



Diseño y construcción de una cortadora automática para lámina de tol galvanizado, acero inoxidable y hierro negro con espesor de hasta 3 mm con el fin de mejorar la productividad y seguridad en su manejo en la empresa INDUCTESA

Centeno Chiguano, Erika Susana y Zhingre Panchi, Karol Mishell

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Mecatrónica

Ing. Gordón Garcés, Andrés Marcelo

10 de agosto del 2023

Latacunga



Plagiarism report

Tesis_CentenoZhingre.pdf

Scan details

Scan time:

August 18th, 2023 at 15:49 UTC

Total Pages:

101

Total Words:

25140

Plagiarism Detection AI Content Detection



Types of plagiarism

Types of plagiarism	Percentage	Words
Identical	2.2%	557 AI text
Minor Changes	1.6%	403 Human text
Paraphrased	2.5%	620
Omitted Words	0%	0



Text coverage



Plagiarism Results: (77)



Tesis I. M. 368 - Iza Carrillo Edgar Vinicio.pdf

1%

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25129/1...>

PORTADA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA PROYECTO TÉCNICO...



T-ESPEL-MEC-0264.pdf

0.8%

<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/35803/1/t- e...>

KATANA

1 Carátula Diseño e implementación de un prototipo de monitorización
remota de pacientes que permita la recopilación de datos objetivos...



EJEMPLOS DE AGRADECIMIENTOS PARA TESIS DE LLC

0.6%

<https://www.euroinnova.us/ejemplos-de-agradecimientos-p a...>

Euroinnova Business School

Descarga nuestra app móvil. 130 cursos gratuitos te están e...

Ing. Gordón Garcés, Andrés Marcelo

C.C: 1803698800



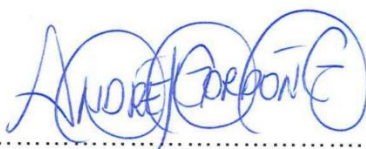
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "Diseño y construcción de una cortadora automática para lámina de tol galvanizado, acero inoxidable y hierro negro con espesor de hasta 3 mm con el fin de mejorar la productividad y seguridad en su manejo en la empresa **INDUCTESA**" fue realizado por las señoritas **Centeno Chiguano, Erika Susana y Zhingre Panchi, Karol Mishell**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 18 de agosto de 2023



Ing. Gordón Garcés, Andrés Marcelo

C. C.: 1803698800



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de ingeniería Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Nosotras, Centeno Chiguano, Erika Susana con cédula de ciudadanía n° 0503915639 y Zhingre Panchi, Karol Mishell con cédula de ciudadanía n° 1724995210, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: "Diseño y construcción de una cortadora automática para lámina de tol galvanizado, acero inoxidable y hierro negro con espesor de hasta 3 mm con el fin de mejorar la productividad y seguridad en su manejo en la empresa INDUCTESA" es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 18 de agosto de 2023

Centeno Chiguano, Erika Susana

C.C.: 0503915639

Zhingre Panchi, Karol Mishell

C.C.: 1724995210



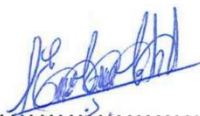
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Autorización de Publicación

Nosotras, Centeno Chiguano, Erika Susana con cédula de ciudadanía n° 0503915639 y Zhingre Panchi, Karol Mishell con cédula de ciudadanía n° 1724995210, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “Diseño y construcción de una cortadora automática para lámina de tol galvanizado, acero inoxidable y hierro negro con espesor de hasta 3 mm con el fin de mejorar la productividad y seguridad en su manejo en la empresa INDUCTESA” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 18 de agosto de 2023



Centeno Chiguano, Erika Susana

C.C.: 0503915639



Zhingre Panchi, Karol Mishell

C.C.: 1724995210

Dedicatoria

La presente tesis está dedicada a mis padres Pedro y Susana quienes estuvieron a mi lado brindándome sus consejos, su apoyo incondicional y principalmente su gran paciencia ayudándome cada día a ser una mejor persona y a cumplir cada una de las cosas que me he propuesto.

A mis hermanos Darío y Ricardo quienes me enseñaron con el ejemplo que rendirse no es una opción los cuales me han acompañado y apoyado desde que tengo memoria.

A mis hermanas Natalia, Carolina y Karina quienes han sabido brindarme palabras de apoyo.

