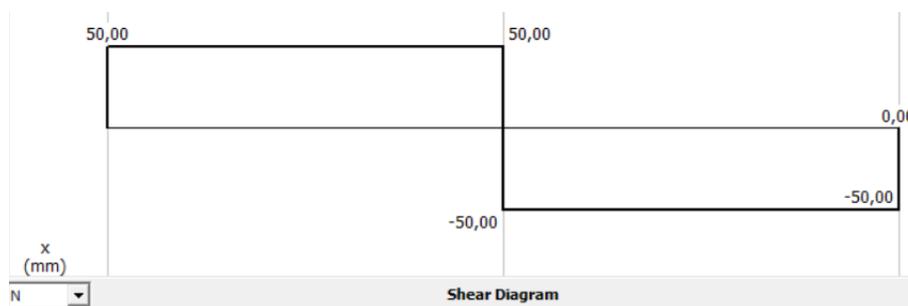
$$\sum M_A = 0$$

$$-(100)(0.270) + B_y(0.540) = 0$$

$$B_y = 50 \text{ N}$$

Figura 67

Diagrama de fuerzas del eje soporte



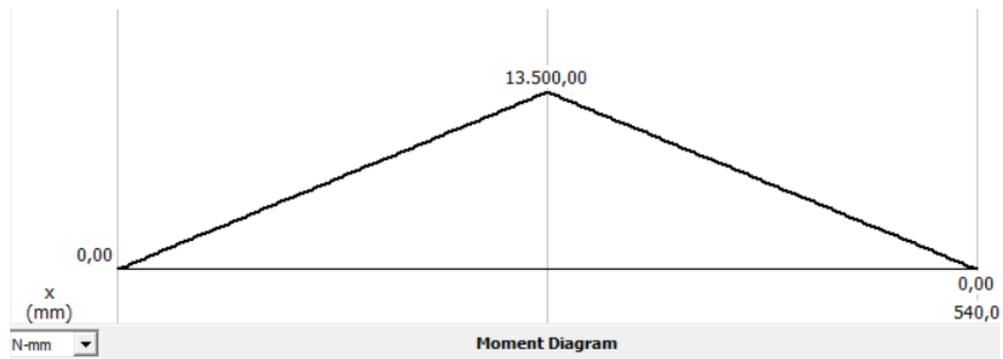
- Diagrama de momentos flectores

$$M_A = 50(0.27)$$

$$M_A = 13.5 \text{ Nm}$$

Figura 68

Diagrama de momentos flectores del eje soporte



- Análisis de esfuerzos

Punto crítico

$$\sigma_{xM} = \pm \frac{32M}{\pi D^3}$$

$$\sigma_{xM} = \pm \frac{32(13.5 \text{ Nm})}{\pi(0.01905 \text{ m})^3}$$

$$\sigma_{xM} = \pm 0.895 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = 19.89 \text{ MPa}$$

El esfuerzo máximo que tendrá el eje es de 19.89 MPa indicando que a los esfuerzos que está sometida la estructura no causara una deformación en la misma que cause inestabilidad al momento de cortar el canuto.

$$\text{AISI 1018} \rightarrow S_y = 370 \text{ MPa}$$

- **Energía de distorsión (ED)**

$$\sigma' = \frac{S_y}{FS}$$

$$FS = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$FS = \frac{370 \text{ MPa}}{(19.89 \text{ MPa})}$$

$$FS = 18.60$$

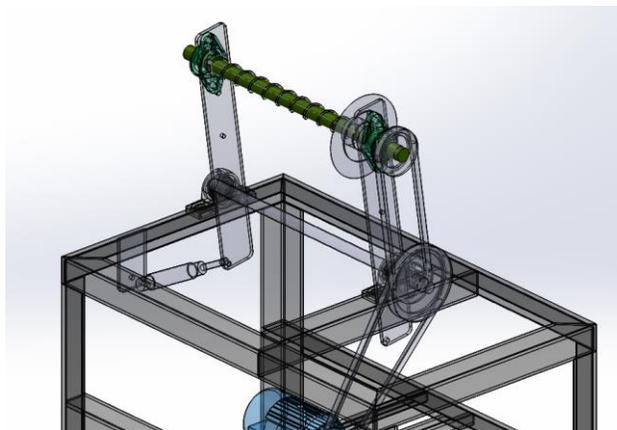
Con la teoría de Energía de Distorsión (ED) se puede comprobar que posee un factor de seguridad de 18.60, es decir, que el sistema podrá mantener su estabilidad si es sometido a otras fuerzas.

Análisis estructural del eje de la cortadora

Otro de los componentes del módulo de la cortadora es el eje de soporte de la cortadora, es decir, donde se colocará la cortadora y el resorte correspondiente Figura 69.

Figura 69

Análisis estructural del eje de la cortadora

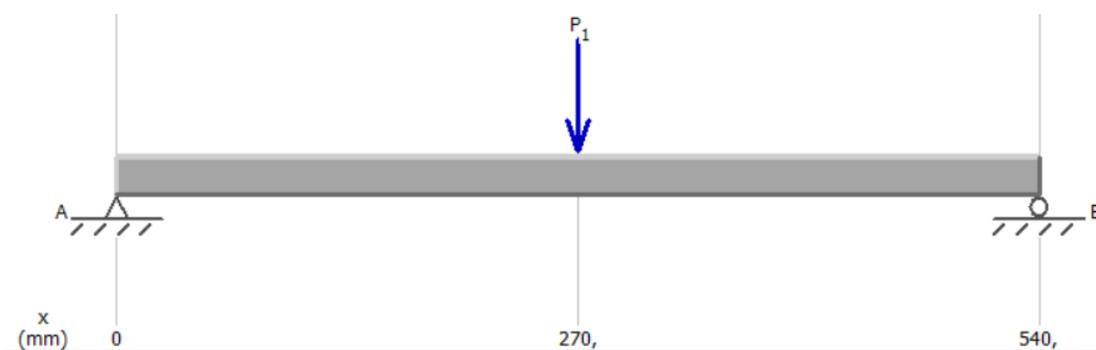


- **Análisis de fuerzas del eje de la cortadora**

En la Figura 70 se pueden observar la fuerza que actúan en el soporte de la cortadora que es el peso de la cortadora y el resorte el cual es de 35N, pero para el análisis se usara una fuerza de 75 N.

Figura 70

Análisis de fuerzas del eje de la cortadora



- Diagrama de fuerzas cortantes

$$\sum M_B = 0$$

$$\sum M_A = 0$$

$$A_y(0.540) - (75)(0.270) = 0$$

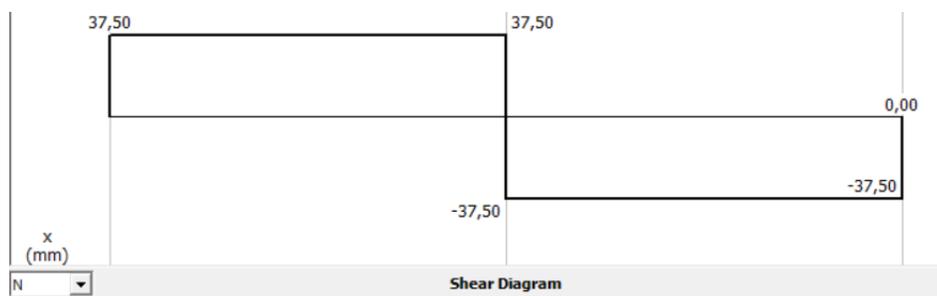
$$-(75)(0.270) + B_y(0.540) = 0$$

$$A_y = 37.5 \text{ N}$$

$$B_y = 37.5 \text{ N}$$

Figura 71

Diagrama de fuerzas del eje soporte



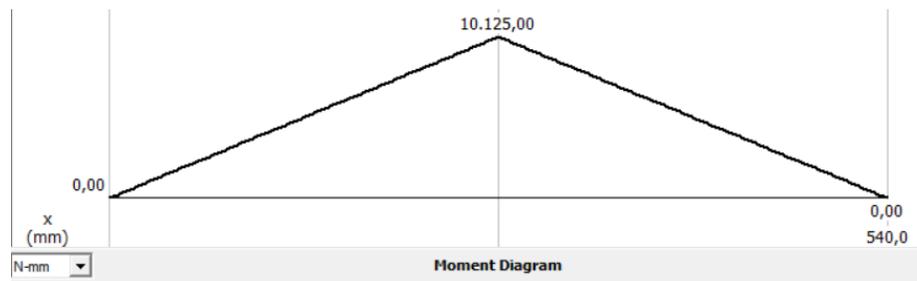
- Diagrama de momentos flectores

$$M_A = 37.5(0.27)$$

$$M_A = 10.125 \text{ Nm}$$

Figura 72

Diagrama de momentos flectores del eje soporte



- **Análisis de esfuerzos**

Punto crítico

$$\sigma_{xM} = \pm \frac{32M}{\pi D^3}$$

$$\sigma_{xM} = \pm \frac{32(10.125 \text{ Nm})}{\pi(0.0254 \text{ m})^3}$$

$$\sigma_{xM} = \pm 0.895 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = 16.293 \text{ MPa}$$

El esfuerzo máximo que tendrá el eje es de 16.293 MPa indicando que a los esfuerzos que está sometida la estructura no causará una deformación en la misma que cause inestabilidad al momento de cortar el canuto.

$$\text{AISI 1018} \rightarrow S_y = 370 \text{ MPa}$$

- **Energía de distorsión (ED)**

$$\sigma' = \frac{S_y}{FS}$$

$$FS = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$FS = \frac{370 \text{ MPa}}{(16.293 \text{ MPa})}$$

$$FS = 22.71$$

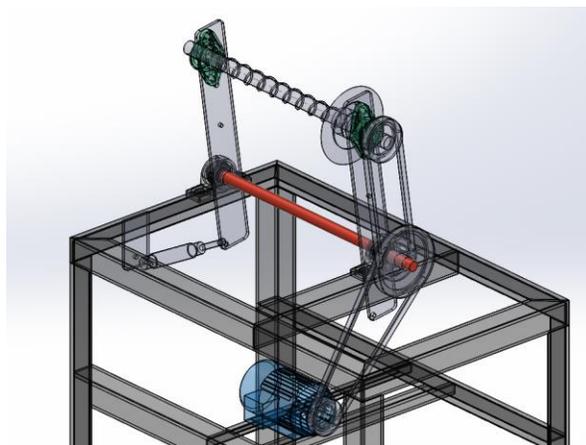
Con la teoría de Energía de Distorsión (ED) se puede comprobar que posee un factor de seguridad de 22.71, es decir, que el sistema podrá mantener su estabilidad si es sometido a otras fuerzas.

Análisis del eje de transmisión de la cortadora

Otro de los componentes del módulo de la cortadora es el eje de transmisión Figura 73, es decir, el eje que permitirá la transmisión para el funcionamiento de la cortadora.

Figura 73

Análisis del eje de transmisión de la cortadora



- **Análisis de fuerzas del eje de transmisión de la cortadora**

En la Figura 74 se pueden observar el torque que actúan en el eje del módulo de la cortadora para el sistema de transmisión del mismo.

Datos:

$$P = 0.75 \text{ Hp} \times \frac{550.2 \text{ lb} \times \text{pie}}{1 \text{ Hp}} \times \frac{12 \text{ in}}{1 \text{ pie}} = 4951.8 \frac{\text{lb} \times \text{in}}{\text{seg}}$$

$$\omega = 705 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \times \frac{2\pi}{1 \text{ rev}} = 73.827 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

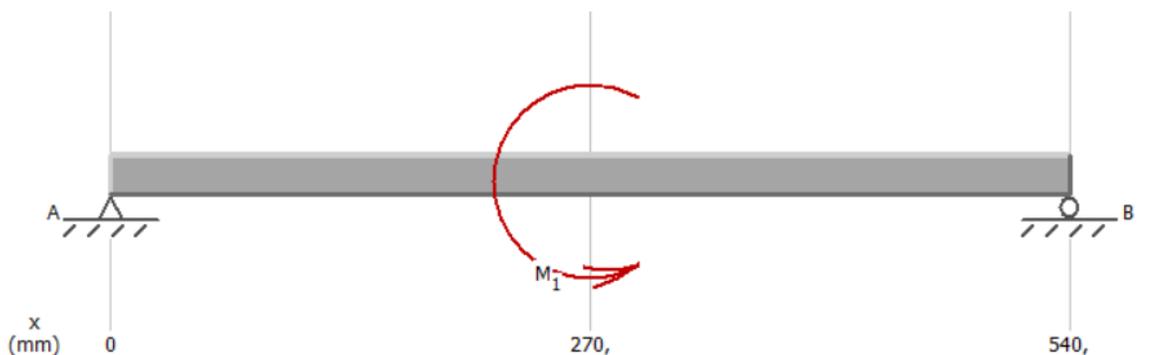
$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{4951.8 \frac{\text{lb} \times \text{in}}{\text{seg}}}{73.827 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}}$$

$$T = 67.073 \text{ lb} \times \text{in} \rightarrow 7.58 \text{ Nm}$$

Figura 74

Análisis de fuerzas del eje de transmisión de la cortadora



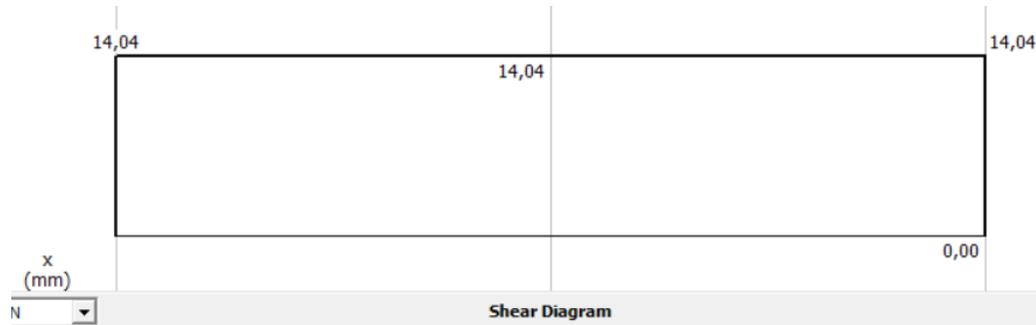
- Diagrama de fuerzas cortantes

$$A_y(0.54) = 7.58 \text{ Nm}$$

$$A_y = 14.04 \text{ N}$$

Figura 75

Diagrama de fuerzas cortantes del eje de transmisión de la cortadora



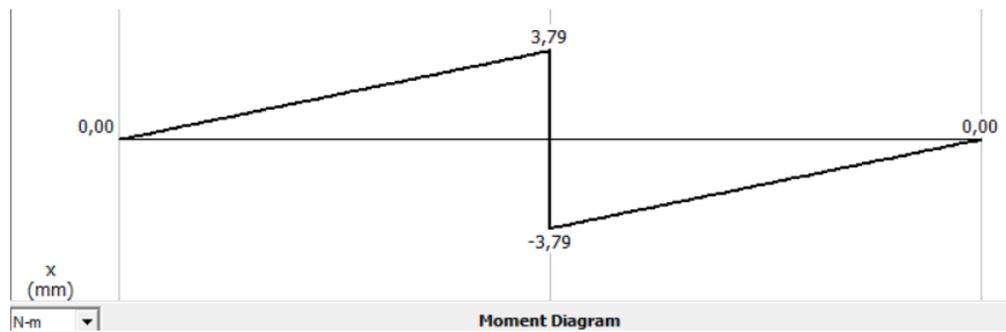
- Diagrama de momentos flectores

$$M_A = 14,04(0,27)$$

$$M_A = 3,79 \text{ Nm}$$

Figura 76

Diagrama de momentos flectores del eje de transmisión de la cortadora



- Análisis de esfuerzos

Punto B

$$\tau_{xy} = \frac{16T}{\pi D^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16(7.58)Nm}{\pi(0.01905 m)^3}$$

$$\tau_{xy} = 15.584 MPa \rightarrow \tau_{max} = 15.584 MPa$$

El esfuerzo máximo que tendrá el eje es de 15.584 MPa indicando que a los esfuerzos que está sometida la estructura no causará una deformación en la misma que cause inestabilidad al sistema de soporte de la cortadora.

$$\text{AISI 1018} \rightarrow S_y = 370 MPa$$

- **Esfuerzo cortante máximo (ECM)**

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2 FS}$$

$$FS = \frac{S_y}{2 \tau_{max}}$$

$$FS = \frac{370 MPa}{2(15.584 MPa)} \rightarrow FS = 11.87$$

Con las teorías de Esfuerzo Cortante Máximo (ECM) se puede comprobar que posee un factor de seguridad de 11.87, es decir, que el sistema podrá mantener su estabilidad si es sometido a otras fuerzas.

Diseño de componentes del sistema de transmisión de la máquina

A. Selección del motor

Velocidad de trabajo

Para la selección del motor principal que generara el movimiento de las bobinas, y espiralado del cartón de tipo Kraft, se ha decidido basarse en máquinas comerciales, para obtener velocidades de producción estándar en este tipo de maquinaria. En la

Tabla 11 se especificará el modelo y el rango de velocidades a las que trabajan las máquinas.

Tabla 11

Modelos y rangos de velocidades del motor

Nº	Marca	Velocidad Máxima de trabajo	Voltaje de Funcionamiento
1	Shunfu SF-230	18 m/min	220v
2	Shunfu – CT500B	25 m/min	380v
3	GM	30 m/min	380v
4	Guangmao	35 m/min	220v
5	Guangmao	30 m/min	220v

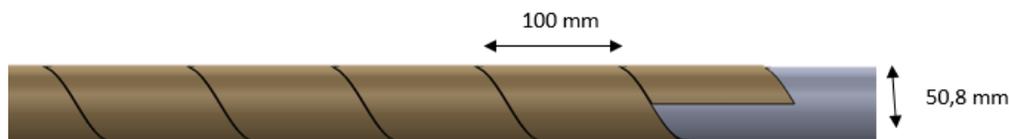
Se decide que la velocidad máxima a la que la máquina producirá el espiral de cartón será de:

$$V_{maxima} = 30 \text{ m/min}$$

Una vez, establecida la velocidad máxima de producción, se procede a seleccionar la relación de transmisión necesaria para poder obtener esta velocidad. Se debe tomar en cuenta que la máquina está pensada para la producción de tubos de cartón de 2 a 6 pulgadas de diámetro interno, con este dato se puede determinar que la relación de transición que debe ser diseñada a partir del diámetro promedio de trabajo que este será de 3 pulgadas, debido que a mayor diámetro la velocidad tendera a disminuir.

Figura 77

Diseño del diámetro del eje



Como se muestra en la Figura 77 el paso por revolución del tubo de cartón es de 100 m/rev para un ancho de bobina de 95 mm , con esto se puede determinar la velocidad a la que debe ser enrollado el papel.

$$V_{max} = 30 \text{ m/min}$$

$$Paso_{papel} = 0.1 \text{ m/rev}$$

$$\omega_{enrollado} = \frac{\frac{30 \text{ m}}{\text{min}}}{\frac{0.1 \text{ m}}{\text{rev}}} = 300 \text{ rpm}$$

Se pondrá un diámetro exterior de 166 mm en los cilindros que llevarán la banda plana de arrastre que enrollara el papel, igualando las velocidades lineales de estos dos cilindros podremos obtener la velocidad angular de los cilindros:

$$v_{enrollado} = v_{cilindros}$$

$$(\omega_{enrollado})(r_{tubo}) = (\omega_{cilindros})(r_{cilindros}) \quad (19)$$

$$\left(300 \frac{\text{rev}}{\text{min}}\right)(38.1 \text{ mm}) = (\omega_{cilindros})(83 \text{ mm})$$

$$\omega_{cilindros} = 138.8 \text{ rpm}$$

Una vez ya obtenida la velocidad a la que deben girar los cilindros que enrollaran el papel, se debe saber que la velocidad del motor para poder tener una

relación de transmisión, se piensa usar un motor trifásico asíncrono de 4 polos debido a que este motor es fácil de conseguir en el mercado ecuatoriano, el promedio de velocidad de estos motores asíncronos está dado por el número de polos y se especifica en la Tabla 12.

Tabla 12

Número de polos del motor

Motor	Rotación Sincrónica	
	60 Hz	50 Hz
2 polos	3.600 rpm	3.000 rpm
4 polos	1.800 rpm	1.500 rpm
6 polos	1.200 rpm	1.000 rpm
8 polos	900 rpm	750 rpm

Teniendo en cuenta, que la velocidad real de un motor asíncrono varía en un 3% a 5% menor al valor calculado, se procede a calcular la reducción necesaria

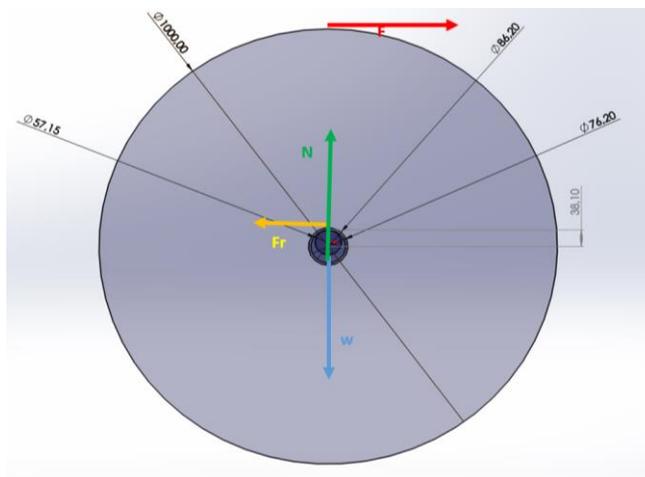
$$i = \frac{1700 \text{ rpm}}{138.8 \text{ rpm}} \rightarrow i = 12.24$$

Potencia

Para poder escoger la potencia del motor necesario se debe tener en cuenta la carga a la que estará sometido el mismo, se debe recordar que este motor será el encargado de mover cada una de las bobinas de papel independientemente de su peso, pasando por el engomado del papel, a una velocidad constante. Dada estas condiciones iniciales se pasará a determinar la fuerza necesaria para mover de manera constante la bobina de papel.

Figura 78

Condiciones iniciales de la bobina de papel



Como se muestra en la Figura 78, el cartón viene enrollado en un tubo del mismo material que posee un diámetro exterior de 86.2 mm y un diámetro interior de 76.2 mm, además las bobinas de cartón alcanzan un diámetro máximo de 1000mm. Con estos datos y las características del cartón a enrollar podremos determinar el peso aproximado de las mismas.

Se empezara por obtener el peso de una bobina de cartón de gramaje de $250 \text{ gr} / \text{m}^2$, con un espesor de $600 \mu\text{m}$, este cartón es comúnmente usado para la elaboración de tubos de cartón.

La longitud de papel que viene enrollado en la bobina está dada por la fórmula

$$L = \left(\frac{\pi}{4h} \right) * (D_{ext}^2 - D_{int}^2) \quad (20)$$

$$= 1299.31 \text{ m}$$

Teniendo la longitud del papel, se procede a multiplicarlo por su ancho para obtener el peso con el gramaje del papel.

$$\begin{aligned} Area_{papel} &= 1299.31 \text{ m} * 0.08 \text{ m} & (21) \\ &= 103.94 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{bobina} &= 103.94 \text{ m}^2 * 250 \frac{\text{gr}}{\text{m}^2} & (22) \\ &= 25986.31 \text{ gr} \rightarrow 25.986 \text{ kg} \end{aligned}$$

Una vez obtenida la masa de la bobina, se realiza sumatoria de fuerzas en el eje de las ordenadas para obtener la fuerza normal

$$\sum F_y = 0$$

$$N - W = 0$$

En donde, W es el peso de la bobina, sin embargo para tener un margen de error admisible se utilizara un 20% adicional del peso calculado

$$N = m_{bobina} * g \quad (23)$$

$$N = 25.986 \text{ kg} * 1.1 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}$$

$$N = 280.4149 \text{ Newton}$$

Se procede hacer sumatoria de momentos tomando al centro de la bobina como centro de giro, para hallar la fuerza necesaria para romper la inercia de la bobina y hacerla girar a velocidad nominal de trabajo de la máquina:

$$\sum M_0 = I\alpha$$

$$R_M * F - F_r * R_m = \frac{1}{2} * m * (R_1^2 + R_2^2)\alpha \quad (24)$$

Se ha obtenido la fuerza normal anteriormente, y es necesario saber el coeficiente de rozamiento para poder obtener la fuerza de fricción que se opone al movimiento, gracias a métodos experimentales se obtiene que el coeficiente de fricción entre acero y cartón es 0.3858.

Además, a esto, es necesario determinar la aceleración angular con la que se moverá la bobina hasta alcanzar la velocidad constante, se ha planteado que debe llegar la velocidad nominal de giro de a bobina tras haber pasado 2 segundos del arranque, a continuación, se procederá a calcular la velocidad nominal de la bobina, su aceleración angular necesaria.

$$\omega_{enrollado} * r_{enrollado} = \omega_{bobina} * R_{bobina} \quad (25)$$

$$300 \text{ rpm} * 50.4 \text{ mm} = \omega_{bobina} * 1000 \text{ mm}$$

$$\omega_{bobina} = 15.12 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$\omega_f = \omega_0 + \alpha t$$

$$15.12 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} = 0 + \alpha(2 \text{ seg})$$

$$\alpha = 7.56 \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2}$$

Una vez obtenida, la aceleración angular necesaria en el proceso de enrollado, se procede a calcular la fuerza necesaria que debe ejercer el motor para enrollar una bobina.

$$1m * F - 280.4149 \text{ N} * 0.3858 * 0.0281m$$

$$= \frac{1}{2} * 28.5846 \text{ kg} * ((1m)^2 + (0.0862)^2) (7.56 \frac{\text{rad}}{\text{seg}^2})$$

$$F = 111.888 \text{ Newtons}$$

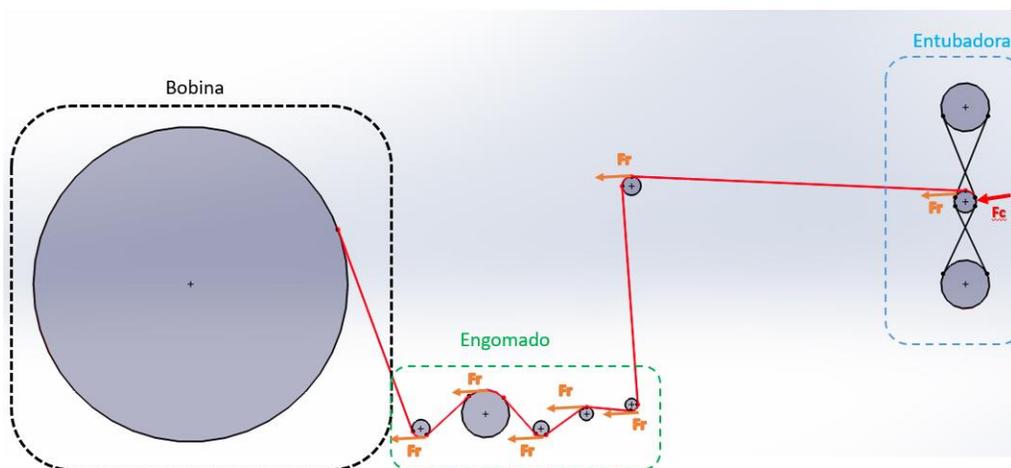
Se debe tener en cuenta que esta es la fuerza necesaria para romper la inercia y alcanzar a mover la bobina a velocidad constante, sin embargo, esta es únicamente para una sola bobina, los tubos de cartón tienden a tener de 2 bobinas en adelante dependiendo del espesor y la configuración de cada tubo se deberá multiplicar por el número de bobinas.

El diseño establecido para esta máquina es la creación de un tubo de cartón de 4 capas, es decir la fuerza tangencial con la que deberá jalar el papel el motor es aproximadamente de 447.555 Newton.

Se debe aclarar el papel pasa por varios ejes, que le dan dirección como se puede apreciar en la Figura 79, además este pasa por el rodillo de engomado también generando una fricción, y al llegar a la estación de entubado el papel tiende a ser compactado contra el eje de enrollado, generando una fuerza de compresión adicional que genera una fricción aun superior dependiendo de la tensión de la banda plana.

Figura 79

Dirección del eje en el sistema



En base a la incertidumbre de las fuerzas que se generan en estas zonas, se establece un margen de error de un 20% adicional a la fuerza necesaria calculada.

Teniendo en cuenta estos parámetros, se procede al cálculo del torque que necesita el eje del cilindro, para poder transmitir la fuerza necesaria para jalar las bobinas.

$$T = F * d \quad (26)$$

$$T = 447.555 \text{ Newton} * 1.2 * (0.18 \text{ m})$$

$$T = 96.6718 \text{ Nm}$$

Una vez calculado el torque del motor eje, se procede al cálculo de la potencia del motor

$$P_{motor} = \omega_{cilindro} * T_{cilindro} \quad (27)$$

$$= 138.38 \text{ RPM} * \left(\frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ seg}} \right) * 96.6718 \text{ Nm}$$

$$= 1400.8826 \text{ Watts}$$

Es preciso recordar, que la transmisión del motor se va a realizar en dos fases, es decir, la primera fase será transmitida por polea y banda en V, y la segunda fase será transmitida por piñón y cadena. Ambos poseen una eficiencia en cuanto la transmisión de potencia, pero la más significativa es la transmisión mediante polea que posee una eficiencia de 90% y que debe ser considerada para la selección del motor.

$$e = \frac{P_{diseño}}{P_{real}} \quad (28)$$

$$0.90 = \frac{1400.8826 \text{ watts}}{P_{real}}$$

$$P_{real} = 1556.53 \text{ watts} \rightarrow 2.087 \text{ HP}$$

Teniendo el valor de potencia de motor necesario, se debe sobredimensionar este para que este no trabaje a su límite por seguridad y extender su tiempo útil de trabajo, se procede a escoger un motor que trabaje a su 70 a 80% de su capacidad máxima. De esta manera la máquina necesarita un motor de 3 hp para poder enrollar 4 bobinas de papel sin ningún problema.

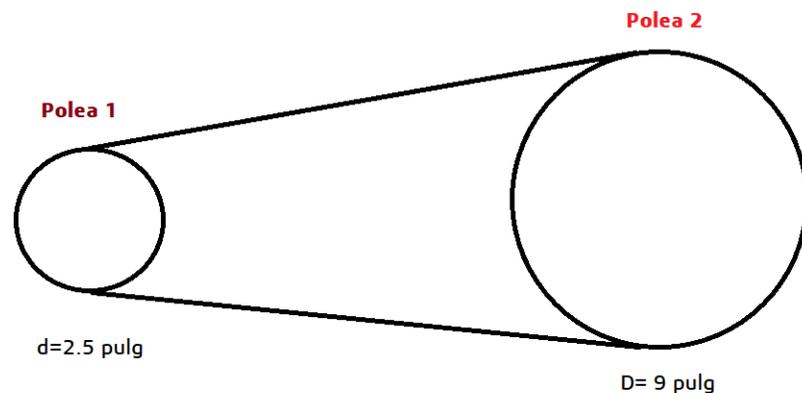
Del mismo modo se piensa en un futuro, extender la capacidad de capas de papel que pueda enrollar el papel, para formar tubos de cartón más gruesos y resistentes, debido a esto se llega a la conclusión de que la máquina necesita un motor trifásico de 220vac 5 HP que gira a una velocidad nominal de 1800 rpm.

B. Diseño de bandas de transmisión del módulo de la entubadora

Diseño de un sistema de transmisión Figura 80 mediante bandas en V para impulsar cilindros mediante un motor trifásico de 5 Hp a 1710 rpm.

Figura 80

Banda de transmisión del módulo de la entubadora



Datos:

$$\text{Motor} = 5 \text{ Hp}$$

$$\text{rpm} = 1710 \rightarrow 1710 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} = 179.07 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$D = 9 \text{ pulg} \rightarrow 9 \text{ in} \times \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 22.86 \text{ cm}$$

$$d = 2.5 \text{ pulg} \rightarrow 2.5 \text{ in} \times \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 6.35 \text{ cm}$$

Resolución:

1. Selección de factor de servicio. **(Ver en Anexo 1)**

$$F. \text{serv} = 1.2$$

2. Cálculo de potencia de diseño. Selección de tipo de banda.

$$Pot_D = Pot_E \times F. \text{serv} \quad (29)$$

$$Pot_D = 5 \text{ Hp} \times 1.2 = \mathbf{6 \text{ Hp}}$$

Banda 3V o 3Vx (Compacta banda de transmisión)

3. Relación de velocidad

$$i = \frac{D}{d} = \frac{N}{n}$$

Ecuación

5

$$i = \frac{9}{2.5} = \frac{18}{5} = 3.6$$

4. Velocidad lineal de la línea de paso

$$\text{Velocidad recomendada} \rightarrow \mathbf{4000} \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

Diámetro del motor

$$d = \frac{2 v_b}{\omega} \quad (30)$$

$$d = \frac{2 (4000 \text{ ft})}{179.07 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times \text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \times \frac{12 \text{ pulg}}{1 \text{ ft}}$$

$$d = 8.94 \text{ pulg}$$

5. Distancia nominal en centros de poleas C

$$D < C < 3(D + d)$$

Ecuación

10

$$9 < C < 3(9 + 2.5)$$

$$9 < C < 34.5$$

6. Longitud de la correa

$$L = 2E + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4E}$$

Ecuación 11

$$L = 2 \left(\frac{18}{5} \right) + \frac{\pi}{2}(9 + 2.5) + \frac{(9 - 2.5)^2}{4 \left(\frac{18}{5} \right)}$$

$$L = 28.198 \text{ pulg}$$

7. Distancia entre centros

$$B = 4L - 2\pi(D + d) \quad (31)$$

$$B = 4(28.198) - 2\pi(9 + 2.5)$$

$$B = 40.536$$

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D - d)^2}}{16} \quad (32)$$

$$C = \frac{40.536 + \sqrt{40.536^2 - 32(9 - 2.5)^2}}{16}$$

$$C = 13.6$$

8. Factor de correlación (Ver en Anexo 4)

$$C_L = 0.96$$

9. Ángulo de contacto (Ver en Anexo 5)

$$C_\theta = 0.93$$

10. Potencia real (Ver en Anexo 3)

$$Pot_{bas} = 2.29 \text{ Hp}$$

$$Pot_{agre} = 0.35 \text{ Hp}$$

$$Pot_{real} = 2.64 \text{ Hp}$$

11. Potencia corregida

$$Pot_{corr} = C_L C_\theta Pot_{real} \quad (33)$$

$$Pot_{corr} = 0.96 (0.93)(2.64)$$

$$Pot_{corr} = 2.55 \text{ Hp}$$

12. Número de bandas

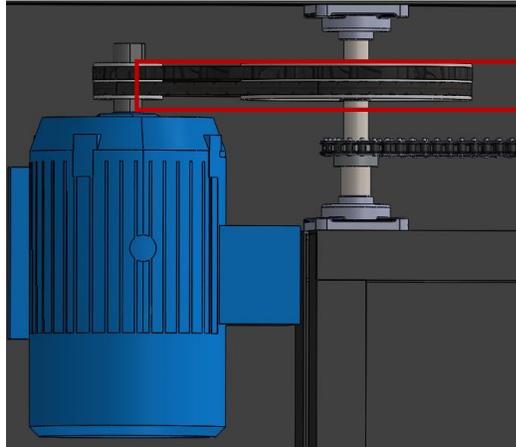
$$\#_{bandas} = \frac{Pot_{dis}}{Pot_{corr}}$$

Ecuación

$$\#_{bandas} = \frac{6}{2.55} = 2.35 \text{ bandas}$$

Figura 81

Bandas calculadas del módulo de la entubadora

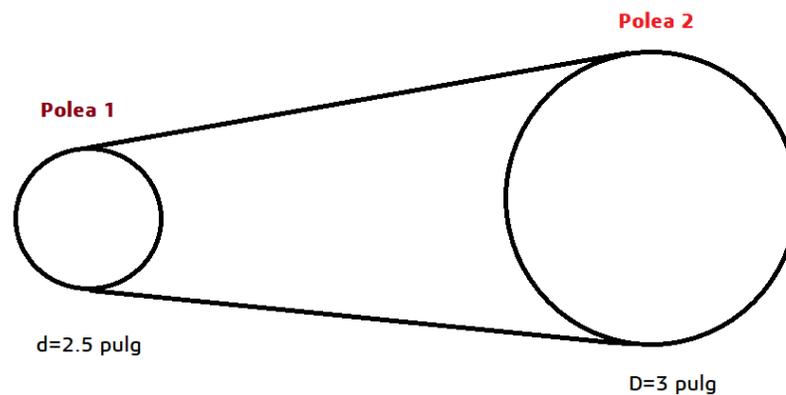


C. Diseño de bandas de transmisión del módulo de la cortadora

1.1 Diseño de un sistema de transmisión Figura 82 mediante bandas en V para impulsar cilindros mediante un motor trifásico de 0.75 Hp a 1410 rpm.

Figura 82

Banda de transmisión del módulo de la cortadora Parte 1



Datos:

Motor = 0.75 Hp

$$rpm = 1410 \rightarrow 1410 \frac{rev}{min} \times \frac{1 min}{60 seg} \times \frac{2\pi rad}{1 rev} = 147.65 \frac{rad}{seg}$$

$$D = 3 \text{ pulg} \rightarrow 3 \text{ in} \times \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 7.62 \text{ cm}$$

$$d = 2.5 \text{ pulg} \rightarrow 2.5 \text{ in} \times \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 6.35 \text{ cm}$$

Resolución:

1. Selección de factor de servicio. **(Ver en Anexo 1)**

$$F.serv = 1.2$$

2. Cálculo de potencia de diseño. Selección de tipo de banda.

$$Pot_D = Pot_E \times F.serv \quad (34)$$

$$Pot_D = 0.75 \text{ Hp} \times 1.2 = \mathbf{0.9 \text{ Hp}}$$

Banda 3V o 3Vx (Compacta banda de transmisión)

3. Relación de velocidad

$$i = \frac{d}{D} = \frac{N}{n}$$

Ecuación

5

$$i = \frac{2.5}{3} = \frac{5}{6} = 0.83$$

4. Velocidad lineal de la línea de paso

$$\text{Velocidad recomendada} \rightarrow 4000 \frac{ft}{min}$$

Diámetro del motor

$$d = \frac{2 v_b}{\omega} \quad (35)$$

$$d = \frac{2 (4000 \text{ ft})}{147.65 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times \text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \times \frac{12 \text{ pulg}}{1 \text{ ft}}$$

$$d = 10.84 \text{ pulg}$$

5. Distancia nominal en centros de poleas C

$$D < C < 3(D + d)$$

Ecuación

10

$$5 < C < 3(3 + 2.5)$$

$$5 < C < 16.5$$

6. Longitud de la correa

$$L = 2E + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4E}$$

Ecuación

11

$$L = 2 \left(\frac{5}{6} \right) + \frac{\pi}{2}(3 + 2.5) + \frac{(3 - 2.5)^2}{4 \left(\frac{5}{6} \right)}$$

$$L = 11.114 \text{ pulg}$$

7. Distancia entre centros

$$B = 4L - 2\pi(D + d) \quad (36)$$

$$B = 4(11.114) - 2\pi(3 + 2.5)$$

$$B = 9.889$$

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D - d)^2}}{16} \quad (37)$$

$$C = \frac{9.889 + \sqrt{9.889^2 - 32(3 - 2.5)^2}}{16}$$

$$C = 1.21$$

8. Factor de correlación (Ver en Anexo 4)

$$C_L = 0.83$$

9. Ángulo de contacto (Ver en Anexo 5)

$$C_\theta = 0.96$$

10. Potencia real (Ver en Anexo 3)

$$Pot_{bas} = 1.16 \text{ Hp}$$

$$Pot_{agre} = 0.01 \text{ Hp}$$

$$Pot_{real} = 1.17 \text{ Hp}$$

11. Potencia corregida

$$Pot_{corr} = C_L C_\theta Pot_{real} \quad (38)$$

$$Pot_{corr} = 0.83 (0.96)(1.17)$$

$$Pot_{corr} = 0.93 \text{ Hp}$$

12. Numero de bandas

$$\#_{bandas} = \frac{Pot_{dis}}{Pot_{corr}}$$

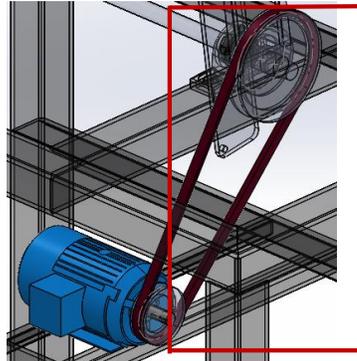
Ecuación

12

$$\#_{bandas} = \frac{0.90}{0.93} = 0.967 \text{ bandas}$$

Figura 83

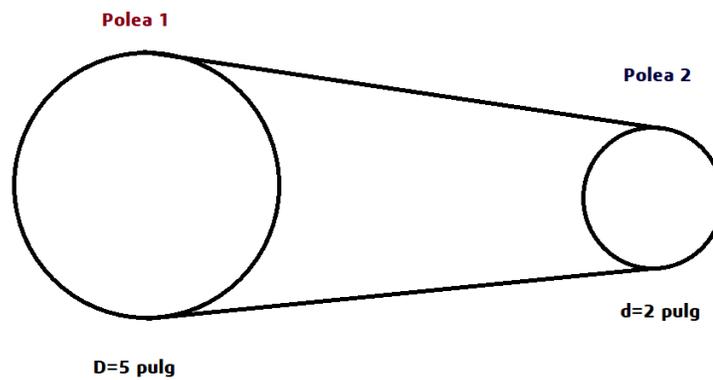
Bandas calculadas del módulo de la cortadora parte 1



1.2 Diseño de un sistema de transmisión Figura 84 mediante bandas en V para impulsar cilindros mediante un motor trifásico de 0.75 Hp a 1692 rpm.

Figura 84

Banda de transmisión del módulo de la cortadora parte 2



Datos:

Motor = 0.75 Hp

$$rpm = 1692 \rightarrow 1692 \frac{rev}{min} \times \frac{1 min}{60 seg} \times \frac{2\pi rad}{1 rev} = 177.19 \frac{rad}{seg}$$

$$D = 5 \text{ pulg} \rightarrow 5 \text{ in} \times \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 12.7 \text{ cm}$$

$$d = 2 \text{ pulg} \rightarrow 2 \text{ in} \times \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} = 5.08 \text{ cm}$$

Resolución:

1. Selección de factor de servicio. **(Ver en Anexo 1)**

$$F.serv = 1.2$$

2. Cálculo de potencia de diseño. Selección de tipo de banda.

$$Pot_D = Pot_E \times F.serv \quad (39)$$

$$Pot_D = 0.75 \text{ Hp} \times 1.2 = \mathbf{0.9 \text{ Hp}}$$

Banda 3V o 3Vx (Compacta banda de transmisión)

3. Relación de velocidad

$$i = \frac{d}{D} = \frac{N}{n}$$

Ecuación

5

$$i = \frac{5}{2} = 2.5$$

4. Velocidad lineal de la línea de paso

$$\text{Velocidad recomendada} \rightarrow \mathbf{4000} \frac{ft}{min}$$

Diámetro del motor

$$d = \frac{2 v_b}{\omega} \quad (40)$$

$$d = \frac{2 (4000 \text{ ft})}{147.65 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times \text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \times \frac{12 \text{ pulg}}{1 \text{ ft}}$$

$$d = 10.84 \text{ pulg}$$

5. Distancia nominal en centros de poleas C

$$D < C < 3(D + d) \quad \text{Ecuación 10}$$

$$5 < C < 3(5 + 2)$$

$$5 < C < 21$$

6. Longitud de la correa

$$L = 2E + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4E} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$L = 2 \left(\frac{5}{2} \right) + \frac{\pi}{2}(5 + 2) + \frac{(5 - 2)^2}{4 \left(\frac{5}{2} \right)}$$

$$L = 16.89 \text{ pulg}$$

7. Distancia entre centros

$$B = 4L - 2\pi(D + d) \quad (41)$$

$$B = 4(16.89) - 2\pi(5 + 2)$$

$$B = 23.577$$

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D - d)^2}}{16} \quad (42)$$

$$C = \frac{23.577 + \sqrt{23.577^2 - 32(5 - 2)^2}}{16}$$

$$C = 2.49$$

8. Factor de correlación (Ver en Anexo 4)

$$C_L = 0.83$$

9. Ángulo de contacto (Ver en Anexo 5)

$$C_\theta = 0.96$$

10. Potencia real (Ver en Anexo 3)

$$Pot_{bas} = 1.16 \text{ Hp}$$

$$Pot_{agre} = 0.01 \text{ Hp}$$

$$Pot_{real} = 1.17 \text{ Hp}$$

11. Potencia corregida

$$Pot_{corr} = C_L C_\theta Pot_{real} \quad (43)$$

$$Pot_{corr} = 0.83 (0.96)(1.17)$$

$$Pot_{corr} = 0.93 \text{ Hp}$$

12. Numero de bandas

$$\#_{bandas} = \frac{Pot_{dis}}{Pot_{corr}}$$

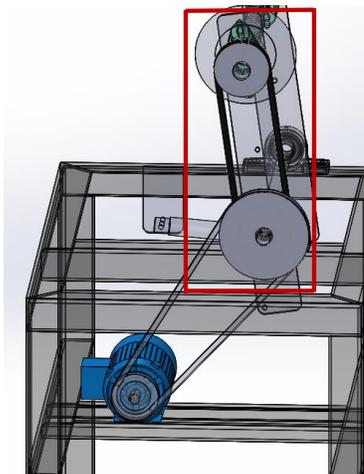
Ecuación

12

$$\#_{bandas} = \frac{0.90}{0.93} = 0.967 \text{ bandas}$$

Figura 85

Bandas calculadas del módulo de la cortadora Parte 2

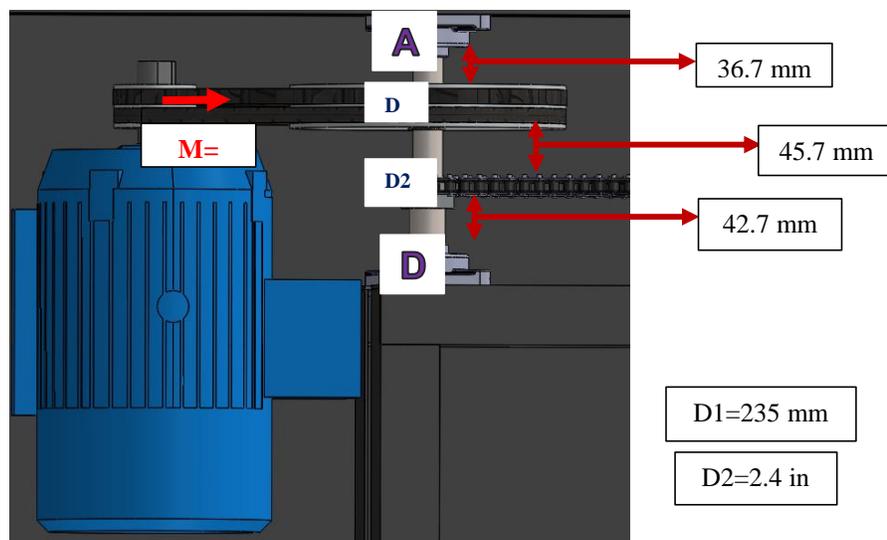


D. Diseño de eje AD del sistema de transmisión del módulo de la entubadora

Realizar el diseño del eje AD del sistema base de transmisión del módulo de la entubadora con un material de acero de transmisión Figura 86.

Figura 86

Cálculo del eje AD



Datos:

$$rpm = 1710 \rightarrow 1710 \frac{rev}{min} \times \frac{1 min}{60 seg} = 28.5 Hz$$

$$Motor = 5 Hp \rightarrow 5Hp \times \frac{745.5 Watts}{1 Hp} = 3727.5 Watts$$

Torque B

$$T_B = \frac{P}{2\pi f} = \frac{3727.5 Watts}{2\pi(28.5 Hz)} \quad (44)$$

$$T_B = 20.81 N \cdot m$$

Fuerza tangencial

$$F_B = \frac{T_B}{r_B} = \frac{20.81 N \cdot m}{0.117475 m} \quad (45)$$

$$F_B = 177.19 N$$

Fuerza en polea

$$T = F_1 \cdot \frac{0.235}{2} - F_2 \cdot \frac{0.235}{2} = (F_1 - 0.2F_1) \frac{0.235}{2}$$

$$T = F_1(1 - 0.2)1175$$

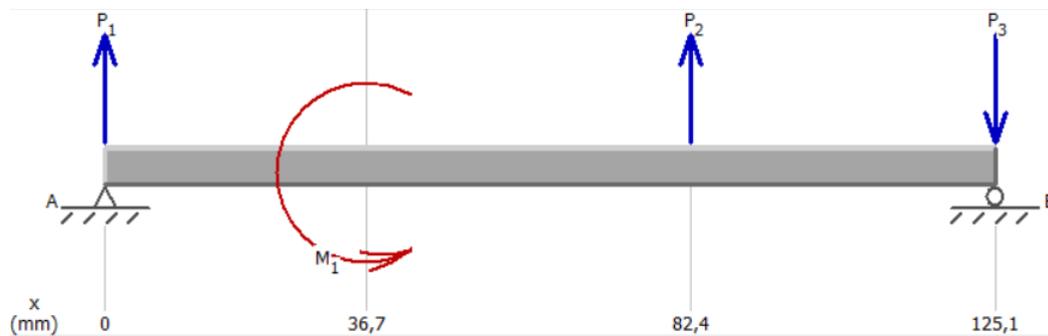
$$F_1 = \frac{T}{(1 - 0.2)0.1175} = \frac{22.53}{(1 - 0.2)0.1175}$$

$$F_1 = 239.68 N$$

$$F_2 = 0.2F_1 = 47.93 N$$

Figura 87

Fuerzas que actúan en el eje AD



Plano xy

$$\sum M_A = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$-177.19(0.0824) + P_3(0.1251) = 0$$

$$P_1 - 177.19 + 126.3236 = 0$$

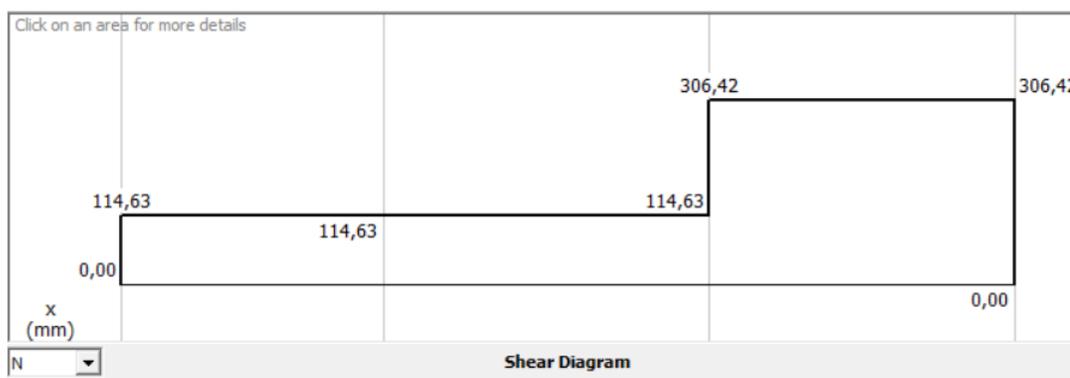
$$P_3 = 126.3236 \text{ N}$$

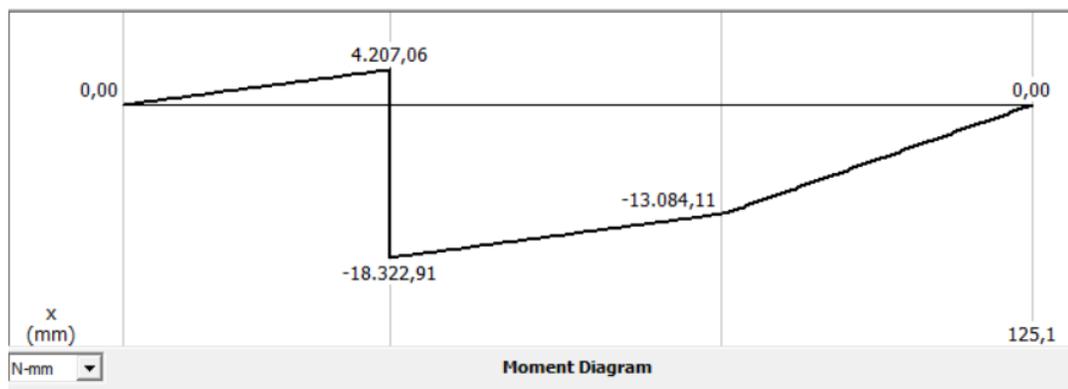
$$P_1 = 65.465 \text{ N}$$

Diagramas de fuerzas y momentos

Figura 88

Diagramas de fuerzas y momentos del eje AD

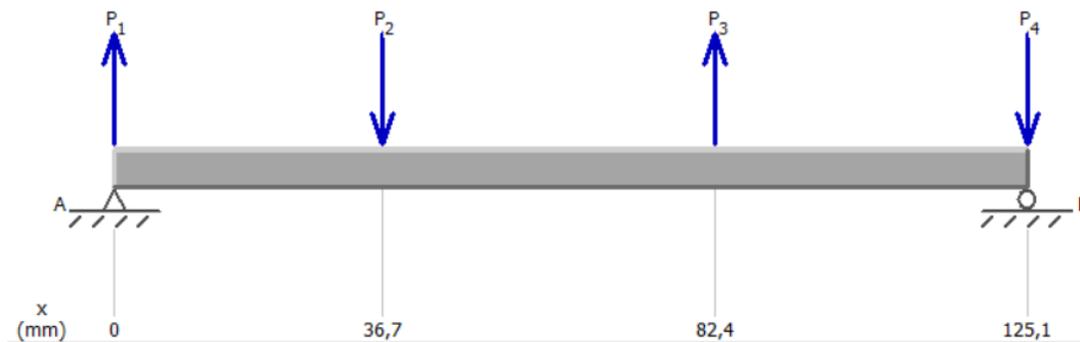




Plano xz

Figura 89

Diagrama de fuerzas del plano xz



$$\sum M_A = 0$$

$$-177,19(0,0367) + -177,19(0,0824) - P_3(0,1251) = 0 \rightarrow P_3 = 70,061 \text{ N}$$

$$\sum F_z = 0$$

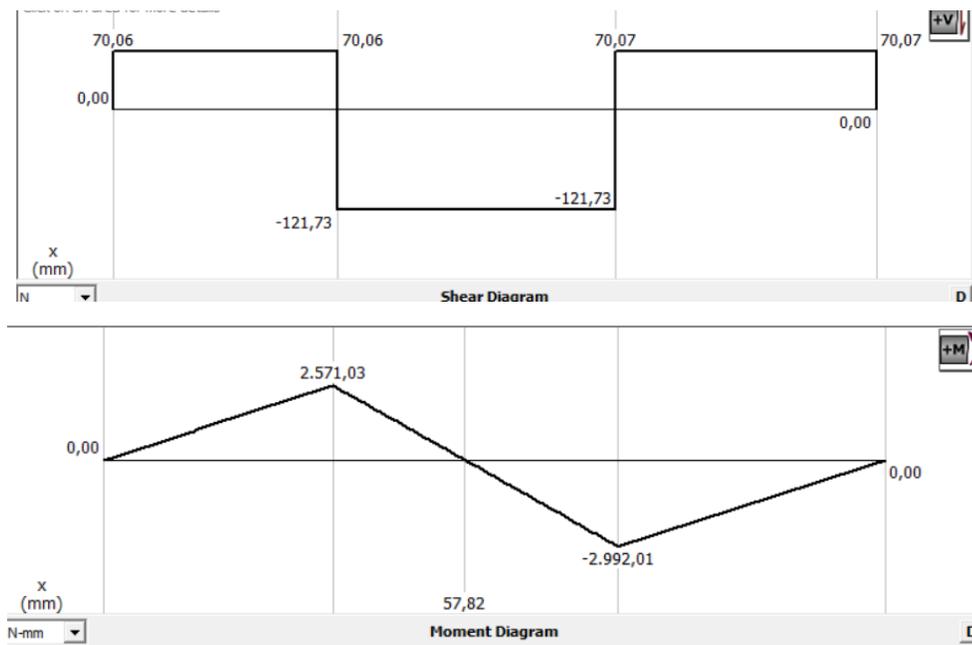
$$P_1 - 177,19 + 177,19 - 70,061 = 0$$

$$P_1 = 70,061 \text{ N}$$

Diagramas de Fuerzas y Momentos

Figura 90

Diagramas de fuerzas y momentos del eje AD momentos críticos



$$M_B = \sqrt{(14.11)^2 + (2.57)^2} = 14.34 \text{ Nm}$$

$$M_c = \sqrt{(13.08)^2 + (2.99)^2} = 13.41 \text{ Nm}$$

El punto crítico es el punto B

$$\sigma_{xM} = \pm \frac{32M_B}{\pi d^3} \rightarrow \pm \frac{32(14.34)}{\pi d^3} \rightarrow = \frac{458.88}{\pi d^3}$$

Ecuación

1

$$\tau_{xy} = \pm \frac{316 T}{\pi d^3} \rightarrow \pm \frac{16(22.53)}{\pi d^3} \rightarrow = \frac{360.48}{\pi d^3}$$

Ecuación

2

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{max}^2} \quad (46)$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{458.88}{2\pi d^3} \pm \sqrt{\left(\frac{458.88}{2\pi d^3}\right)^2 + \left(\frac{360.48}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$\sigma_1 = 656.74$$

$$\sigma_2 = -197.86$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2}$$

$$\sigma = \sqrt{(656.74)^2 + (-197.86)^2 - (656.74)(-197.86)} \rightarrow \sigma = 774.853$$

Esfuerzo máximo de Acero 1018 (transmisión) $\rightarrow \sigma_{max} = 440 \text{ MPa}$

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\pi d^3} \quad (47)$$

$$FS = \frac{S_y}{\sigma} \rightarrow FS = 2.5$$

$$\frac{774.853 \text{ Nm}}{\pi d^3} = \frac{440 \text{ M} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right)}{2.5}$$

$$d = 18.245 \text{ mm}$$

A continuación, se realizará el cálculo de la falla por fatiga del eje ya que en el mismo se presentan esfuerzos variables en el elemento que pueden producir fallas en el mismos para el cual se utilizara la teoría de deformación de Goodman.

- **Diseño de fatiga**

Resistencia ultima del Acero 1018 (transmisión) $\rightarrow S_{ut} = 393 \text{ MPa} \rightarrow 57 \text{ kPsi}$

$$S_y(\text{Resistencia a la cadencia}) = 296 \text{ MPa} \rightarrow 43 \text{ kPsi}$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e^l$$

$$S_e = (0.936)(0.947)(0.868)(296) = 227.74 \text{ MPa}$$

Punto crítico

$$M_B = 14.34 \text{ Nm}$$

$$T_B = 22.53 \text{ Nm}$$

$$\phi = \left[\left(\frac{32FS}{\pi S_y} \right) \left(M_B^2 + \frac{3T_B^2}{4} \right) \right]^{1/3}$$

$$\phi = \left[\left(\frac{32(2.5)}{\pi(296 \times 10^6)} \right) \left((14.34)^2 + \frac{3(22.53)^2}{4} \right) \right]^{1/3}$$

$$\phi = 0.02494 \text{ m} \rightarrow 24.94 \text{ mm} \rightarrow 25.4 \text{ mm} \rightarrow 1 \text{ pulg}$$

$$K_f = 1.389 \quad \rightarrow \quad K_{fs} = 1.156$$

$$\frac{1}{FS} = \frac{16}{\pi \phi^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}$$

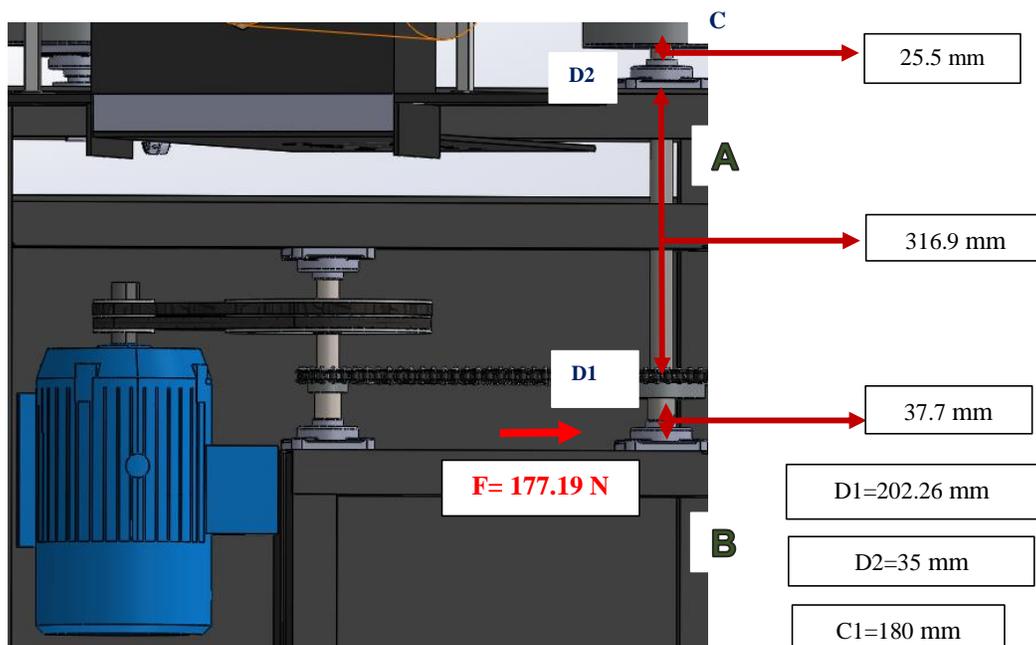
$$\frac{1}{FS} = \frac{16}{\pi(0.0254)^3} \left\{ \frac{1}{(227.74)} \left[4(1.389 * 14.34)^2 + 3(1.156 * 0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right. \\ \left. + \frac{1}{(393)} \left[4((1.389 * 0))^2 + 3(1.156 * 22.53)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}$$

$$\frac{1}{FS} = 0.29135$$

$$FS = 3.43$$

E. Diseño de eje AB del sistema de transmisión del módulo de la entubadora.

Diseño de eje AB del sistema de transmisión base del módulo de la entubadora con un material de acero de transmisión Figura 91.

Figura 91*Cálculo del eje AB***Diseño del eje AB****Figura 92***Fuerzas que actúan en el eje AB*

$$\sum M_A = 0$$

$$-177.19(0.0377) + P_3(0.3546) = 0$$

$$P_3 = 20.39 \text{ N}$$

$$\sum M_B = 0$$

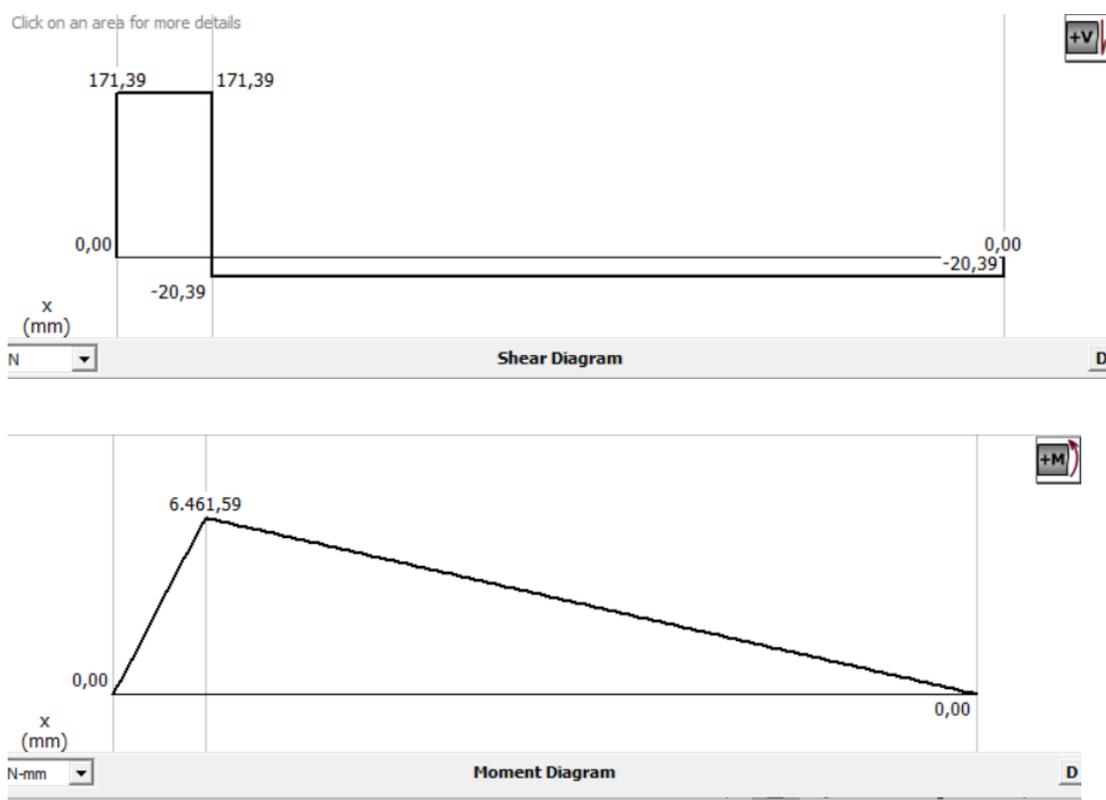
$$P_1(0.3546) - 177.19(0.3169) = 0$$

$$P_1 = 171.395 \text{ N}$$

Diagramas de fuerzas y momentos

Figura 93

Diagramas de fuerzas y momentos del eje AB



$$M_B = 6.46 \text{ Nm}$$

El punto crítico es el punto B

$$\sigma_{xM} = \pm \frac{32M_B}{\pi d^3} \rightarrow \pm \frac{32(6.46)}{\pi d^3} \rightarrow = \frac{206.72}{\pi d^3}$$

Ecuación

1

Esfuerzo máximo de Acero 1018 (transmisión) $\rightarrow \sigma_{max} = 440 \text{ MPa}$

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\pi d^3} \quad \text{Ecuación 35}$$

$$FS = \frac{S_y}{\sigma} \rightarrow FS = 2.5$$

$$\frac{206.72 \text{ Nm}}{\pi d^3} = \frac{440 \text{ M} \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)}{2.5}$$

$$d = 16.307 \text{ mm}$$

A continuación, se realizará el cálculo de la falla por fatiga del eje ya que en el mismo se presentan esfuerzos variables en el elemento que pueden producir fallas en el mismos para el cual se utilizara la teoría de deformación de Goodman.

- **Diseño de fatiga**

Resistencia última del Acero 1018 (transmisión) $\rightarrow S_{ut} = 393 \text{ MPa} \rightarrow 57 \text{ kPsi}$

$$S_y(\text{Resistencia a la cadencia}) = 296 \text{ MPa} \rightarrow 43 \text{ kPsi}$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e^l$$

$$S_e = (0.936)(0.947)(0.868)(296) = 227.74 \text{ MPa}$$

Punto crítico

$$M_B = 6.46 \text{ Nm}$$

$$T_B = 22.53 \text{ Nm}$$

$$\phi = \left[\left(\frac{32FS}{\pi S_y} \right) \left(M_B^2 + \frac{3T_B^2}{4} \right) \right]^{1/3}$$

$$\phi = \left[\left(\frac{32(2.5)}{\pi(296 \times 10^6)} \right) \left((14.34)^2 + \frac{3(22.53)^2}{4} \right) \right]^{1/3}$$

$$\phi = 0.02494 \text{ m} \rightarrow 24.94 \text{ mm} \rightarrow 25.4 \text{ mm} \rightarrow 1 \text{ pulg}$$

$$K_f = 1.389 \quad \rightarrow \quad K_{fs} = 1.156$$

$$\frac{1}{FS} = \frac{16}{\pi\phi^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}$$

$$\frac{1}{FS} = \frac{16}{\pi(0.0254)^3} \left\{ \frac{1}{(227.74)} \left[4(1.389 * 6.46)^2 + 3(1.156 * 0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right. \\ \left. + \frac{1}{(393)} \left[4((1.389 * 0))^2 + 3(1.156 * 22.53)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}$$

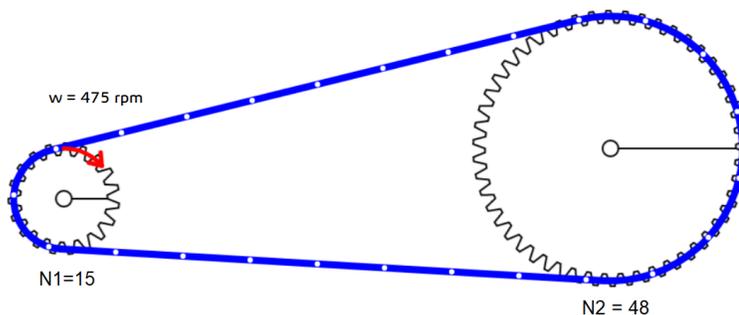
$$\frac{1}{FS} = 0.21879$$

$$FS = 4.57$$

F. Diseño de transmisión de la cadena del módulo de la entubadora

Figura 94

Transmisión de cadena



Calcular una transmisión por cadenas que conecta un motor eléctrico Figura 94.

- Accionamiento: de 475 rpm (revoluciones por minuto)

Reducción de velocidad

$$i = \frac{48}{15} = 3.2$$

- Potencia del motor eléctrico: 5 Hp

- Duración vida útil estimada: 15000 horas.

1) Número de dientes de las ruedas de la transmisión

Número de dientes rueda menor (piñón), $N_1 = 15$

Número de dientes rueda mayor, $N_2 = 48$

Relación de transmisión obtenida:

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

Ecuación

5

$$r = \frac{48}{15} = 3,2$$

2) Factor de servicio (Anexo 6)

$$Pot_{dis} = Pot_{nom} \frac{K_s}{K_{tm}} \quad (48)$$

$$Pot_{dis} = \frac{1.3 \times 5 \text{ Hp}}{K_{tm}} = \frac{6.5 \text{ Hp}}{K_{tm}}$$

Para la selección de la primera iteración del tamaño de la cadena se utiliza la potencia diseñada obtenida dependiendo el factor de cadenas K_{tm} :

Los tramos múltiples incrementan la capacidad de potencia, pero no proporcionan un múltiplo directo de la capacidad de un solo tramos (T) ver en la Tabla

1.

$$2T = \frac{6.5 \text{ Hp}}{1.7} = 3.82$$

$$3T = \frac{6.5 \text{ Hp}}{2.5} = 2.6$$

Figura 95

Ubicación de los datos para la selección del tipo de cadena



Visualización de la Tabla completa en anexo 7, 8 y 9 respectivamente:

$$1T \rightarrow RS 50 \rightarrow 13T \text{ (dientes)} \rightarrow Pot_{dis} = 6.79 \text{ Hp}$$

$$2T \rightarrow RS 40 \rightarrow 18T \text{ (dientes)} \rightarrow Pot_{dis} = 4.67 \text{ Hp}$$

$$3T \rightarrow RS 35 \rightarrow 13T \text{ (dientes)} \rightarrow Pot_{dis} = 2.09 \text{ Hp}$$

Esta ocasión tiende a elegir RS35 por la potencia de diseño es aproximadamente a la calculada anteriormente con el factor de seguridad.

Relación de transmisión:

$$i_{real} = \frac{48}{15} = 3,2$$

Diámetro de paso de la catarina

$$D = \frac{p}{\text{sen}(180^\circ/N)}$$

Ecuación

4

$$\text{Paso } (p) \rightarrow 1/2''$$

$$D_1 = \frac{1/2''}{\text{sen}(180^\circ/15)}$$

$$D_1 = 2.40 \text{ pulg}$$

$$D_2 = \frac{1/2''}{\text{sen}(180^\circ/48)}$$

$$D_2 = 8.64 \text{ pulg}$$

Longitud de la cadena:

$$\frac{L}{p} = \frac{2C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C/p}$$

Ecuación

6

Por recomendación los pasos deben estar en el rango de 30 a 50 veces al paso de la cadena por lo cual si su paso es de $\frac{1}{2}$ pulgada se usará $C = 15 \text{ pasos}$

$$\frac{L}{p} = 2C + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C}$$

$$\frac{L}{p} = 2(15) + \frac{15 + 48}{2} + \frac{(48 - 15)^2}{4\pi^2(15)}$$

$$\frac{L}{p} = 63.34 \rightarrow L = 63.34 p$$

Distancia central para una longitud particular de cadena

$$C = \frac{p}{4} \left[\frac{L}{p} - \frac{N_1 + N_2}{2} + \sqrt{\left[\frac{L}{p} - \frac{N_1 + N_2}{2} \right]^2 - \frac{8(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2}} \right]$$

Ecuación

7

$$C = \frac{1/2}{4} \left[\frac{63.34 p}{p} - \frac{15 + 48}{2} + \sqrt{\left[\frac{63.34 p}{p} - \frac{15 + 48}{2} \right]^2 - \frac{8(48 - 15)^2}{4\pi^2}} \right]$$

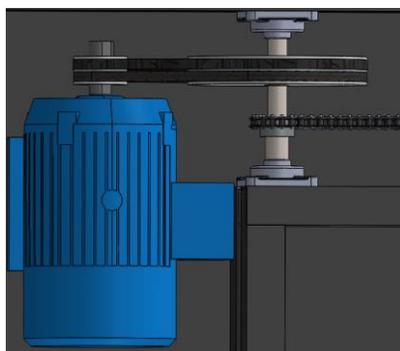
$$C = 7.50 \text{ pulg} \rightarrow 190.5 \text{ mm}$$

G. Selección de rodamientos del módulo de la entubadora

1. Seleccione el rodamiento adecuado si el eje AB gira 475 rpm y va a ser utilizado en una máquina que trabaja 8h diarias en forma continua Figura 96.

Figura 96

Selección del rodamiento para el eje AB



Datos:

Fuerzas que actúan en el eje:

$$A_x = 70.061 \text{ N}$$

$$A_y = 65.47 \text{ N}$$

Zona crítica:

$$B_x = 70.061 \text{ N}$$

$$B_y = -121.73 \text{ N}$$

$$F_B = \sqrt{(70.061)^2 + (-121.73)^2} = 140.45 \text{ N}$$

$$F_D = 177.19 \text{ N}$$

Vida: 25 000 horas

Solucion:

$$L_d = 25\,000 \text{ h} \times 475 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 712.5 \times 10^6 \text{ rev}$$

$$C = Fd \left(\frac{Ld}{10^6} \right)^{1/k} \quad (49)$$

$$C = 177.19 \text{ N} \left(\frac{712.5 \times 10^6}{10^6} \right)^{1/3}$$

$$C = 1.58 \text{ kN}$$

$$d = 1 \text{ pulg} = 25.4 \text{ mm}$$

Selección del rodamiento: Número de rodamiento 6805 entonces un (Anexo 11)

- 2. Seleccione el rodamiento adecuado si el eje CD gira 132 rpm y va a ser utilizado en una máquina que trabaja 8h diarias en forma continua Figura 97.**

Figura 97

Selección del rodamiento para el eje CD



Datos: Fuerzas que actúan en el eje:

$$C_x = 70.061 \text{ N}$$

$$C_y = 65.47 \text{ N}$$

Zona Crítica:

$$D_x = 20.39 \text{ N}$$

$$D_y = 171.379 \text{ N}$$

$$F_D = \sqrt{(20.39)^2 + (171.379)^2} = 172.58 \text{ N}$$

$$F_D = 172.58 \text{ N}$$

Vida: 25 000 horas

Solución:

$$L_d = 25\,000 \text{ h} \times 132 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 198 \times 10^6 \text{ rev}$$

$$C = F_d \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{1/k}$$

Ecuación

35

$$C = 172.58 \text{ N} \left(\frac{198 \times 10^6}{10^6} \right)^{1/3}$$

$$C = 1.05 \text{ kN}$$

$$d = 1 \text{ pulg} = 25.4 \text{ mm}$$

Selección del rodamiento: Número de rodamiento 6705 entonces un (Anexo 11)

3. **Seleccione el rodamiento adecuado para el cilindro superior de la máquina entubadora que se encuentra girando a 132 rpm Figura 98.**

Figura 98

Selección del rodamiento cilindro



Solución:

La velocidad que se genera en la parte del eje con el cilindro es de $v = 0.35 \text{ m/s}$ la cual mediante cálculo posee la siguiente fuerza la cual es ejercida en la banda de las mismas que se encuentran conectadas entre dos cilindros teniendo en cuenta la gravedad que influye en el sistema.

$$F = \frac{m \times v^2}{r} \quad (50)$$

$$F = (20.65 \text{ Kg}) \times \left(\frac{(0.35 \text{ m/s})^2}{0.09 \text{ m}} + 9.8 \text{ m/s}^2 \right)$$

$$F = 230.48 \text{ N}$$

Vida: 25 000 horas

Por lo cual la vida útil del rodamiento se calcularía:

$$L_d = 25\,000 \text{ h} \times 132 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 712.5 \times 10^6 \text{ rev}$$

Mientras que la carga dinámica de la misma sería:

$$C = Fd \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{1/k} \quad \text{Ecuación}$$

35

$$C = 230.48 \text{ N} \left(\frac{712.5 \times 10^6}{10^6} \right)^{1/3}$$

$$C = 2.05 \text{ kN}$$

$$d = 1 \text{ pulg} = 25.4 \text{ mm}$$

Selección del rodamiento: Número de rodamiento 6805 entonces un (Anexo 11)

F. Selección de rodamientos del módulo de la cortadora

1. Seleccione el rodamiento adecuado si el eje AB gira 1692 rpm y va a ser utilizado en una máquina que trabaja 8h diarias en forma continua Figura 99.

Figura 99

Chumacera de mesa módulo de la cortadora



Datos:

$$rpm = 1692 \rightarrow 1692 \frac{rev}{min} \times \frac{1 min}{60 seg} = 28.2 Hz$$

$$Motor = 0.75 Hp \rightarrow 0.75 Hp \times \frac{745.5 Watts}{1 Hp} = 559.125 Watts$$

Torque A

$$T_A = \frac{P}{2\pi f} = \frac{559.125 Watts}{2\pi(28.2 Hz)} \quad (51)$$

$$T_A = 3.16 N \cdot m$$

Fuerza tangencial

$$F_A = \frac{T_A}{r_A} = \frac{3.16 N \cdot m}{0.01905 m} \quad (52)$$

$$F_A = 165.88 N$$

Vida: 25 000 horas

Solución:

$$L_d = 25\,000\text{ h} \times 132 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{60\text{ min}}{1\text{ h}} = 198 \times 10^6 \text{ rev}$$

$$C = Fd \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{1/k}$$

Ecuación

35

$$C = 165.88\text{ N} \left(\frac{198 \times 10^6}{10^6} \right)^{1/3}$$

$$C = 0.966\text{ kN}$$

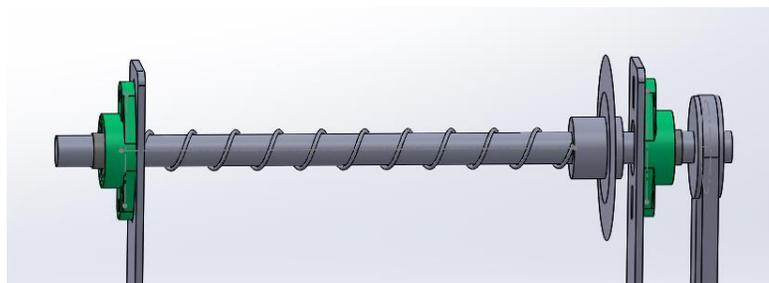
$$d = 3/4\text{ pulg} = 19.05\text{ mm}$$

Selección del rodamiento: Número de rodamiento 6805 entonces un (Anexo 11)

2. Seleccione el rodamiento adecuado si el eje CD gira 676.8 rpm y va a ser utilizado en una máquina que trabaja 8h diarias en forma continua Figura 100.

Figura 100

Chumacera de pared módulo de la cortadora



Datos:

$$rpm = 676.8 \rightarrow 676.8 \frac{rev}{min} \times \frac{1 min}{60 seg} = 11.28 Hz$$

$$Motor = 0.75 Hp \rightarrow 0.75 Hp \times \frac{745.5 Watts}{1 Hp} = 559.125 Watts$$

Torque A

$$T_A = \frac{P}{2\pi f} = \frac{559.125 Watts}{2\pi(11.28 Hz)} \quad (53)$$

$$T_A = 7.89 N \cdot m$$

Fuerza tangencial

$$F_A = \frac{T_A}{r_A} = \frac{7.89 N \cdot m}{0.0254 m} \quad (54)$$

$$F_A = 310.63 N$$

Solución:

$$L_d = 25\,000 h \times 132 \frac{rev}{min} \times \frac{60 min}{1 h} = 198 \times 10^6 rev$$

$$C = Fd \left(\frac{Ld}{10^6} \right)^{1/k} \quad \text{Ecuación}$$

35

$$C = 310.63 N \left(\frac{198 \times 10^6}{10^6} \right)^{1/3}$$

$$C = 1.81 kN$$

$$d = 1 pulg = 25.4 mm$$

Selección del rodamiento: Número de rodamiento 6705 entonces un (Anexo 11)

Diseño eléctrico

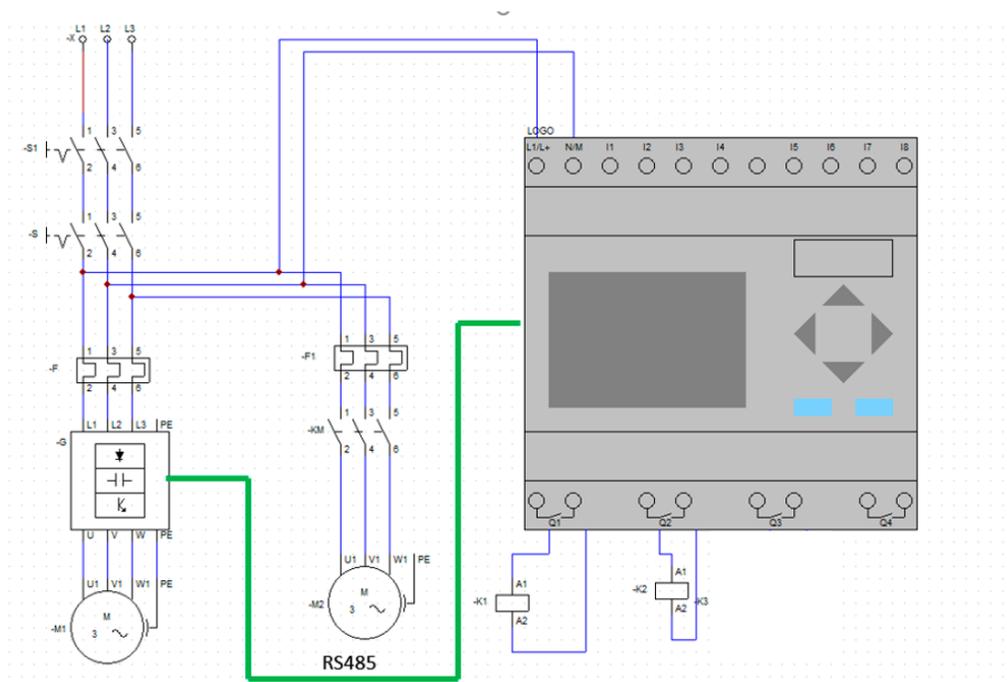
Una vez realizado el diseño mecánico, se debe establecer el sistema eléctrico que controlara la misma, en otras palabras, toda la circuitería que existirá para que la máquina funcione correctamente, esta incluye sus sensores, actuadores, controladores, y variadores de frecuencia.

Diagrama eléctrico de potencia

En la Figura 101, se muestra el diagrama eléctrico de potencia que poseerá la máquina Entubadora con todos sus módulos.

Figura 101

Diseño eléctrico de potencia



La máquina entubadora para el correcto funcionamiento de todos los módulos necesita 3 actuadores, dos de estos son eléctricos y los restantes son neumáticos, sin embargo, todos serán activados o controlados de manera electrónica.

Como se puede observar tenemos tres líneas de alimentación trifásica, L1, L2, L3, estas están conectadas directamente a un breaker externo, que se encuentra alejado fuera de la misma, en una caja de breakers aparte; posterior a este se encuentra un breaker interno a de la máquina, que funciona a manera de encendido o apagado de la máquina ya que esta es la entrada principal de energía para todo el sistema de entubadora de papel cartón.

Pasamos a la conexión del primer actuador de la máquina, es el motor de 5 hp a 220vac, M1, siendo este el actuador principal de la máquina y el encargado de determinar la velocidad de producción, par a este colocamos un relee térmico, -F, que servirá de protección de las líneas y un variador de frecuencia, -G, será el encargado de regular la velocidad de enrollamiento del papel, se debe recordar que este actuador es el encargado de engomar el papel también.

Como como segunda conexión, se tiene el motor secundario, que no posee más que un relé térmico, F1, por protección igual de las líneas de alimentación y un contactor, KM; este motor secundario es el encargado de hacer girar la cuchilla que cortaran los tubos de cartón ya enrollado.

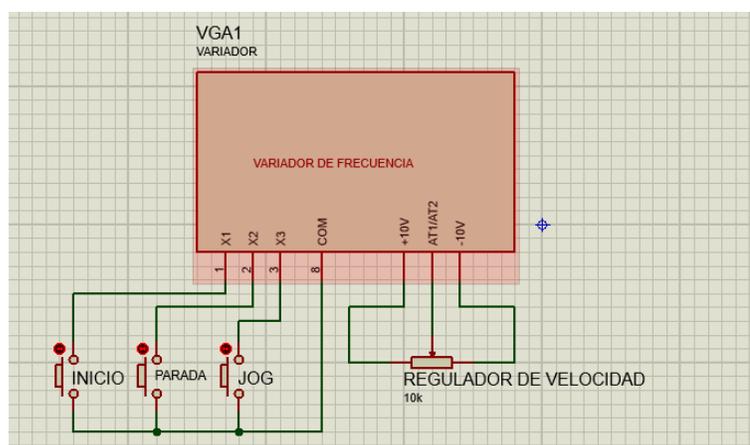
Como ultima conexión en el diagrama eléctrico de potencia, es la utilización de un controlador lógico programable, para esta máquina utilizaremos un micro Logic, que es un plc industrial con funciones limitadas, pero para en esta aplicación en este específico es suficiente, este plc posee protocolo de comunicar Modbus Tcp y es necesario para enlazar la modulo cortadora con el módulo Entubadora. Este PLC es el encargado de controlar el accionamiento neumático y el contactor del motor de la cuchilla para realizar el corte.

Diagrama eléctrico de control

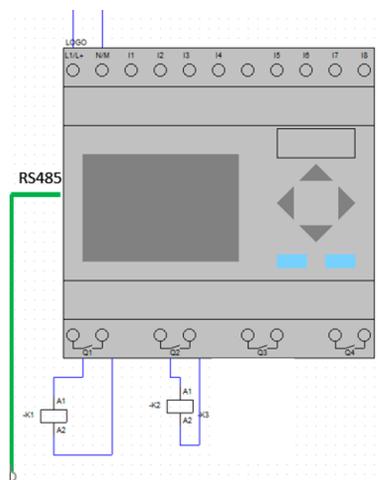
Una parte fundamental en el desarrollo de una máquina de industrial, es como esta va a ser manejada por el operario, que grado de capacitación necesitara el mismo para poder ser eficiente en su labor. A continuación, en la Figura 102, se puede observar el diagrama eléctrico de control que regirá en la máquina entubadora.

Figura 102

Diagrama eléctrico de control



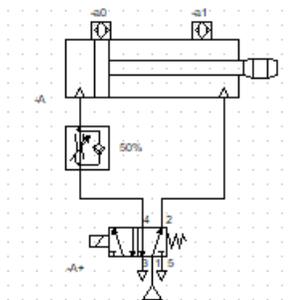
Siendo la máquina entubadora una máquina bastante simple para manejar, su control no representará un reto para el operario, como se muestra en la figura, no se utilizará más de 3 botones y un potenciómetro para empezar la producción. Empezaremos por el botón JOG, que es el botón más importante, ya que este dará pulsos al motor para generar un movimiento a manera de escalón, este pequeño impulso dejará regular la entrada del papel acomodar las bandas y calibrar la máquina para una producción continua. Los siguientes botones, inicio y parada, como su nombre lo indican, será el inicio y el fin del ciclo de producción. Es importante configurar el variador de frecuencia en modo “control externo”, para que este obtenga los pulsadores como mando principal.

Figura 103*PLC Siemens Logo V8*

En la Figura 103, se puede observar al PLC Siemens Logo V8, que es el que se va utilizar en este proyecto, este controlador lógico programable, está conectado por cable RS485 al variador de frecuencia, esto le permite saber cuándo está en funcionamiento la máquina y a qué velocidad está trabajando, según esto el plc decidirá cuándo efectuar el corte según el largo de tubo de cartón, este será definido por el operario; también hay que recalcar que él tiene 2 salidas que están conectadas a diferentes bobinas, la primera es una bobina conectada a la electroválvula de empuje de la cuchilla de la máquina cortadora, y la tercera activa el contactor para encender el motor que hace girar a la cuchilla.

Circuito neumático

El circuito neumático, Figura 104, parte fundamental para el módulo de cortador de los tubos de cartón, consta de dos cilindros de doble efecto, controlada cada uno su respectiva electroválvula monoestable, se debe recordar que las electroválvulas serán activadas por plc.

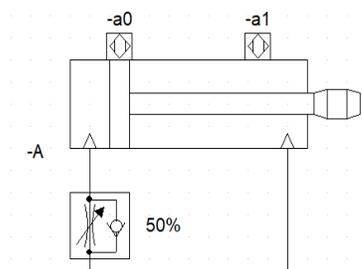
Figura 104*Circuito neumático*

La secuencia que van a seguir los cilindros es:

$A +$

Los cilindros neumáticos controlan el corte siendo el cilindro A, el encargado de acercar la cuchilla al canuto para realizar el corte, es importante aclarar que al ingresar la cuchilla al canuto esta se desliza a través del eje giratorio, y se acomodara a la velocidad de avance de la entubadora. Las válvulas que controlan los cilindros son monoestables por esta razón no es necesario mandar una orden de regreso, ya que al dejar de alimentar las electroválvulas el cilindro volverá a su posición de partida.

Como se ilustra en la Figura 105 el cilindro A posee un estrangulador en la entrada de aire, este servirá para regular la velocidad con la que ingresa la cuchilla al canuto.

Figura 105*Cilindro A*

Diseño de los pistones

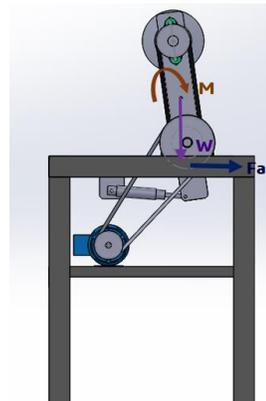
- **Diámetro del pistón A**

Una vez realizado la secuencia y el circuito neumático que necesitará el modulo cortador, es necesario, determinar el diámetro que tendrá el embolo de la máquina, para esto uno debe de ayudar con las fuerzas que están sometidos a este cilindro. Para esto se debe tener en cuenta que el cilindro A es el encargado de empujar la cuchilla al canuto para realizar el corte, para poder realizar un corte ortogonal al tubo de cartón. Como se especificó el peso que carga la estructura base del módulo cortadora es de 71.2 N, esto se puede observar en el apartado 3.7.1, con esto podremos calcular la fuerza necesaria que debe ejercer el cilindro Figura 106:

- **Análisis de fuerzas**

Figura 106

Análisis de fuerzas de los pistones



$$\sum M = 0$$

$$F_A(142.97) = W_{cor}(230)$$

$$F_A = 230 * 9.81 * 7192.77/142.97$$

$$F_A = 113.5 N$$

- **Diseño del cilindro neumático**

Una vez obtenida la fuerza necesaria se puede llegar a determinar el diámetro del embolo.

$$F_{cor} = \frac{(D_{embolo}^2)\pi}{4} * P$$

$$D^2 = \frac{4(F_{cor})}{\pi * P}$$

P la presión escogida se ejercerá dependiendo de la presión suministrada por el compresor neumático.

$$D^2 = \frac{4(113,5 N)}{\pi * 1500000}$$

$$D_{embolo} = 0.0098153 m$$

Con esto se puede concluir que se puede utilizar un cilindro neumático de diámetro de embolo 9 mm, pero un diámetro estándar de embolo es 16 mm y se necesita una carrera de 25 mm que representa el largo que necesitara para poder ingresar la cuchilla.

Programación del PLC

Desarrollo de la programación del PLC

Como parte fundamental del desarrollo de la máquina entubadora, es la programación del PLC debido a que sin esta la automatización de la máquina no sería completa, además se debe recordar que la programación del PLC es esencial para que el operario pueda manejar la máquina de mejor manera, obviamente el operario no conocerá la programación que existirá interna en el plc, sin embargo, este es que le permitirá el control total de la producción de la máquina entubadora.

Para esta aplicación se en específico, no hace falta un PLC de grandes capacidades, por eso se ha escogido un plc de gama básica que cumpla con su propósito de manera eficiente, se ha escogido el PLC Siemens Logo V8 230RC que es un micro log o micro autómatas, este controlador lógico programable posee 8 entradas y 4 salidas, como su nombre lo indica es posee una alimentación de 110v a 230v y las salidas son controladas por medio de relés.

El siemens logo V8 es muy utilizado a nivel industrial, para aplicaciones pequeñas, tiene su propio software de programación que es el Logo Soft Comfort. Figura 107, aunque también puede ser programado por el programa base de Siemens TIA Portal.

Figura 107

Siemens LOGO V8



Se debe recordar que el plc estará conectado al variador de frecuencia mediante el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP, este lo realizaremos con un cable de RS485 conectado a cada uno de los zócalos RJ45 ubicado tanto en el variador de frecuencia como en el plc.

Teniendo la plc como servidor y al variador de frecuencia como esclavo, se procede a revisar el manual de usuario del variador de frecuencia KINCO V20, este nos otorgará los valores o direcciones que debemos ingresar el bloque de datos de la programación del plc.

Todos estos valores los obtendremos de la siguiente tabla 13, que ha sido obtenida del apartado de comunicación del manual de operación del variador de frecuencia.

Tabla 13

Variador de frecuencia KINCO V20

Dirección de registro	Nombre de los parámetros	Nota
0x3300	Palabra de estado de operación de VFD 1	
0x3301	Valor de referencia principal actual	Frecuencia de funcionamiento actual
0x3302	Modelo esclavo	
0x3303	Modelo VFD	
0x3304	Versión del software	
0x3305	Frecuencia de funcionamiento actual	
0x3306	Corriente de salida	
0x3307	Tensión de salida	
0x3308	Potencia de salida	
0x3309	Velocidad de rotación de funcionamiento	
0x330A	Velocidad de la línea de operación	

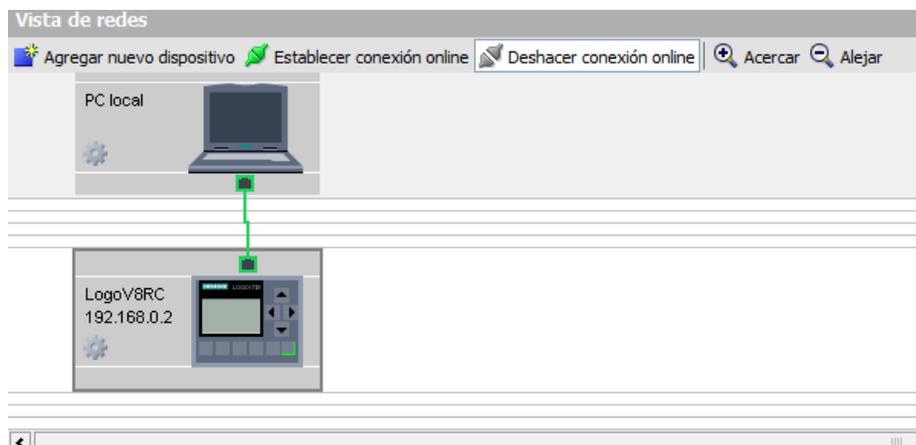
La dirección de registro que necesitamos obtener es la 0x3305, que nos otorga la frecuencia de operación y con eso ya podemos obtener la velocidad de funcionamiento del motor.

Con este dato fundamental se procede a la programación de PLC. Como se explica anteriormente se utiliza el programa exclusivo para este modelo de siemens, el logo confort, este programa utiliza el modo de programación por bloques siendo una programación más intuitiva y sencilla, también dispone la programación por Ladder.

Se añade el dispositivo que se va a utilizar como autómeta, siendo este el Siemens Logo V8 230Rc, este será el servidor que tendrá una dirección IP 192.168.0.2; se establece la conexión con el ordenador que será su programador.

Figura 108

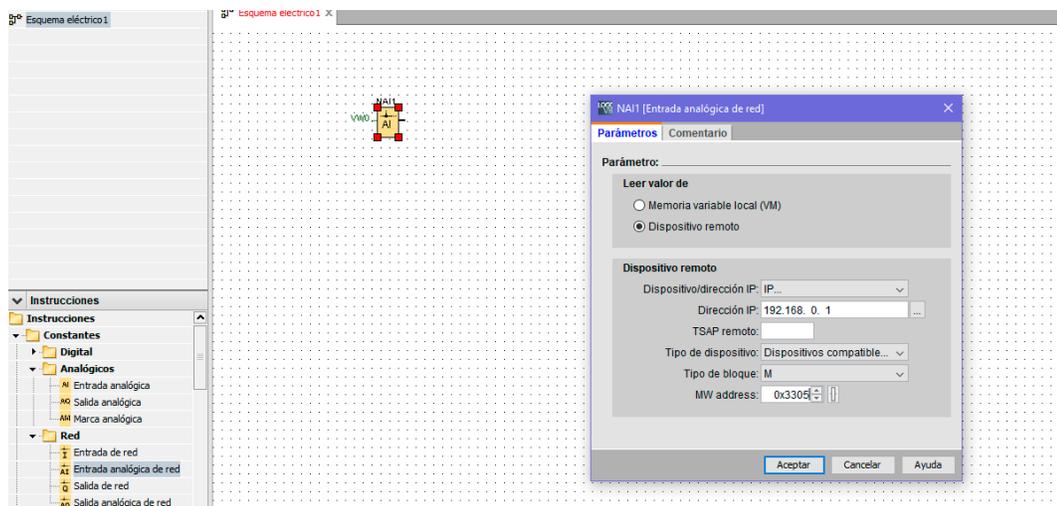
Servidor Siemens Logo V8 230Rc



De igual, igual manera se debe configurar la IP del cliente que será el variador de frecuencia esta será por defecto 192.168.0.1, no hace falta configurarla a otra ya que no se posee un switch de conexión, y será conectada directo.

Figura 109

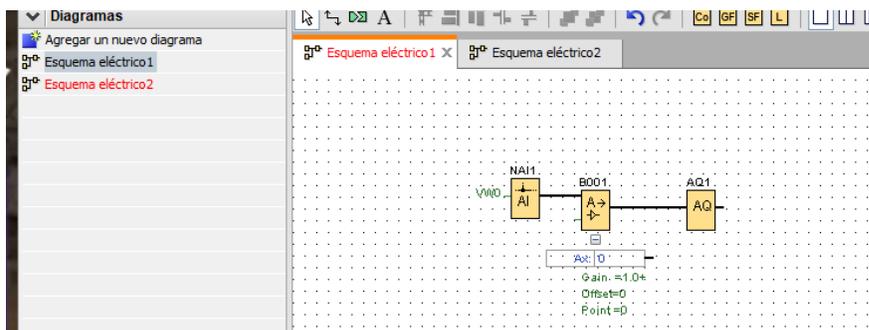
Bloque de red de entrada analógica



Como se muestra en la Figura 109, se añade un bloque de red de entrada analógica donde se configuran los parámetros de registro que leerá el PLC.

Figura 110

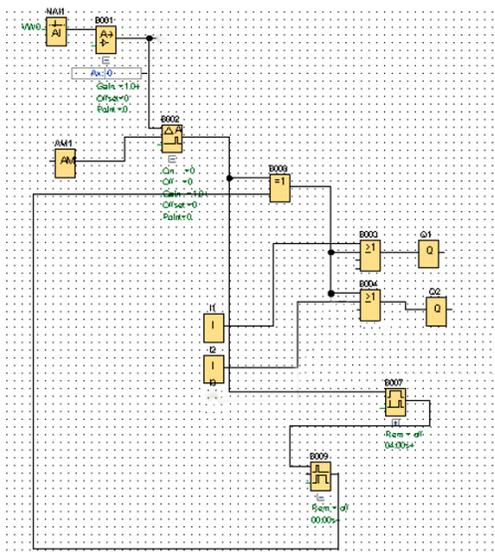
Salida del PLC - amplificador lógico



En la Figura 110, a la salida del PLC se añadirá un amplificador lógico al cual se le aplicará una ganancia dependiendo de la frecuencia a la que esté trabajando, y esta será mandada a una salida, esta salida ira conectada al estrangulador de aire, que está conectado al circuito neumático que empuja la máquina cortadora, este paso es fundamental para controlar el avance de corte de la máquina.

Figura 111

Lectura amplificada del variador de frecuencia



En la Figura 111, se puede apreciar que a la lectura amplificada del variador de frecuencia se le añade un comparador, este bloque compara la velocidad amplificada obtenido por el PLC con una marca analógica, esta marca tiene un registro que posee una velocidad mínima a la que la máquina puede trabajar.

Con ese comparador obtendremos un booleano que nos indicara si la máquina está o no enrollando tubos de cartón, con esto obtendremos la señal necesaria para activar el motor del módulo cortador, Q1, y activar la electroválvula que efectúa el corte del tubo de cartón, Q2. Todas estas salidas Q1 y Q2 están conectadas a pulsadores independientes que nos permitirán activar estas salidas sin que la máquina este en un funcionamiento para que el operario tenga mayor control sobre la misma.

También en la programación se han añadido dos temporizadores, el primero, B007, permite controlar el tiempo de avance de la máquina cortadora y el segundo temporizador, B008, nos permitirá controlar el tiempo de regreso del temporizador. Todos estos bloques de programa serán cargados al micro autómeta para después ser colocado en el tablero eléctrico como se mostró en la Figura 111.

Construcción, Montaje y Costos

Generalidades

Es este capítulo se presentan algunos diagramas y esquemas a través de los cuales se explica de manera clara los procesos implicados en la construcción de la máquina automatizada, así como el montaje de la misma. Por otra parte, también se plantea una descripción de los costos generados durante la construcción de la máquina buscando que el costo total sea económico y sea accesible en la industria.

Construcción de la máquina

Como aspecto importante al momento de la construcción de la máquina de tubos de cartón se debe tener en cuenta que el lugar de trabajo conste con los equipos, herramientas necesarias para la fabricación de la misma. Por otra parte, se debe tener ya los materiales que se emplearan en la construcción de manera que se agilice el trabajo evitando de esta manera retrasos en la construcción. Finalmente, toda la información necesaria como planos, manuales que eviten que daños en los materiales o equipos que se estén utilizando.

Máquinas, herramientas e instrumentos de medición

Para elaboración de la máquina automatizada de tubos de cartón que está conformada de tres partes las cuales son el porta bobinas, la entubadora y la cortadora se requiere la utilización de máquinas como son: torneadora, soldadora, cortadora, taladro. Como instrumentos de medición flexómetro, calibrador. Finalmente, como herramientas los accesorios para tornear, brocas, sierra, electrodos, discos de corte, llaves.

A continuación, en la Tabla 14 un listado de los herramientas y equipos que se usaran para la construcción de la máquina.

Tabla 14

Listado de máquinas, herramientas e instrumentos de medición

Máquina	Herramientas	Instrumentos de Medición
Torno	Accesorios de torno	Calibrador
Soldadora	Electrodos	Flexómetro
Amoladora	Discos de corte	Nivel
Taladro	Brocas	
Fresadora	Sierra	
	Llaves	

Materia prima

En la Tabla 15 se detalla de manera resumida los materiales en general que se usaran en la construcción de la máquina automatizada de tubos de cartón.

Tabla 15.

Materia prima para la construcción de la máquina

Materia prima
Tubo estructural cuadrado 2 in.
Plancha de acero 6 mm
Plancha de acero 10 mm
Plancha de acero inoxidable de 1mm
Plancha de acero inoxidable de 3mm
Ejes de Aluminio

Materia prima
Ejes de Transmisión
Ejes huecos de acero estructural
Ángulo de Acero Estructural 1 in.
Ángulo de Acero Estructural 2 in
Tubos de acero inoxidable

Elementos mecánicos y piezas a construir

En la Tabla 16 se mostrará los procesos de fabricación de los elementos mecánicos que compone la máquina automatizada de tubos de cartón.

Tabla 16

Elementos y piezas a construir

Elemento mecánico	Proceso de fabricación
Estructura (Porta Bobinas)	<ul style="list-style-type: none"> • Trazado: líneas de corte según los planos diseñados. • Corte: se lleva a cabo los cortes del tubo estructural cuadrado acorde a las medidas del diseño realizado. • Limpieza: quitar las virutas/rebaba generadas en el corte. • Soldadura: unir los tubos estructurales dependiendo de las especificaciones de los planos. Después, de los respectivos elementos generados. • Torneado: de partes adicionales a la estructura. • Taladrado: se ejecuta las perforaciones necesarias. • Pintura: se pinta la estructura finalizada.

Elemento mecánico	Proceso de fabricación
Ejes – Bobinas	<ul style="list-style-type: none"> • Trazado: líneas de corte según los planos diseñados. • Corte: se realiza el corte del tubo hueco según planos. Y el corte de las láminas de acero. • Limpieza: quitar las virutas/rebaba generadas en el corte. • Torneado: de partes adicionales a la estructura. • Soldadura: unión de los elementos cortados. • Limpieza: quitar la escoria generada en la soldadura.
Engomadora (Bandejas)	<ul style="list-style-type: none"> • Trazado: líneas de corte según los planos diseñados. • Corte: se realiza el corte de la lámina de acero inoxidable de 1mm.
Rodillos – Ejes (Engomadora)	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza: quitar las virutas/rebaba generadas en el corte. • Doblado: se genera el plegado sobre los dobleces trazados. • Soldadora: unir los elementos para la estructura de la bandeja. • Taladro: se realizan las perforaciones necesarias según el diseño. • Corte: se lleva a cabo el corte del eje de transmisión con las medidas necesarias. • Limpieza: quitar las virutas/rebaba generadas en el corte. • Torneado: se realiza las respectivas operaciones del eje para ubicarlo como un rodillo giratorio. • Soldadora: unir los elementos para los rodillos de la engomadora.

Elemento mecánico	Proceso de fabricación
Rodillos de giro	<ul style="list-style-type: none">• Limpieza: retirar la escoria generada de la soldadura.• Pulido: pulir los ejes y rodillos para la engomadora. <ul style="list-style-type: none">• Corte: se lleva a cabo el corte del eje de transmisión con las medidas necesarias.• Limpieza: quitar las virutas/rebaba generadas en el corte.• Torneado: se realiza las respectivas operaciones del eje para ubicarlo como un rodillo giratorio.• Soldadura: unir los tubos estructurales dependiendo de las especificaciones de los planos. Después, de los respectivos elementos generados.• Taladrado: se ejecuta las perforaciones necesarias.• Pintura: se pinta la estructura finalizada.
Planchas de Estructura	<ul style="list-style-type: none">• Corte: se lleva a cabo los cortes de la lámina acorde a las medidas del diseño realizado.• Limpieza: quitar las virutas generadas en el corte.• Perforado: se realiza el taladrado de los barrenos correspondientes según los planos.

Elemento mecánico	Proceso de fabricación
<p>Soporte del Eje (Voladizos)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Trazado: líneas de corte según los planos diseñados • Corte: se lleva a cabo el oxicorte (corte por plasma) según las medidas de los planos. • Limpieza: quitar las virutas generadas en el corte. • Soldadura: unir los cortes de la lámina dependiendo de las especificaciones de los planos. Después, de los respectivos elementos generados. • Pulido: se realiza el pulido de los voladizos. • Pintura: se pinta la estructura finalizada.
<p>Estructura del sistema de transmisión de potencia</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Corte: se lleva a cabo el corte del acero estructural del ángulo. • Limpieza: quitar las virutas generadas en el corte. • Taladrado: perforación de los laterales del ángulo estructural. • Soldadura: unir los cortes del ángulo para el sistema de transmisión. • Limpieza: retirar la escoria generada de la soldadura.
<p>Ejes de transmisión de potencia</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Corte: se lleva a cabo el corte del eje de transmisión con las medidas necesarias. • Torneado: se realiza las respectivas operaciones del eje. • Fresado: fresado de los respectivos chaveteros.

Elemento mecánico	Proceso de fabricación
Elementos de Transmisión	<ul style="list-style-type: none"> • Torneado: adecuación de los ejes de transmisión como por ejemplo poleas y piñones. • Fresado: fresado de los respectivos chaveteros.
Planchas de fijación de Motor	<ul style="list-style-type: none"> • Corte: se lleva a cabo el corte de la plancha de acero de 10mm. • Limpieza: quitar las virutas generadas en el corte.
Eje Núcleo	<ul style="list-style-type: none"> • Corte: se lleva a cabo el corte del eje de transmisión con las medidas necesarias. • Maquinado: se realiza las respectivas operaciones del eje. • Rectificado: se realiza el rectificado correspondiente para conseguir una superficie lo más lisa posible.
Cilindros Enrolladora de Cartón	<ul style="list-style-type: none"> • Corte: se lleva a cabo el corte del eje con las medidas necesarias. • Torneado: se realiza las respectivas operaciones del eje. • Fresado: fresado para los respectivos chaveteros. • Limpieza: quitar las virutas generadas en el maquinado. • Soldadura: se suelda la parte superior e inferior que permitirán ubicarlos y sujetarlos en la estructura. • Limpieza: retirar la escoria generada de la soldadura.

Elemento mecánico	Proceso de fabricación
Soporte de las capas de cartón	<ul style="list-style-type: none"> • Corte: se lleva a cabo el corte del tubo con las medidas necesarias. • Torneado: respectivas operaciones de los ejes de transmisión. • Taladrado: realización de las perforaciones para la ubicación de las partes en la estructura. • Pulido: respectivo pulido de los ejes.
Estructura (Cortadora)	<ul style="list-style-type: none"> • Trazado: líneas de corte según los planos diseñados • Corte: se lleva a cabo los cortes del tubo estructural cuadrado acorde a las medidas del diseño realizado. • Limpieza: quitar las virutas generadas en el corte. • Soldadura: unir los tubos estructurales dependiendo de las especificaciones de los planos. Después, de los respectivos elementos generados. • Taladrado: se ejecuta las perforaciones necesarias. • Pintura: se pinta la estructura finalizada.
Rieles guías	<ul style="list-style-type: none"> • Corte: se realiza el corte del perfil con las medidas correspondientes. • Limpieza: quitar las virutas generadas en el corte. • Soldadura: se sueldan los rieles de guía en la estructura siguiendo los planos.

Elemento mecánico	Proceso de fabricación
Base (Cortadora)	<ul style="list-style-type: none"> • Corte: se realiza el corte de la plancha de acero de 6 mm con las medidas correspondientes. • Limpieza: quitar las virutas generadas en el corte. • Taladrado: se ejecuta las perforaciones necesarias.
Paredes de la Cama de la Riel	<ul style="list-style-type: none"> • Trazado: líneas de corte según los planos diseñados • Corte: se lleva el corte de la plancha de acero según las especificaciones del plano. • Limpieza: quitar las virutas generadas en el corte.
Riel de la cuchilla	<ul style="list-style-type: none"> • Corte: se lleva el corte de la plancha de aluminio según las especificaciones del plano. • Limpieza: quitar las virutas generadas en el corte.
Elementos del sistema de cortado	<ul style="list-style-type: none"> • Corte: se lleva a cabo el corte de los ejes según los planos. • Torneado: se realiza las respectivas operaciones.

Etapas de construcción

Para la construcción de la máquina automatizada de tubos de cartón para papel higiénico es necesario realizar ciertas etapas para la elaboración de la misma que está basada en la siguiente secuencia.

- a) Obtención de los materiales.
- b) Almacenamiento de los materiales.
- c) Trazos sobre los materiales a usarse en la construcción.
- d) Ejecución de los procesos para la fabricación de la máquina.
- e) Retiras los rastros de virutas sobre los procesos de fabricación de la máquina.
- f) Comprobación de las dimensiones, estabilidad, perpendicularidad.
- g) Pintado de las estructuras externas de la máquina automatizada.

A continuación, en la Figura 112, Figura 113, Figura 114, Figura 115 se observa la etapa de construcción de algunas partes de la máquina automatizada.

Figura 112

Transporte de la materia prima para la estructura de la máquina



Figura 113

Trazo y corte de las planchas de soporte de la estructura de la entubadora

**Figura 114**

Soldadura de la estructura porta bobina



Figura 115*Estructura de la entubadora****Diagrama de flujo de construcción***

A continuación, en la Tabla 17 se detalla la simbología a usará en el diagrama de flujo de construcción de la máquina automatizada. Y en la Tabla 18 el desarrollo del diagrama de flujo de la construcción del equipo.

Tabla 17*Simbología del diagrama de flujo*

Símbolo	Interpretación
○	Operación
➔	Transporte
◇	Inspección

Tabla 18

Diagrama de flujo de construcción

Ítem	Actividad	Descripción	Tipo de actividad			t (min)
			○	⇒	◇	
1	Estructura	Transportar el material		x		150
2	(Porta Bobinas)	Cortar los perfiles cuadrados	x			120
3		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15
4		Soldar las partes del tubo estructural según el diseño de los planos	x			90
5		Retirar la escoria generada en la soldadura	x			15
6		Torneado de los elementos de la porta bobinas	x			180
7		Taladrar las respectivas perforaciones	x			90
8		Roscar las respectivas perforaciones	x			90
9		Retirar las virutas generadas	x			15
10		Pintar	x			60
11		Inspeccionar			x	15
12	Engomadora	Transportar el material		x		90
13	(Bandeja)	Cortar la plancha de acero 6 mm según los planos	x			60
14		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15
15		Soldar las partes de la plancha según el diseño de los planos	x			180

Ítem	Actividad	Descripción	Tipo de actividad			t (min)
						
16		Retirar la escoria generada en la soldadura	x			15
17		Inspeccionar			x	10
18	Ejes - Bobinas	Transportar el material		x		150
19		Cortar el tubo hueco según los planos	x			60
20		Tornear el tubo hueco de acero estructural inoxidable	x			210
21		Cortar la plancha de acero 6 mm según los planos	x			90
22		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15
23		Soldar el tubo hueco y las partes de la plancha según el diseño de los planos	x			90
24		Retirar la escoria generada en la soldadura	x			15
25		Inspeccionar			x	10
26	Rodillos – Ejes (Engomadora)	Transportar el material		x		90
27		Cortar el eje según los planos	x			60
28		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15
29		Torneado de los tubos huecos, y el eje de transmisión	x			240
30		Soldar los tubos huecos y los ejes de transmisión	x			150
31		Retirar la escoria generada en la soldadura	x			15
32		Inspeccionar			x	10

Ítem	Actividad	Descripción	Tipo de actividad			t (min)
						
33	Estructura	Transportar el material		x		90
34	(Entubadora)	Cortar los perfiles cuadrados	x			90
35		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15
36		Soldar las partes del tubo estructural según el diseño de los planos	x			240
37		Retirar la escoria generada en la soldadura para evitar acumulación	x			15
38		Taladrar las respectivas perforaciones	x			120
39		Roscar las respectivas perforaciones	x			120
40		Retirar las virutas generadas	x			15
41		Pintar	x			90
42		Inspeccionar			x	10
43	Planchas de la	Transportar el material		x		60
44	estructura	Cortar las planchas con las perforaciones correspondientes según los planos	x			210
45		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15
46		Taladrar las respectivas perforaciones	x			120
47		Roscar las respectivas perforaciones	x			120
48		Inspeccionar			x	10

Ítem	Actividad	Descripción	Tipo de actividad			t (min)
						
49	Soporte del Eje (Voladizos)	Transportar el material		x		90
50		Cortar la plancha de acero 6 mm según los planos	x			210
51		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15
52		Soldar las partes de la plancha según el diseño de los planos	x			240
53		Retirar la escoria generada en la soldadura	x			15
54		Pulir las planchas	x			180
55		Taladrar las respectivas perforaciones	x			90
56		Roscar las respectivas perforaciones	x			90
57		Acoplar en la estructura de la entubadora y el eje base	x			180
58		Inspeccionar			x	10
59		Pulir las planchas	x			180
60		Taladrar las respectivas perforaciones	x			90
61		Roscar las respectivas perforaciones	x			90
62		Acoplar en la estructura de la entubadora y el eje base	x			180
63		Inspeccionar			x	10
64	Estructura del sistema de transmisión de potencia	Transportar el material		x		120
65		Cortar el eje de transmisión según los planos	x			90
66		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15

Ítem	Actividad	Descripción	Tipo de actividad			t (min)
						
67		Taladrado de los ejes de transmisión hasta obtener el diámetro requerido según los planos	x			120
68		Retirar las virutas generadas del taladrado	x			15
69		Inspeccionar			x	10
70	Ejes de	Transportar el material		x		120
71	transmisión de potencia	Cortar el eje de transmisión según los planos correspondientes	x			60
72		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15
73		Torneado de los ejes				500
74		Maquinado, Fresado				250
75		Retirar las virutas generadas en el maquinado				15
76		Inspeccionar			x	10
77	Elementos de	Transportar el material		x		60
78	Transmisión	Torneado de los chaveteros	x			210
79		Maquinado de los chaveteros	x			250
80		Retirar las virutas generadas en el maquinado y evitar acumulación	x			15
81		Inspeccionar			x	10
82	Planchas de	Transportar el material		x		150
83	fijación de Motor	Cortar la plancha de acero según los planos	x			210
84		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15
85		Inspeccionar			x	10

Ítem	Actividad	Descripción	Tipo de actividad			t (min)
						
85	Eje Núcleo	Transportar el material		x		90
86		Cortar el eje de transmisión según los planos	x			25
87		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15
88		Maquinado del eje	x			120
89		Rectificado hasta dejar lo más liso posible	x			240
90		Retirar las virutas generadas en el rectificado	x			15
91		Inspeccionar			x	10
92	Cilindros	Transportar el material		x		120
93	Enrolladora de Cartón	Cortar los ejes huecos de transmisión según planos	x			180
94		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15
95		Tornear interno del eje hueco hasta obtener el diámetro requerido según los planos	x			600
96		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15
97		Tornear interno del eje hueco hasta obtener el diámetro requerido según los planos	x			600
98		Tornear externo del eje hueco hasta obtener el diámetro requerido	x			1200
99		Retirar las virutas generadas en el torneado	x			15

Ítem	Actividad	Descripción	Tipo de actividad			t (min)
						
100		Fresado de los ejes	x			300
101		Retirar las virutas generadas en el fresado	x			15
102		Soldar las partes superiores de los cilindros que permitirán el montaje.	x			240
103		Retirar la escoria generada en la soldadura	x			15
104		Inspeccionar			x	10
105	Soporte de las	Transportar el material		x		90
106	capas de cartón	Cortar los tubos según los planos	x			90
107		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15
108		Torneado de los tubos	x			120
109		Retirar las virutas generadas en el torneado	x			15
110		Taladrar las respectivas perforaciones	x			90
111		Roscar las respectivas perforaciones	x			120
112		Pulido de los soportes	x			60
113		Retirar las virutas generadas en el torneado para evitar acumulación.	x			15
114		Inspeccionar			x	10
115	Estructura	Transportar el material		x		120
116	(Cortadora)	Cortar los perfiles cuadrados	x			150
117		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15

Ítem	Actividad	Descripción	Tipo de actividad			t (min)
						
118		Soldar las partes del tubo estructural según el diseño de los planos	x			180
119		Retirar la escoria generada en la soldadura	x			15
120		Taladrar las respectivas perforaciones	x			90
121		Roscar las respectivas perforaciones	x			60
122		Retirar las virutas generadas	x			15
123		Pintar	x			60
124		Inspeccionar			x	15
125	Base	Transportar el material		x		120
126	(Cortadora)	Cortar la plancha según los planos	x			120
127		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15
128		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15
129		Taladrado de las perforaciones	x			120
130		Retirar las virutas generadas en las perforaciones	x			15
131		Inspeccionar			x	10
132	Placa del	Transportar el material		x		90
133	cilíndrico	Cortar la plancha de acero	x			150
134	neumático	Retirar las virutas generadas en el corte	x			15
135		Inspeccionar			x	10

Ítem	Actividad	Descripción	Tipo de actividad			t (min)
			○	⇒	◇	
136	Soporte del sensor	Transportar el material		x		60
137		Cortar las planchas de acero	x			90
138		Retirar las virutas generadas en el corte	x			15
139		Inspeccionar			x	10
140	Elementos del sistema de cortado	Transportar el material		x		90
141		Cortar los ejes de acero	x			120
142		Retirar las virutas generadas en el corte para evitar acumulación	x			15
143		Tornear, Fresar los elementos	x			270
144		Retirar las virutas generadas en el torneado	x			15
145		Inspeccionar			x	10
Total (min)						13430
Total (h)						223.83
Total (días)						55.96

Por ende, se establece que las horas destinadas para la construcción de la máquina automatizada para tubos de cartón de papel higiénico es aproximadamente de 13430 horas, las cuales se ha trabajado 4 horas al día, teniendo como resultado 56 días destinados a la construcción.

Montaje

En el aspecto al montaje de la máquina automatizada de tubos de cartón se establece un procedimiento en el cual se detallará paso a paso, los ensambles realizados en la máquina, para lograr este objetivo se utilizará un diagrama de flujo.

Diagrama de flujo del montaje

Para el desarrollo del diagrama de flujo del montaje se utiliza la simbología detallada en la tabla 8 que se establecieron. A continuación, en la Tabla 19 con la finalidad de una descripción clara se detalla el procedimiento realizado.

Tabla 19

Diagrama de flujo del montaje

Ítem	Montaje	Descripción	Tipo de actividad			t (min)
						
1	Estructura (Porta Bobinas)	Verificar que la estructura principal del porta bobinas donde se montaran las demás piezas no posean defectos como inestabilidad.			x	60
2	Ejes - Bobinas en la estructura de la porta bobinas	Soldar los ejes que servirán de soporte para las bobinas de cartón.	x			360
3	Engomadora (bandejas)	Montaje de las bandejas en la parte inferior de la estructura	x			360
4	Ejes-Rodillos (Giratorios)	Montaje de los rodillos por donde pasaran las capas del cartón	x			360
5	Rollos de Cartón	Ubicar los rollos de cartón en los ejes bobinas	x			15
6	Estructura (Entubadora)	Verificar que la estructura principal de la entubadora donde se montaran las demás piezas no posea defectos como inestabilidad.			x	60

Ítem	Montaje	Descripción	Tipo de actividad			t (min)
						
7	Motor	Colocar el motor en la ubicación destinada y asegurarlo	x			60
8	Eje Base 1	Montaje del eje al lateral del motor	x			40
9	Chumaceras 1	Colocación de las chumaceras en la parte inferior y superior del eje base 1	x			40
10	Bandas de transmisión	Montaje de las poleas con las bandas en el eje base del motor	x			120
11	Eje Base 2	Montaje del eje al lateral del eje base 1	x			40
12	Chumaceras 2	Colocación de las chumaceras en la parte inferior y superior del eje base 2	x			40
13	Cadenas de transmisión	Montaje de los piñones en el eje base 1 y en el eje base 2 con la unión de la cadena correspondiente	x			180
14	Planchas base de la estructura de la entubadora	Colocar las planchas en la parte superior de la estructura que permitirán la conexión con los cilindros	x			60
15	Chumaceras 3	Colocación de las chumaceras en la parte superior para el montaje de los cilindros	x			120

Ítem	Montaje	Descripción	Tipo de actividad			t (min)
						
16	Cilindros	Montaje de los cilindros en los laterales de la estructura de la entubadora	x			120
17	Soporte del Eje Base (Voladizos)	Montaje del voladizo inferior para la sujeción del eje base	x			90
18	Eje Núcleo	Colocación del eje base encima del voladizo inferior	x			30
20	Bandas de arrastre	Colocación de las bandas entre los cilindros y conexión con el eje base	x			60
21	Estructura (Cortadora)	Verificar que la estructura principal de la cortadora donde se montaran las demás piezas no posea defectos como inestabilidad.			x	60
22	Motor	Colocar el motor en la ubicación destinada y asegurarlo	x			60
24	Estructura Soporte de la cortadora	Montaje de las paredes de soporte en los rieles base	x			20
25	Soporte del Cilindro Neumático	Montaje del riel vertical en las paredes de los laterales.	x			40
26	Sistema de soporte de la cortadora	Colocación del sistema neumático que sujetaran la cortadora.	x			240

Ítem	Montaje	Descripción	Tipo de actividad			t (min)
			○	⇒	◇	
27	Sistema de transmisión de la cortadora	Ubicación de las bandas en la estructura	x			120
28	Sistema Eléctrico	Tablero eléctrico	x			480
29	Programación del PLC	En el software LOGO Siemens V8	x			480
30	Unificación del sistema	Unir los tres procesos que realizara la máquina	x			180
Total (min)						4135
Total (h)						68.92
Total (días)						17.23

Por ende, se establece que las horas destinadas para el montaje de la máquina automatizada para tubos de cartón de papel higiénico es aproximadamente de 4135 horas, las cuales se ha trabajado 4 horas al día, teniendo como resultado 56 días destinados al montaje de la misma.

A continuación, en la Figura 116, Figura 117, Figura 118, Figura 119 se muestra cómo se va desarrollando el montaje de los módulos de la máquina automatizada.

Figura 116

Montaje del porta bobinas

**Figura 117**

Montaje de la entubadora



Figura 118

Montaje del tablero eléctrico

**Figura 119**

Montaje de la cortadora



Análisis de costos

El estudio de los costos originados en el desarrollo del diseño y construcción de la máquina automatizada de tubos de cartón para papel higiénico, para lo cual se debe realizar una verificación detallada del proyecto, el fin de este estudio es obtener el valor real de la inversión para poder adquirir la máquina automatizada. El objetivo del proyecto cabe señalar que se enfocó que su costo sea accesible y así evitar la compra de estas máquinas mediante la importación ahorrando dinero para la empresa.

Para lograr este propósito e identificara cada uno de los costos tanto los directos como los indirectos, describiendo cada uno de ellos.

Costos directos

Los costos directos son los que influyen directamente con los gastos de la construcción de la máquina automatizada tales como los materiales directos (materia prima), elementos normalizados, construcción y montaje de la máquina.

Materiales directos

Son aquellos materiales indispensables para la construcción de la máquina automatizada, es decir los cuales fueron maquinados o soldados. A continuación, se detallan en la siguiente Tabla 20.

Tabla 20

Costos de materiales directos

Ítem	Descripción	Cant.	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
1	Estructuras (Porta Tubo estructural cuadrado 2 pulgadas	12	22.00	264.00
2	Bobinas - Plancha de acero 6 mm	7	20.00	140.00
3	Entubadora Plancha de acero 10 mm	3	50.00	150.00
	- Cortadora) Plancha de acero inoxidable de 1mm	6	15.00	90.00
	Plancha de acero inoxidable de 3mm	1	30.00	30.00
4	Ejes huecos de acero estructural diámetro 90 mm	2	80.00	160.00
	Ángulo de Acero Estructural 1 in	2	15.00	30.00
	Ángulo de Acero Estructural 2 in	4	19.75	79.00
5	Sistema de Base y Eje de transmisión 1018 para el de núcleo (L=2m, D=50.4)	1	40.00	40.00
6	Soporte motriz de la Entubadora Eje de transmisión 1018 para el sistema de transmisión (L=4m, D=38)	1	45.00	45.00
7	Sistema de Perfil de aluminio	1	70.00	70.00
8	Soporte de la Cortadora Eje de transmisión 1018 para el sistema de transmisión (L=1m, D=25.4mm)	1	12.00	12.00
			Subtotal1	1110,00

Elementos normalizados

A continuación, la Tabla 21 se detallan los costos de los elementos normalizados que componen la máquina automatizada.

Tabla 21*Costos de elementos normalizados*

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
1	Chumacera de pared UFC 205	4	7,00	28,00
2	Chumacera de pared USP A204	2	6,00	12,00
3	Rodamiento 1	12	2,00	24,00
4	Rodamiento 2	2	7,00	14,00
5	Polea 2.5 in de transmisión	1	4,00	4,00
6	Polea 9 in de transmisión	1	18,00	18,00
7	Bandas de transmisión	2	14,00	14,00
8	Cadena de transmisión RC40	1	18,00	18,00
9	Catarina Z-15 (piñón)	1	15,00	15,00
10	Catarina Z-48	1	48,00	48,00
11	Rueda de riel	4	4,00	16,00
12	Banda de arrastre 200x80x2	1	80,00	80,00
13	Perno Hexagonal 5/16	40	0,25	10,00
14	Perno Hexagonal 1/2	10	0,50	5,00
15	Perno Hexagonal 1/4	20	0,20	4,00
16	Perno Hexagonal 3/8	15	0,30	4,50
17	Perno Hexagonal 5/8	20	0,40	8,00
18	Arandela plana	105	0,15	15,75
19	Arandela presión	105	0,12	12,60

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
20	Tuerca de paso normal 5/16	20	0,20	4,00
21	Tuerca de paso normal 1/2	5	0,35	1,75
22	Tuerca de paso normal 1/4	10	0,15	1,50
23	Tuerca de paso normal 3/8	8	0,25	2,00
24	Tuerca de paso normal 5/8	10	0,45	4,50
25	Motor trifásico 5Hp	1	350,00	350,00
26	Motor trifásico 1Hp	1	150,00	150,00
27	Cuchilla	1	30,00	30,00
28	PLC Logo Siemens V8	1	204,00	204,00
29	Cilindro D32 C400	1	150,00	150,00
30	Cilindro D16 C25	1	100,00	100,00
31	Electroválvulas monoestables	5/2 2	75,00	150,00
32	Manguera V6	5	8,00	40,00
33	Variador KINCO V20	1	438,00	438,00
34	Pulsadores	6	12,00	72,00
35	Resorte	1	12,50	12,50
			Subtotal 2	2061,10

Mano de obra directa

Se detallan los costos de fabricación de las piezas construidas para la máquina automatizada, teniendo en cuenta los procesos que se involucraron, teniendo en cuenta el tiempo de fabricación de cada pieza y el costo por unidad. Sumando los costos de mano de obra durante el montaje de la máquina. A continuación, se detalla en la Tabla 22.

Tabla 22*Costos de mano de obra directa*

Ítem	Descripción	Precio Total (USD)
1	Corte	200,00
Subtotal 3		200,00

Costos indirectos

Los costos indirectos son los que no influyen directamente con los gastos de la construcción de la máquina automatizada, es decir, que no se encuentran reflejados en el equipo pero que son necesarios para su construcción.

Materiales indirectos

A continuación, en la Tabla 23 se describe los materiales indirectos los cuales son consumibles que permitieron fabricar las piezas de la máquina con la diferencia que no se presentan en el producto terminado.

Tabla 23*Costos de materiales indirectos*

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
1	Disco de corte	15	2,00	30,00
2	Disco de desbaste	3	2,50	7,50
3	Pintura anticorrosiva	1	4,50	4,50
4	Electrodo E6011(kg)	4	6,00	24,00
5	Electrodo E7018(kg)	1	6,50	6,50
6	Electrodos de acero inoxidable (kg)	1	12,00	12,00
Subtotal 4				84,50

Gastos Adicionales

Son actividades que involucran el avance de la construcción de la máquina automatizada y representan un costo agregado al equipo los cuales se detallan en la Tabla 24.

Tabla 24

Gastos adicionales

Ítem	Descripción	Precio Total (USD)
1	Transporte	100,00
Subtotal 5		100,00

Costo total

Finalmente, a continuación, en la Tabla 25 se puede determinar el costo total empleado para el diseño y construcción de la máquina automatizada de tubos de cartón representando una suma total de los costos directos e indirectos.

Tabla 25

Costo total de la máquina automatizada

Materiales Directos	1110,00
Elementos Normalizados	2061,10
Mano de Obra Directa	200,00
Materiales Indirectos	84,50
Gastos Adicionales	100,00
COSTO TOTAL	3555,60

A continuación, módulos construidos Figura 120, Figura 121 y Figura 122.

Figura 120

Construcción del módulo porta bobinas

**Figura 121**

Construcción del módulo de la entubadora



Figura 122 *Construcción del módulo de la cortadora*



Análisis de resultados

Generalidades

En el presente capítulo se presenta cuadros comparativos de datos técnicos de máquinas entubadoras que permitirán realizar un análisis de los tiempos de producción de las mismas y examinar cual máquina ofrece un menor tiempo. Para validar esta hipótesis se utilizará la demanda de producción de una pequeña empresa dedicada a la fabricación y distribución de productos de aseo como el papel higiénico de uso doméstico e industrial.

Características de la empresa (UNIHOGAR)

La empresa UNIHOGAR es una microempresa de sociedad familiar con una trayectoria de 9 años en el mercado, dedicados a la fabricación de rollos de papel higiénico de uso doméstico e industrial. UNIHOGAR tiene el propósito de brindar a los clientes unos productos de calidad que se caracterizan por su puntualidad al momento de la entrega.

Tienen como visión alcanzar un reconocimiento de su línea de productos y que estos puedan ser distribuidos en los supermercados a nivel nacional por la excelente calidad de los productos e inigualable servicio al cliente.

Descripción de la máquina entubadora (UNIHOGAR)

UNIHOGAR siendo una empresa que trabaja en su distribución de papel a pequeños mercados, inicio su emprendimiento adquiriendo máquinas de segunda mano fabricadas en el país, estas máquinas construidas de manera artesanales cuentan con técnicas de automatización bastante incipientes, en otras palabras, su operación casi en su totalidad es mecánica y posee muy poco de instrumentación y control, aunque esto

no es un obstáculo para la fabricación de su producto, pero por otra parte, influye en sus costos y en sus tiempos de producción. A continuación, en la Tabla 26 los datos característicos de la máquina entubadora de la empresa

Tabla 26

Datos característicos de la máquina entubadora empresa UNIHOGAR

Área (m ²)	Número máximo de Capas	Engomado	Cortado	Velocidad máxima	Diámetros de Trabajo (pulgadas)	Operarios	Consumo (kW)
5	3	Rodillos	Manual	10 m/min	2 - 3	4	2.7

A continuación, se muestra en las Figura 123 y Figura 124 los módulos que posee la máquina entubadora.

Figura 123

Módulos de la máquina entubadora UNIHOGAR





Figura 124

Representante UNIHOGAR

**Descripción de la máquina entubadora automatizada (Diseñada y Construida)**

La máquina entubadora construida posee como característica principal un sistema de automatización que permite al operario un control y manejo eficaz en la fabricación del producto. Esta máquina tiene como objetivo primordial la reducción de tiempos de producción con la integración de sistemas que sustituirán los procesos manuales que realizan los operarios, en otras palabras, se acelerará el tiempo de ejecución de los módulos de la máquina entubadora los cuales son el engomador, entubador y cortador, por otra parte, se eliminarán posibles errores que puede realizar el operario al momento de la ejecución manual de las operaciones, así también, el producto final tendrá una mejor calidad. El enfoque de esta máquina es la reducción de costos de producción y la optimización de los materiales evitando el desperdicio de la materia prima. A continuación, en la Tabla 27 los datos característicos de la máquina entubadora de la empresa

Tabla 27

Datos característicos de la máquina entubadora CONSTRUIDA

Área (m ²)	Número máximo de Capas	Engomado	Cortado	Velocidad máxima	Diámetros de Trabajo (pulgadas)	Operario	Consumo (kW)
15	7	Rodillos	Automático	25 m/min	2 - 5	1	4.5

A continuación, se muestra en la Figura 125 y Figura 126 los módulos que posee la máquina automatizada.

Figura 125

Módulo porta bobinas



Figura 126*Módulo entubador*

Se debe tener en cuenta que la máquina construida está diseñada para una expansión a futuro, es decir, la colocación de más capas para productos diferentes de esta manera poder diversificar el mercado, además de esto, la cortadora está diseñada para ubicar más cuchillas de esta manera poder reducir aún más los tiempos de producción.

Descripción de la empresa INDUPAPEL

INDUPAPEL Figura 127 es una empresa ecuatoriana que posee una trayectoria de 13 años en el mercado nacional, dedicados a la fabricación de papeles de absorbentes como servilletas, papel higiénico institucional. Son reconocidos por la fabricación de los productos de servilleta impresa personalizada. INDUPAPEL está conformado por un equipo altamente capacitado y que posee una vocación en el servicio al cliente. La empresa posee una amplia red de distribuidores que permiten la atención al cliente en todo el territorio ecuatoriano. Posee garantías de calidad y seguridad de los procesos de producción.

Figura 127

Logo de la empresa INDUPAPEL



Nota. Tomado de INDUPAPEL, por INDUPAPEL, 2020, Flickr

(<https://www.indupapel.com.ec/>)

Marcelo Aguilar, jefe de producción de la empresa INDUPAPEL, afirma que poseen alta demanda en tubos de cartón de diferentes diámetros, largos y espesores, debido a que ellos fabrican productos como el papel higiénico para restaurantes de uso doméstico y de uso industrial y cada uno de ellos ocupan tubos de cartón de diferentes características.

En la siguiente Tabla 28 se especificará la demanda mensual de tubos de cartón con las características necesarias para cada producto.

Tabla 28

Demanda mensual de la empresa INDUPAPEL

Tipo de Canuto	Demanda Mensual (Unidades)	Demanda Mensual (Metros)
Canuto 3 in x 9,3 cm	26 581	2472,033
Canuto 2 in x 20 cm	12 433	2486,6
Canuto 3 in x 22 cm	6 078	1337,16

Cuadro comparativo máquina entubadora UNIHOGAR y máquina entubadora construida

En la Tabla 29 se muestran los datos de los tiempos de producción tanto de bobinado y de corte de los canutos con dimensiones 3 in x 9,3 cm que se demora cada

una de las máquinas entubadoras de la empresa UNIHOGAR y la CONSTRUIDA haciendo referencia a la demanda mensual que tiene la empresa INDUPAPEL.

Tabla 29

Tiempos de producción del canuto 3 in x 9,3cm

Máquina Entubadora	Tiempo de Bobinado (horas)	Tiempo de Corte de las Unidades (horas)	Tiempo Total (horas)
UNIHOGAR	20,6	48	68,6
CONSTRUIDA	5,15	48	48

En la siguiente Tabla 30 se presentan los datos de los tiempos de producción del canuto de 2 in x 20 cm haciendo referencia a las dos máquinas entubadoras UNIHOGAR Y CONSTRUIDA.

Tabla 30

Tiempos de producción del canuto 2 in x 20 cm

Máquina Entubadora	Tiempo de Bobinado (horas)	Tiempo de Corte de las Unidades (horas)	Tiempo Total (horas)
UNIHOGAR	20,72	24	44,72
CONSTRUIDA	5,18	24	24

En la Tabla 31 se detallan los valores de los tiempos de bobinado y de corte del canuto de 3 in x 22 cm. Comparando a las máquinas entubadoras de UNIHOGAR y la CONSTRUIDA.

Tabla 31

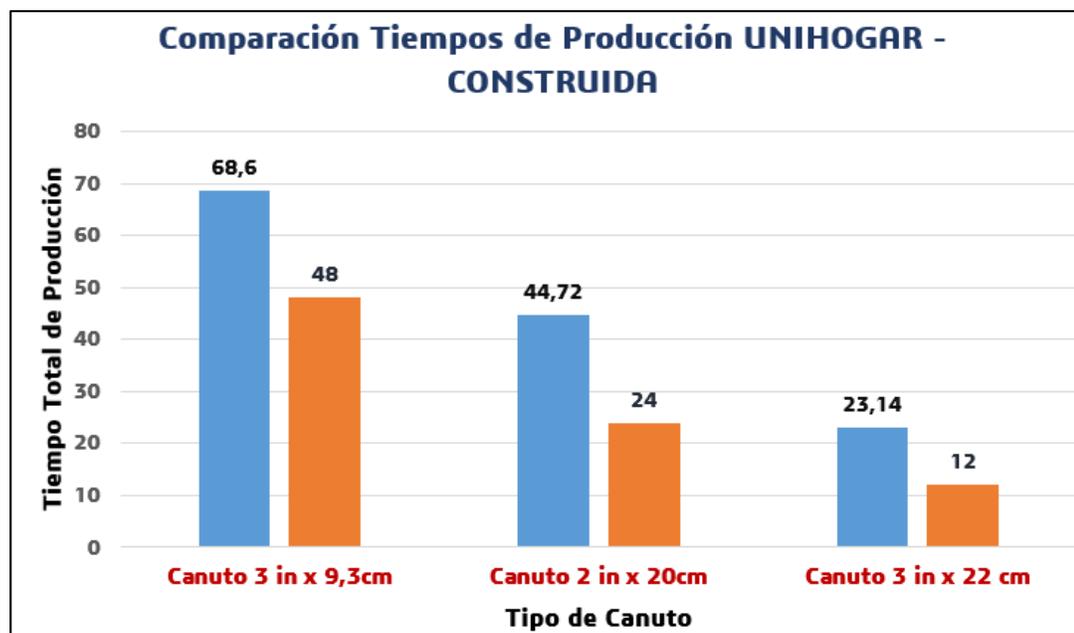
Tiempos de producción del canuto 3 in x 22 cm

Máquina Entubadora	Tiempo de Bobinado (horas)	Tiempo de Corte de las Unidades (horas)	Tiempo Total (horas)
UNIHOGAR	11,14	12	23,14
CONSTRUIDA	2,78	12	12

Como se puede apreciar en las tablas anteriormente mostradas, la máquina construida tiende a tener el mismo tiempo de corte de las unidades de canuto, esto es debido a que el operario de la máquina puede seguir cortando los tubos de cartón mientras la máquina este trabajando, esta característica no se presenta en la máquina de UNIHOGAR debido a que el operario debe estar pendiente para realizar el corte del canuto al largo específico, y posteriormente a esto se procede al corte de las unidades.

Figura 128

Comparación tiempos de producción UNIHOGAR – CONSTRUIDA



Con estos resultados Figura 128 se concluye que en los canutos de 3 in x 9,3 cm, 2 in x 20 cm y 3 in x 22 cm, los tiempos de producción total que incluye tiempos de bobinado y corte de los mismos es menor en la máquina entubadora construida. Con esto se puede ver la reducción de aproximadamente de 20 horas en la máquina entubadora construida con respecto a la máquina entubadora de UNIHOGAR. Por tal razón, estos tiempos de producción reducen costos para la empresa tanto en la fabricación y en la entrega de los productos finales a la empresa que posee la demanda de estos canutos.

Se debe recordar, que la máquina construida está pensada para una próxima expansión y se reducirá los tiempos de producción aún más si se añaden cuchillas adicionales al módulo cortadora; la máquina podrá producir canutos pequeños más rápido, evitándose así las horas de corte por unidad y aumentando de manera significativa la producción.

A continuación, en la Figura 129 se muestra los canutos, es decir, el producto final realizados en la máquina automatizada diseñada y construida.

Figura 129

Producto final obtenido





Análisis de la hipótesis

Hipótesis: El diseño y construcción de una máquina de automatización para la fabricación de tubos de cartón permitirá la reducción de tiempos de producción.

- **Hipótesis alternativa:** El diseño y construcción de una máquina automatizada para la fabricación tubos de cartón, permitirá reducir los tiempos de producción
- **Hipótesis nula:** El diseño y construcción de una máquina automatizada para la fabricación tubos de cartón, no permitirá reducir los tiempos de producción

Análisis: En la Figura 126 se visualiza que los tiempos de producción de la máquina diseñada y construida comparada con otra máquina entubadora lo que se concluye que es una hipótesis aceptada y que en el proyecto alcanza el objetivo del mismo que es la reducción de los tiempos de producción de los canutos para el papel higiénico. Otro aspecto que es necesario recalcar es que la máquina puede expandirse y reducir aún más los tiempos de producción, sobretodo en el módulo de la cortadora en el cual posee un mayor tiempo de producción.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Mediante una exhaustiva investigación bibliográfica, se llegó a conocer los múltiples procesos que conllevan la fabricación de los tubos de cartón industria, basados en las aplicaciones que tienen estos, no solamente para en el enrollamiento o fabricación de papel higiénico sino para otros productos como los contenedores circulares de cartón, o núcleos de telas o materia prima maleable, de esto dependerá la selección del sistema de la máquina; con esta información se determinó los módulos necesarios a tomar en cuenta en la elaboración de la máquina como es el porta bobinas, el módulo de engomador, el módulo entubador y el módulo de corte.
- Con la investigación realizada acerca de las normativas usadas para la fabricación de maquinaria de tipo industrial, con la norma ISO 1200:2010 se llegó a considerar los aspectos para la reducción de riesgos para el diseño de máquina y/o la interacción de la misma tales como los factores geométricos que contiene como la visualización directa de las zonas de trabajo en este caso los tres módulos que posee la máquina entubadora, evitar los ángulos cortantes y salientes, otros factores considerados fueron los factores físicos que resaltan la selección de materiales que posean resistencia a la corrosión y al desgaste, refiriéndose a este aspecto los componentes y materiales que posee la máquina entubadora dan estabilidad al sistema ya que no representan o generan ni toxicidad, fragilidad o ruido de los módulos que la componen.

- Se desarrolló un sistema de control fácil e intuitivo que permite al operario tener control total sobre la producción que se fabrica en la máquina entubadora, todo esto gracias al controlador lógico programable instalado en la máquina, muchas de las máquinas de este tipo de mecanismos simples no cuentan con esta tecnología, debido a que piensan que es un gasto innecesario, sin embargo, el uso de este tipo de herramientas ayuda a simplificar el sistema llevándolo a ser más eficiente en su labor, y otorgando la posibilidad de una actualización o una mejora al sistema sin recurrir a cambios totales en el sistema eléctrico o de control, además Siemens Logo V8 cuenta con un software de soporte fácil de manejar que permite modificar el programa del PLC de manera sencilla.
- Como resultado de las pruebas realizadas con la máquina entubadora de la empresa UNIHOGAR y la máquina diseñada y construida se comprobó que la máquina desarrollada su tiempo de producción es menor aproximadamente con 20 horas del tiempo total que incluyen tanto el tiempo de bobinado y el tiempo de corte de los canutos según las especificaciones de la demanda de la empresa INDUPAPEL, se redujo notablemente los tiempos de producción de los tubos de cartón para el papel higiénico debido al aumento de la velocidad a 8 m/min del módulo de la entubadora y a que posee un sistema de corte automático, además en todo este proceso no se requiere la intervención de más de un operario con lo que reduce costos a la empresa y aumenta su productividad.

Recomendaciones

- Uno de los aspectos fundamentales a tener en cuenta en el desarrollo del sistema de la máquina entubadora, es fijarse en el mercado que se va a proveer, ya que existen diversos tipos de sistemas, tanto para en el enrollamiento del papel, como para el engomado, y el corte; también es importante fijarse en el volumen de producción que se aspira generar con la máquina a diseñar, ya que este proceso industrial dependiendo de su aplicación, poseerá diferentes costos.
- Para el diseño y construcción de la máquina automatizada previamente se debe considerar los riesgos, espacio y personal que va a operar la máquina para su diseño ya que el mismo debe garantizar seguridad, tener una vida útil larga y que su funcionamiento sea el adecuado cumpliendo con los estándares de una máquina industrial, se debe tener en cuenta las recomendaciones de la norma ISO 1200:2010 la cual plantea consideraciones de factores geométricos tales como evitar aristas cortantes, ángulos agudos, factores físicos como evitar las vibraciones, corrosión de los componentes de la misma, también el uso de tecnología adecuada para evitar riesgos potenciales explosivos.
- Al momento de seleccionar el controlador a utilizar se debe tener en cuenta varios parámetros como son los protocolos de comunicación, los elementos a utilizar y el conocimiento sobre la marca a utilizar. Si se pretende configurar módulos externos como variadores de frecuencia se debe tener en cuenta la comunicación que este posee y los direccionamientos de memoria para poder obtener los datos deseados.

- La máquina construida está diseñada para ser mejorada en un futuro es decir cada uno de sus módulos puede ser modificado para mejorar tanto su funcionamiento como su velocidad de producción, es decir, el porta bobinas puede ser replicado para poder entubar más capaz, debido a que el motor posee una potencia suficiente para mover hasta 12 capaz; de igual manera gracias a la instalación del PLC en la máquina, da la posibilidad de ingresar la máquina un sistema SCADA para tener un control total sobre la producción de la misma, y por último se debe recalcar que si se añaden más cuchillas al módulo cortador, los tiempos de producción serán mucho más cortos.

Referencias Bibliográficas

- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Senplades 2017. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida*. Quito: Consejo Nacional de Planificación .
- Aldakin. (2017). *Automatización Industrial y Robótica. Qué es y sus claves al éxito*. Obtenido de <http://www.aldakin.com/automatizacion-industrial-robotica-claves-exito/>
- Antala. (2017). *Clasificación y tipos de adhesivos industriales*. Obtenido de <https://www.antala.es/clasificacion-adhesivos-industriales/>
- Artega, O. (2018). *Resumen de Diseño de Elementos de Máquinas*. Latacunga.
- Cartopel. (2016). *Historia*. Obtenido de <http://www.cartopel.com/cartopel/>
- Cheng, K., & Brem, L. (2018). *Contactores*. Obtenido de <https://blogs.upm.es/innovaqr/asignatura/electrotecnia/contactores/>
- CLR. (12 de 11 de 2020). *Tipos de Rodamientos*. Obtenido de <https://clr.es/blog/es/tipos-de-rodamientos-accionamientos/>
- Comercial Áviles. (2020). *Tipos de Carón*. Obtenido de <https://www.comercialaviles.com/blog/tipos-de-cajas-de-carton/>
- Conceptos. (2019). *Cartón*. Obtenido de <https://deconceptos.com/arte/carton>
- Definicion ABC. (2010). *Normas DIN*. Obtenido de <https://www.definicionabc.com/tecnologia/normas-din.php>

- Diaz Vera, J. W. (2015). *Sistema de automatización para la máquina tubetera de cartón* . Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Distrimotor 2020. (2020). *Motor Trifásico*. Obtenido de <https://www.distrimotor.es/2019/07/15/c%C3%B3mo-funciona-un-motor-trif%C3%A1sico/>
- Ecured. (2020). *Correas de Transmisión*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Correa_de_transmisi%C3%B3n
- Embalaje. (2017). *Cartón para embalaje*. Obtenido de <https://www.cajacartonembalaje.com/blog/embalajes-carton-tipos-carton-modelos/>
- Farina, A. L. (2018). Motores eléctricos trifásicos: usos, componentes y funcionamiento. 5.
- Formazion. (11 de 09 de 2018). *Normas ISO más importantes* . Obtenido de https://www.formazion.com/noticias_formacion/cuales-son-las-normas-iso-mas-importantes-org-5273.html
- Fortindo. (2020). *Kinco FV20*. Obtenido de <http://fortindo-fsm.com/public/gallery/preview/530/fv-20-series.html>
- García Moreno, E. (1999). Automatización de Procesos Industriales. En E. García Moreno, *Automatización de Procesos Industriales*. España: Byprint Percom.
- Gualotuña, L., & Pupiales, M. (2011). *Diseño y simulación de una máquina para realizar el espiralado de tubos de cartón de 4 a 7 pulgadas de diámetro*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.

- Hidráulica & Neumática. (2019). *Modulo de Acondicionamiento*. Obtenido de <http://www.hnsa.com.co/unidades-de-mantenimiento-fr/>
- Hurtado, Q. (2018). *Chumacera*. Obtenido de <https://www.quinterohurtado.com/post/qu%C3%A9-es-una-chumacera>
- Iguen. (2015). *Variador de Frecuencia*. Obtenido de <https://iguen.es/blog/aplicaciones-y-usos-de-los-variadores-de-frecuencia/>
- Ingemecanica. (2020). *Cadenas de Transmisión*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>
- ISOTools. (19 de 03 de 2015). *Normas ISO y su Finalidad* . Obtenido de <https://www.isotools.org/2015/03/19/que-son-las-normas-iso-y-cual-es-su-finalidad/>
- Joresa. (2020). *Cadena Transmisión*. Obtenido de https://irp-cdn.multiscreensite.com/81612fc9/files/uploaded/cadena_transmision_calculo.pdf
- Kartox. (2016). *¿CÓMO CALCULAR LA CALIDAD DE UNA CAJA DE CARTÓN?* Obtenido de <https://kartox.com/blog/calcular-la-calidad-una-caja-carton/>
- Koyola. (2016). *Rodamientos*. Obtenido de <https://koyola.com.pa/pdf/automotriz/1.pdf>
- Kronergy. (30 de mayo de 2018). *LA IMPORTANCIA DE LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES*. Obtenido de <https://kronergy.com/blog/industrial/importancia-automatizacion-procesos-industriales/>

- Llamas, L. (2016). *Sensor Infrarrojo*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/detectar-obstaculos-con-sensor-infrarrojo-y-arduino/>
- Loaiza Rojas, O. C. (2003). *Fabricación de envases y tubos de cartón*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Maquiclick. (2018). *Automatización Industrial*. Obtenido de <https://www.fabricantes-maquinaria-industrial.es/automatizacion-industrial-que-es/>
- MicroAutomation. (2019). *Cilindro Neumático*. Obtenido de <https://ar.microautomacion.com/es/que-es-un-cilindro-neumatico/>
- Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. México: Pearson Educación.
- MYG Inc. Motores Eléctricos . (2020). *Variadores de Frecuencia. Ventajas y Desventajas*. Obtenido de <https://motoresygeneradores.com/variadores-de-frecuencia-ventajas-y-desventajas/>
- NSH. (2018). *Tipos de Rodamientos*. Obtenido de <https://nosoloherramientas.es/tipos-de-rodamientos/>
- Prieto, P. (2007). *Principios Básicos de los PLC*. Obtenido de <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/gl/component/content/article/502-monografico-lenguajes-de-programacion?start=2>
- S&P. (2019). *¿Qué es un motor trifásico?* Obtenido de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/motor-trifasico/>

- Sc.ehu. (2005). *Autómatas Programables*. Obtenido de <http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/PLC/plc.htm>
- Seas. (2019). *Relé*. Obtenido de <https://www.seas.es/blog/automatizacion/el-rele-para-que-es-para-que-sirve-y-que-tipos-existen/>
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2019). *INEN*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/resena-historica/>
- SMC. (2020). *Válvulas de Control*. Obtenido de <https://smc.com.mx/valvulas-de-control-direccional-linea-neumatica/>
- UNE (Normalización Española). (2012). *Normas ISO*. AENOR. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0049405>
- Unicrom. (2019). *Contactador - Relé*. Obtenido de <https://unicrom.com/contactador/>
- UNIFEM, Cooperación Española. (2000). *Técnicas de Envasado y Empaque*. Perú.
- VITC. (12 de 07 de 2019). *Automatización Industrial, ¿qué es y cómo funciona?* Obtenido de <https://vestertraining.com/automatizacion-industrial-que-es-como-funciona/>
- Wordpress. (2019). *Cilindro de Doble Efecto*. Obtenido de <https://neumaticabasicaepp.wordpress.com/44-2/receptores-neumaticos/cilindros-de-simple-y-doble-efecto/>

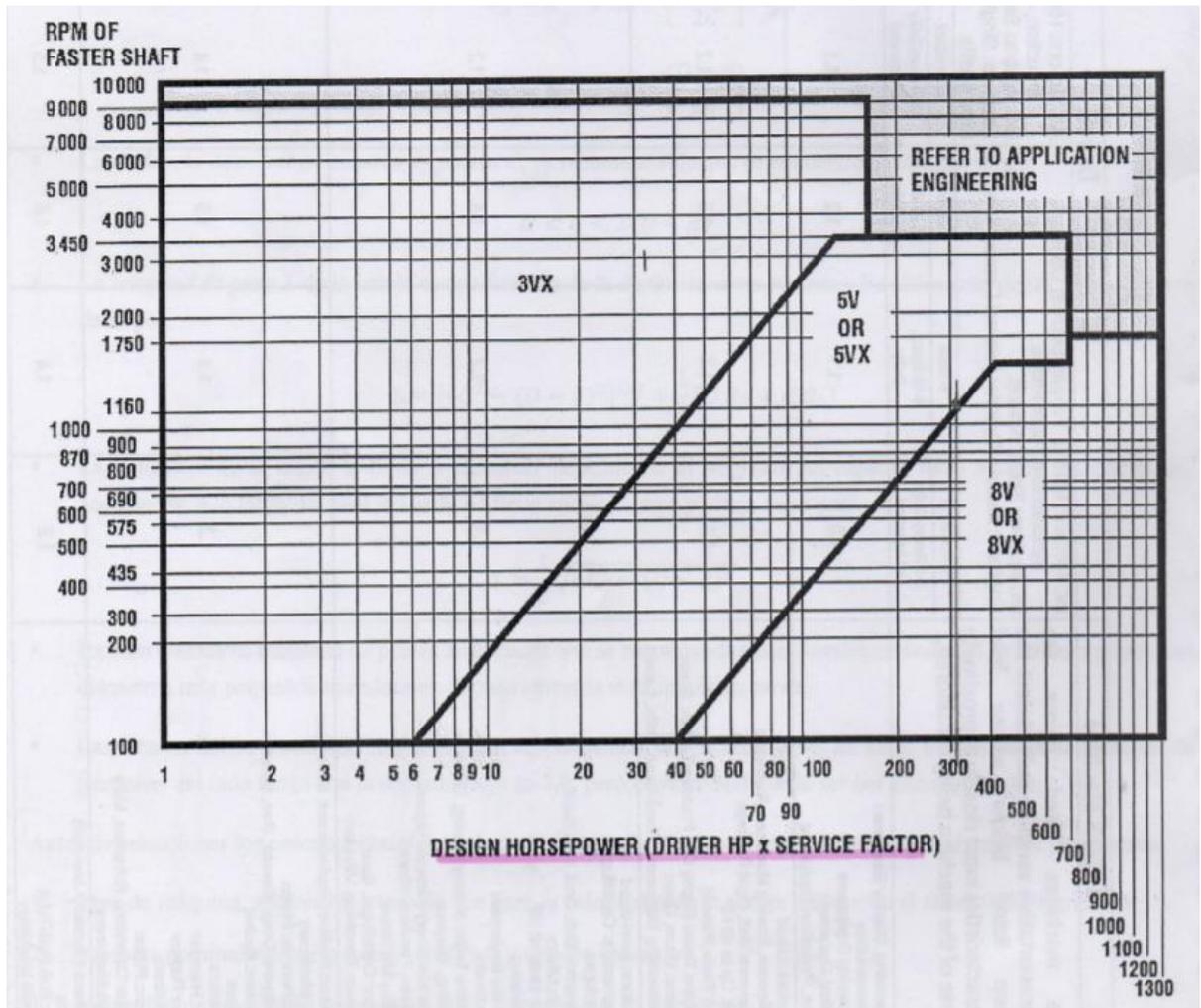
Anexos

Anexo 1 Factores de servicios para impulsores de bandas V, K_s

DriveN Machine The machines listed below are representative samples only. Select the group listed below whose load characteristics most closely approximate those of the machine being considered.	DriveR					
	AC Motors: Normal Torque, Squirrel Cage, Synchronous, Split Phase. DC Motors: Shunt Wound. Engines: Multiple Cylinder Internal Combustion.*			AC Motors: High Torque, High Slip, Repulsion-Induction, Single Phase, Series Wound, Slip Ring. DC Motors: Series Wound, Compound Wound. Engines: Single Cylinder Internal Combustion.* Line shafts Clutches		
	Intermittent 3-5 Hours Daily or Seasonal	Normal 8-10 Hours Daily	Continuous 16-24 Hours Daily	Intermittent 3-5 Hours Daily or Seasonal	Normal 8-10 Hours Daily	Continuous 16-24 Hours Daily
Dispensing, Display Equipment Instrumentation Measuring Equipment Medical Equipment Office, Projection Equipment	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Agitators: Liquid Appliances, Sewing Machines, Sweepers Conveyors: Belt, Light Package Fans: Up to 10 HP Hand Tools (Power) Machine Tools: (Light) Drill Presses, Lathes, Saws Screens: Drum, Oven Woodworking Equipment: Band Saws, Drills, Lathes	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Agitators: Semi-Liquid Compressors: Centrifugal Centrifuges Conveyors: Belt, Coal, Ore, Sand Dough Mixers Fans: Over 10 HP Generators Laundry Equipment Line Shafts Machine Tools: (Heavy) Boring, Grinders, Milling, Shapers Paper Machinery (except Pulpers) Presses, Punches, Shears Printing Machinery Pumps: Centrifugal, Gear Screens: Revolving, Vibratory	1.1	1.2	1.4	1.2	1.3	1.5
Blowers: Positive Displacement, Mine Fans Brick Machinery Compressors: Piston Conveyors: Drag, Elevator, Pan, Screw Elevators: Bucket Exciters Extractors Mills: Hammer Paper Pulpers Pulverizers Pumps: Piston Rubber Calendars, Extruders, Mills Textile Machinery	1.2	1.3	1.5	1.4	1.5	1.6
Crushers (Gyratory-Jaw-Roll) Hoists Mills: Ball-Rod-Tube Sawmill Machinery	1.3	1.4	1.6	1.5	1.6	1.8

*Apply indicated Service Factor to continuous engine rating. Deduct 0.2 (with a minimum Service Factor of 1.0) when applying to maximum intermittent rating. The use of a Service Factor of 2.0 is recommended for equipment subject to choking. For Grain Milling and Elevator Equipment, see Mill Mutual Bulletin No. VB-001-02. For Oil Field Machinery, see API specification for Oil Field V-Belt, API Standard 1B.

Anexo 2 Selección para bandas en V industriales



Anexo 4 Factor de corrección por longitud de banda C_L

3V,3VX			5V,5VX			8V	
V-Belt Number	V-Belt Number	Correction Factor	V-Belt Number	V-Belt Number	Correction Factor	V-Belt Number	Correction Factor
3V250	3VX250	0.83	5V500	5VX500	0.86	8V1000	0.87
3V265	3VX265	0.84	5V530	5VX530	0.86	8V1060	0.88
3V280	3VX280	0.85	5V560	5VX560	0.87	8V1120	0.88
3V300	3VX300	0.86	5V600	5VX600	0.88	8V1180	0.89
3V315	3VX315	0.87	5V630	5VX630	0.89	8V1250	0.90
3V335	3VX335	0.88	5V670	5VX670	0.90	8V1320	0.91
3V355	3VX355	0.89	5V710	5VX710	0.91	8V1400	0.92
3V375	3VX375	0.90	5V750	5VX750	0.92	8V1500	0.93
3V400	3VX400	0.92	5V800	5VX800	0.93	8V1600	0.94
3V425	3VX425	0.93	5V850	5VX850	0.94	8V1700	0.94
3V450	3VX450	0.94	5V900	5VX900	0.95	8V1800	0.95
3V475	3VX475	0.95	5V950	5VX950	0.96	8V1900	0.96
3V500	3VX500	0.96	5V1000	5VX1000	0.96	8V2000	0.97
3V530	3VX530	0.97	5V1060	5VX1060	0.97	8V2120	0.98
3V560	3VX560	0.98	5V1120	5VX1120	0.98	8V2240	0.98
3V600	3VX600	0.99	5V1180	5VX1180	0.99	8V2360	0.99
3V630	3VX630	1.00	5V1250	5VX1250	1.00	8V2500	1.00
3V670	3VX670	1.01	5V1320	5VX1320	1.01	8V2650	1.01
3V710	3VX710	1.02	5V1400	5VX1400	1.02	8V2800	1.02
3V750	3VX750	1.03	5V1500	5VX1500	1.03	8V3000	1.03
3V800	3VX800	1.04	5V1600	5VX1600	1.04	8V3150	1.03
3V850	3VX850	1.06	5V1700	5VX1700	1.05	8V3350	1.04
3V900	3VX900	1.07	5V1800	5VX1800	1.06	8V3550	1.05
3V950	3VX950	1.08	5V1900	5VX1900	1.07	8V3750	1.06
3V1000	3VX1000	1.09	5V2000	5VX2000	1.08	8V4000	1.07
3V1060	3VX1060	1.10	5V2120	5VX2120	1.09	8V4250	1.08
3V1120	3VX1120	1.11	5V2240	5VX2240	1.09	8V4500	1.09
3V1180	3VX1180	1.12	5V2360	5VX2360	1.10	8V4750	1.09
3V1250	3VX1250	1.13	5V2500	5VX2500	1.11	8V5000	1.10
3V1320	3VX1320	1.14	5V2650	5VX2650	1.12	8V5600	1.12
3V1400	3VX1400	1.15	5V2800	5VX2800	1.13		
			5V3000	5VX3000	1.14		
			5V3150	5VX3150	1.15		
			5V3350	5VX3350	1.16		
			5V3550	5VX3550	1.17		

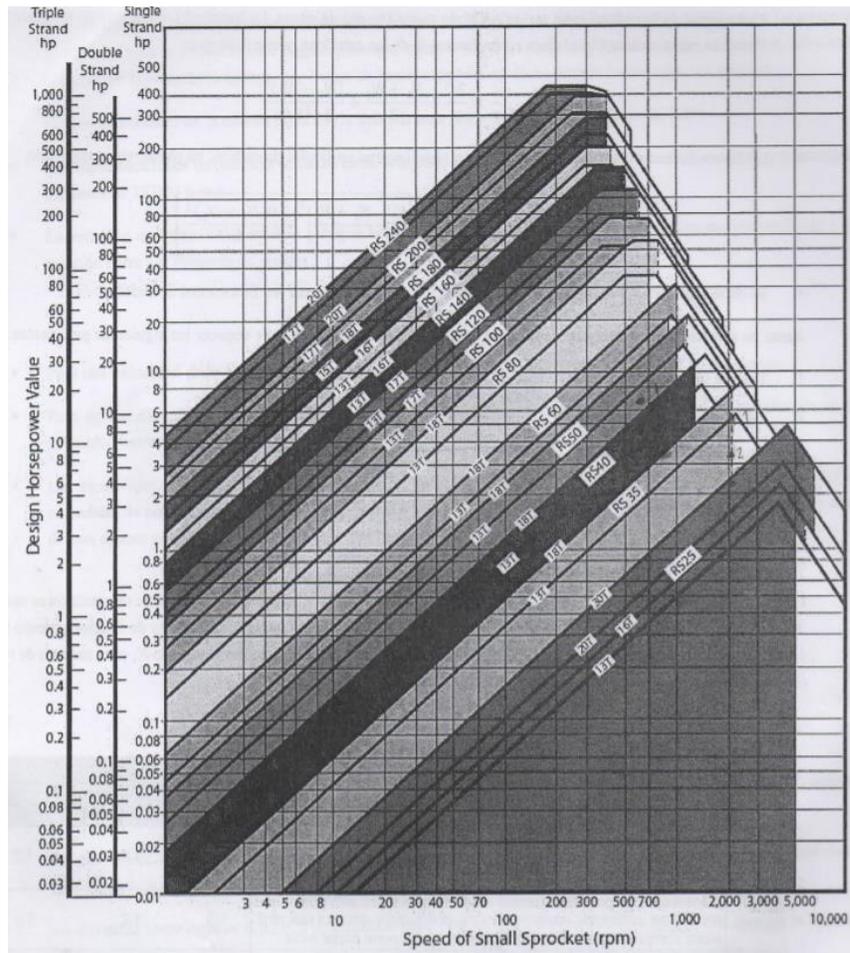
Anexo 5 Factor de corrección por ángulo de la envolvente C_θ

D - d C	Arc of Contact on Small Sheave (°)	Factor	
		A, B, C, D 3V, 5V, 8V 5M, 7M, 11M	Micro-V J, L, M
0.00	180	1.00	1.00
0.10	174	0.99	0.98
0.20	169	0.97	0.97
0.30	163	0.96	0.95
0.40	157	0.94	0.94
0.50	151	0.93	0.92
0.60	145	0.91	0.90
0.70	139	0.89	0.88
0.80	133	0.87	0.85
0.90	127	0.85	0.83
1.00	120	0.82	0.80
1.10	113	0.80	0.77

Anexo 6 Factor de servicio

Tipo de carga	Ejemplo de máquinas	Motor eléctrico o turbina	Accionamiento Motor de combustión interna	
			Trans. hidráulica	Trans. mecánica
Regular	Agitadores de líquidos. Bombas centrífugas y de engranajes. Compresores centrífugos. Elevadores y transportadores con carga regular. Generadores y alternadores. Hiladoras. Maquinaria de imprenta. Maquinaria para la fabricación de papel. Montacargas y ascensores. Teleféricos. Maquinas herramientas (toros, taladradoras, fresadoras, rectificadoras). Ventiladores y maquinas soplantes.	1	1	1,2
Irregular	Agitadores de sustancias poco fluidas. Bombas de émbolo de más de 2 cilindros. Compresores alternativos de más de 2 cilindros. Hélices (aplicaciones marinas). Elevadores y transportadores con carga irregular. Laminadoras. Mezcladores. Maquinaria para carpintería. Maquinaria para formar tubos. Trefiladoras. Molinos para materias homogéneas y blandas. Telares.	1,3	1,2	1,4
A golpes	Aparejos de elevación. Bombas de 1 y 2 cilindros. Dragas. Excavadoras. Elevadores y transportadores con carga muy irregular y pesada. G rías. Maquinaria para perforación. Maquinaria para fabricar ladrillos. Maquinas herramientas (prensas, cizallas, limadoras, cepilladoras). Molinos para materias duras e irregulares. Rotocultivadores. Trituradoras.	1,5	1,4	1,7

Anexo 7 Gráfica para la selección en primera iteración del tamaño de una cadena



Anexo 8 Especificaciones de potencia para cadena RS 50

No. of Teeth Small Spkt.	Maximum Speed – Small Sprocket (rpm)																								
	10	25	50	100	200	300	400	500	700	900	1000	1200	1400	1600	1800	2100	2400	2700	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
	Lubrication System																								
	A										B										C				
11	0.16	0.38	0.71	1.33	2.48	3.58	4.64	5.66	7.67	9.62	10.6	10.3	8.14	6.65	5.58	4.43	3.62	3.04	2.59	2.07	1.68	1.41	1.21	1.05	0.93
12	0.19	0.42	0.78	1.46	2.72	3.93	5.10	6.22	8.42	10.6	11.6	11.7	9.27	7.59	6.36	5.04	4.13	3.46	2.95	2.35	1.92	1.61	1.37	1.19	1.05
13	0.20	0.46	0.86	1.60	2.96	4.28	5.55	6.79	9.19	11.5	12.7	13.2	10.4	8.56	7.16	5.70	4.65	3.90	3.33	2.64	2.16	1.81	1.56	1.34	0
14	0.21	0.50	0.93	1.73	3.22	4.64	6.01	7.35	9.95	12.5	13.7	14.8	11.7	9.56	8.02	6.36	5.20	4.36	3.73	2.95	2.43	2.02	1.73	1.50	0
15	0.23	0.54	0.99	1.86	3.47	5.00	6.48	7.93	10.7	13.4	14.8	16.4	13.0	10.6	8.89	7.05	5.77	4.83	4.13	3.27	2.68	2.25	1.92	1.66	0
16	0.25	0.58	1.07	2.00	3.73	5.36	6.95	8.49	11.5	14.3	15.8	18.0	14.3	11.7	9.79	7.76	6.36	5.32	4.55	3.61	2.95	2.47	2.11	1.84	0
17	0.27	0.62	1.14	2.13	3.97	5.73	7.42	9.07	12.3	15.4	16.9	19.7	15.7	12.8	10.7	8.50	6.96	5.83	4.99	3.96	3.23	2.71	2.31	2.01	0
18	0.28	0.66	1.22	2.27	4.22	6.09	7.89	9.64	13.0	16.4	18.0	21.2	17.0	13.9	11.7	9.27	7.59	6.36	5.42	4.30	3.53	2.95	2.52	0	0
19	0.31	0.68	1.29	2.40	4.48	6.45	8.37	10.2	13.8	17.3	19.0	22.5	18.5	15.2	12.7	10.0	8.22	6.89	5.89	4.67	3.82	3.21	2.74	0	0
20	0.32	0.72	1.35	2.53	4.73	6.83	8.84	10.8	14.6	18.4	20.1	23.7	20.0	16.4	13.7	10.8	8.89	7.44	6.36	5.04	4.13	3.46	2.95	0	0
21	0.34	0.76	1.43	2.68	4.99	7.19	9.32	11.4	15.4	19.3	21.2	25.1	21.5	17.6	14.8	11.7	9.57	8.02	6.84	5.42	4.44	3.73	3.18	0	0
22	0.35	0.80	1.50	2.82	5.24	7.56	9.80	12.0	16.2	20.4	22.4	26.3	23.1	18.8	15.8	12.5	10.2	8.60	7.34	5.82	4.76	4.00	3.41	0	0
23	0.38	0.84	1.58	2.95	5.51	7.94	10.3	12.6	17.0	21.3	23.5	27.6	24.7	20.1	16.9	13.4	11.0	9.19	7.84	6.22	5.10	4.28	0	0	0
24	0.39	0.89	1.66	3.08	5.77	8.30	10.8	13.2	17.8	22.4	24.5	29.0	26.3	21.5	18.0	14.3	11.7	9.79	8.35	6.64	5.42	4.55	0	0	0
25	0.40	0.93	1.73	3.23	6.02	8.68	11.3	13.8	18.6	23.3	25.6	30.2	27.9	22.8	19.2	15.2	12.4	10.4	8.89	7.05	5.77	4.83	0	0	0
26	0.43	0.97	1.81	3.37	6.29	9.05	11.7	14.3	19.4	24.4	26.8	31.5	29.6	24.3	20.2	16.1	13.2	11.0	9.43	7.47	6.13	5.14	0	0	0
28	0.46	1.05	1.96	3.65	6.81	9.82	12.7	15.6	21.1	26.4	29.0	34.2	33.1	27.0	22.7	18.0	14.8	12.3	10.5	8.35	6.84	5.74	0	0	0
30	0.50	1.13	2.11	3.93	7.34	10.6	13.7	16.8	22.7	28.4	31.2	36.7	36.7	30.0	25.1	19.8	16.4	13.7	11.7	9.27	7.59	0	0	0	0
32	0.54	1.21	2.27	4.21	7.87	11.3	14.6	18.0	24.3	30.4	33.5	39.4	40.4	33.3	27.8	22.0	18.0	15.2	12.9	10.2	8.35	0	0	0	0
35	0.59	1.33	2.49	4.64	8.66	12.5	16.2	19.7	26.8	33.5	36.9	43.4	46.3	38.1	31.6	25.1	20.7	17.2	14.8	11.7	9.56	0	0	0	0
40	0.67	1.54	2.87	5.36	10.0	14.5	18.6	22.8	31.0	38.8	42.6	50.3	56.5	46.4	38.8	30.7	25.1	21.1	18.0	14.3	0	0	0	0	0
45	0.76	1.74	3.27	6.09	11.4	16.4	21.2	25.9	35.1	44.0	48.4	57.0	65.6	55.1	46.1	36.6	30.0	25.1	21.5	0	0	0	0	0	0

Anexo 9 Especificaciones de potencia para cadena RS 40

No. of Teeth Small Spkt.	Maximum Speed – Small Sprocket (rpm)																								
	10	25	50	100	200	300	400	500	700	900	1000	1200	1400	1600	1800	2100	2400	2700	3000	3500	4000	5000	6000	7000	8000
	Lubrication System																								
	A										B										C				
11	0.08	0.19	0.35	0.64	1.21	1.73	2.24	2.74	3.70	4.65	5.11	6.02	6.81	5.58	4.67	3.70	3.03	2.55	2.15	1.72	1.41	1.01	0.76	0.62	0.50
12	0.09	0.20	0.38	0.71	1.31	1.90	2.47	3.00	4.08	5.11	5.62	6.61	7.60	6.36	5.31	4.22	3.45	2.90	2.47	1.96	1.60	1.14	0.87	0.68	0.58
13	0.09	0.23	0.42	0.76	1.43	2.07	2.68	3.29	4.44	5.57	6.13	7.21	8.29	7.16	5.99	4.76	3.89	3.26	2.79	2.21	1.81	1.29	0.98	0.78	0.64
14	0.11	0.24	0.44	0.83	1.56	2.24	2.91	3.55	4.81	6.03	6.64	7.82	8.97	8.01	6.71	5.31	4.36	3.65	3.11	2.47	2.02	1.45	1.10	0.87	0.71
15	0.11	0.25	0.48	0.90	1.68	2.41	3.14	3.84	5.19	6.50	7.15	8.42	9.67	8.88	7.43	5.89	4.83	4.04	3.45	2.74	2.24	1.60	1.22	0.97	0.79
16	0.12	0.28	0.52	0.97	1.80	2.59	3.35	4.10	5.55	6.97	7.66	9.03	10.4	9.79	8.18	6.49	5.31	4.45	3.81	3.02	2.47	1.77	1.34	1.07	0.87
17	0.13	0.30	0.55	1.03	1.92	2.76	3.58	4.39	5.93	7.44	8.18	9.64	11.1	10.7	8.97	7.11	5.82	4.88	4.17	3.31	2.71	1.94	1.48	1.17	0.97
18	0.13	0.31	0.59	1.10	2.04	2.95	3.81	4.67	6.32	7.91	8.70	10.2	11.8	11.7	9.76	7.75	6.34	5.31	4.55	3.61	2.96	2.11	1.60	1.27	0
19	0.15	0.34	0.62	1.17	2.17	3.12	4.05	4.95	6.69	8.39	9.23	10.9	12.5	12.7	10.5	8.41	6.88	5.77	4.92	3.92	3.21	2.29	1.74	1.38	0
20	0.16	0.35	0.66	1.23	2.29	3.30	4.28	5.23	7.07	8.86	9.75	11.5	13.2	13.7	11.1	9.08	7.53	6.22	5.31	4.22	3.45	2.47	1.88	1.49	0
21	0.16	0.38	0.70	1.29	2.41	3.47	4.51	5.51	7.46	9.35	10.3	12.1	13.9	14.8	12.4	9.76	7.99	6.71	5.73	4.55	3.71	2.66	2.02	1.60	0
22	0.17	0.39	0.72	1.35	2.53	3.66	4.73	5.79	7.84	9.83	10.8	12.7	14.6	15.8	13.2	10.5	8.57	7.19	6.13	4.87	3.98	2.86	2.17	1.72	0
23	0.17	0.42	0.76	1.42	2.67	3.84	4.98	6.07	8.22	10.3	11.3	13.4	15.3	16.9	14.1	11.2	9.16	7.68	6.56	5.20	4.26	3.06	2.32	1.84	0
24	0.19	0.43	0.80	1.49	2.79	4.02	5.20	6.36	8.61	10.8	11.9	13.9	16.1	18.0	15.0	11.9	9.76	8.18	7.00	5.54	4.55	3.25	2.47	1.96	0
25	0.20	0.44	0.83	1.56	2.91	4.20	5.44	6.65	9.00	11.3	12.4	14.6	16.8	18.9	16.0	12.7	10.4	8.70	7.43	5.89	4.83	3.45	2.63	0	0
26	0.20	0.47	0.87	1.62	3.04	4.39	5.67	6.93	9.39	11.8	12.9	15.3	17.6	19.7	17.0	13.5	11.0	9.24	7.89	6.25	5.12	3.66	2.76	0	0
28	0.23	0.51	0.95	1.77	3.30	4.75	6.14	7.51	10.2	12.8	14.1	16.5	19.0	21.5	19.0	15.0	12.3	10.3	8.81	7.00	5.73	4.09	3.11	0	0
30	0.24	0.55	1.02	1.90	3.55	5.11	6.62	8.10	11.0	13.7	15.2	17.8	20.4	23.1	21.1	16.8	13.5	11.4	9.76	7.75	6.34	4.55	3.45	0	0
32	0.25	0.59	1.09	2.04	3.81	5.48	7.09	8.68	11.7	14.8	16.2	19.0	21.9	24.7	23.2	18.4	15.0	12.6	10.8	8.54	7.00	5.00	0	0	0
35	0.28	0.64	1.21	2.24	4.20	6.03	7.82	9.56	12.9	16.2	17.8	21.1	24.1	27.2	26.6	21.1	17.2	14.3	12.3	9.76	7.99	5.73	0	0	0
40	0.32	0.75	1.39	2.59	4.84	6.97	9.04	11.1	14.9	18.8	20.7	24.3	27.9	31.5	32.5	25.7	21.1	17.6	15.0	11.9	9.76	7.00	0	0	0
45	0.38	0.84	1.58	2.95	5.50	7.93	10.3	12.5	17.0	21.3	23.5	27.6	31.6	35.7	38.6	30.6	25.1	21.1	18.0	14.2	11.7	0	0	0	0

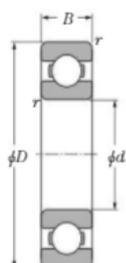
Anexo 10 Especificaciones de potencia para cadena RS 35

No. of Teeth Small Spkt.	Maximum Speed – Small Sprocket (rpm)																								
	50	100	300	500	700	900	1200	1500	1800	2100	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	10,000
	Lubrication System																								
	A									B									C						
11	0.16	0.30	0.78	1.23	1.66	2.09	2.71	3.31	3.90	4.48	3.86	2.92	2.32	1.90	1.58	1.35	1.18	1.03	0.91	0.82	0.74	0.67	0.60	0.56	0.48
12	0.17	0.32	0.86	1.35	1.84	2.29	2.98	3.63	4.29	4.92	4.40	3.35	2.66	2.17	1.82	1.56	1.35	1.18	1.05	0.94	0.84	0.76	0.70	0.64	0.55
13	0.19	0.35	0.94	1.48	2.00	2.51	3.25	3.97	4.68	5.38	4.96	3.75	2.99	2.45	2.05	1.74	1.50	1.33	1.17	1.05	0.94	0.86	0.78	0.72	0.62
14	0.20	0.38	1.01	1.60	2.16	2.71	3.51	4.30	5.07	5.82	5.55	4.21	3.34	2.72	2.29	1.9									

Anexo 11 Catálogo de Rodamientos de Bolas

● Rodamientos Rígidos de Bolas

NTN



Tipo abierto



Tipo con tapas (ZZ)



Tipo con sello de no contacto (LLB, LLF)



Tipo con sello de bajo torque (LLH)



Tipo con sello de contacto (LLU)

d 20 ~ 35mm

d	Dimensiones principales				Capacidades básicas de carga				Factor f_0	Velocidades límites				Números de rodamientos				
	mm				kN		kgf			r.p.m.				tipo abierto	con tapas	con sello de no contacto	con sello de bajo torque	con sello de contacto
	D	B	$r_{s, min}^{1)}$	r_{se} min	C_r	C_{or}	C_r	C_{or}		grasa tipo abierto	aceite tipo abierto	LLH	LLU					
20	72	19	1.1	—	28.5	13.9	2 900	1 420	11.4	12 000	14 000	—	—	6404	—	—	—	—
22	44	12	0.6	0.5	9.40	5.05	955	515	13.9	17 000	20 000	13 000	10 000	60/22	ZZ	LLB	LLH	LLU
	50	14	1	0.5	12.9	6.80	1 320	690	13.5	14 000	17 000	12 000	9 700	62/22	ZZ	LLB	LLH	LLU
	56	16	1.1	0.5	18.4	9.25	1 880	945	12.4	13 000	15 000	11 000	9 200	63/22	ZZ	LLB	LLH	LLU
25	32	4	0.2	—	1.10	0.840	112	86	15.8	4 000	4 600	—	—	6705	—	LLF	—	—
	37	7	0.3	0.3	4.30	2.95	435	300	16.1	18 000	21 000	—	10 000	6805	ZZ	LLB	—	LLU
	42	9	0.3	0.3	7.05	4.55	715	460	15.4	16 000	19 000	—	9 800	6905	ZZ	LLB	—	LLU
	47	8	0.3	—	8.35	5.10	855	520	15.1	15 000	18 000	—	—	16005	—	—	—	—
	47	12	0.6	0.5	10.1	5.85	1 030	595	14.5	15 000	18 000	11 000	9 400	6005	ZZ	LLB	LLH	LLU
	52	15	1	0.5	14.0	7.85	1 430	800	13.9	13 000	15 000	11 000	8 900	6205	ZZ	LLB	LLH	LLU
	62	17	1.1	0.5	21.2	10.9	2 160	1 110	12.6	12 000	14 000	9 700	8 100	6305	ZZ	LLB	LLH	LLU
80	21	1.5	—	34.5	17.5	3 550	1 780	11.6	10 000	12 000	—	—	6405	—	—	—	—	