A mis pequeños Alejandro y Doménica por siempre creer en mí y por regalarme su cariño en el momento que más lo necesite.

A mi novio Marlon quien ha estado conmigo sin importar las circunstancias quien estuvo motivándome y ayudándome a lo largo de este camino.

A mi amado hijo Lemmy quien es el motor de mi vida y la motivación más grande para esforzarme y buscar mejores días, mi mini cosita que con una sonrisa puede transformar un día tormentoso en el mejor de los días por el simple hecho de estar presente.

Centeno Chiguano, Erika Susana

Dedicatoria

Le dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia. Principalmente, a mis padres Homero y Gladys que me apoyaron en todas las circunstancias de mi vida, por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza ni morir en el intento.

Han construido la persona que soy hoy, mis principios, mis valores, mi perseverancia y mi empeño. Todo esto con una enorme dosis de amor y sin pedir nada a cambio.

También quiero dedicarle este trabajo a mi hermana Jessica. Por su paciencia, su comprensión, su empeño, su fuerza y su amor. Realmente, ella me ayuda a alcanzar el equilibrio que me permite dar todo mi potencial.

Además, quiero dedicarle este trabajo a mi hijo Alejandro. Su nacimiento, ya sea por casualidad o causalidad, ha coincidido con mi formación profesional. Debo pedirle perdón porque ha sufrido el impacto directo de las consecuencias del trabajo realizado. Sin duda él ha demostrado que pese a la distancia su amor por mí siempre está latente.

A mis tíos Edwin y Graciela, Pedro y María, Anita y Jorge, Pablo y Blanca que todos formaron parte de mi vida como segundos padres y madres para mí y nunca me han dejado sola.

Les dedico a mis primos David, Valeria, Anahí, Carla, Mateo, Liseth, Benjamín, Sofía, Emanuel por el apoyo y complicidad que tenemos, siempre podrán contar conmigo.

Y finalmente le dedico a mi abuela Laura por tenderme la mano en los momentos de crisis, su vida vale más que cualquier riqueza.

Zhingre Panchi, Karol Mishell

Agradecimiento

Gracias a Dios por permitirme la vida para poderla compartir y disfrutar con mi gran familia.

A mi familia por siempre estar presente por apoyarme en cada decisión que he tomado, por no dejarme nunca sola, Dios le pague por todo, la vida no me alcanzaría para poder agradecer y retribuir todo lo que han hecho por mí.

A mis amigos Bryan, Dennis y Angelito por brindarme su amistad y acompañarme a lo largo de este camino recorrido, pay por sacarme una sonrisa con sus innumerables ocurrencias aún en los momentos más críticos.

A mi novio Marlon por creer en mí, por siempre confiar en que puedo lograr las metas que me proponga, pay amor por siempre estar a mi lado.

Centeno Chiguano, Erika Susana

Agradecimiento

Agradezco a Dios por la salud y la vida que día a día me obsequia como un regalo.

A mi tutor, Ing. Msc. Andrés Gordón. Por la constancia y apoyo en este trabajo. Usted formó parte importante de este proyecto con los aportes profesionales que lo caracterizan. Muchas gracias por sus palabras de aliento y gracias por su orientación.

A los docentes, sus palabras fueron sabias y sus conocimientos precisos, a ustedes mis profesores, les debo mis conocimientos. Gracias por su paciencia, por impartir sus conocimientos de manera profesional y dedicada.

A mis padres, ustedes han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes están siempre a mi lado en los días y noches más difíciles. Siempre han sido mis mejores guías de vida. Hoy cuando concluyo mis estudios, les agradezco a ustedes amados padres, como una meta más conquistada. Orgullosa de haberlos elegido como mis padres y que estén a mi lado en este momento tan importante.

A mi hijo, por ser el pilar fundamental en mi vida, por la paciencia y la espera que has tenido, gracias por tener una sonrisa para mí cuando más lo he necesitado, por tu apoyo y compañía. Gracias por existir.

A mi hermana, te agradezco infinitamente que expresarlo se me hace difícil, gracias por todo lo que has hecho y sigues haciendo por mí, gracias por enseñarme que, aunque el camino sea difícil siempre se puede lograr. Gracias por ser mi ejemplo a seguir.

A mi familia, por todo el apoyo moral que me brindaron durante mi etapa estudiantil. Gracias por guiarme siempre y enseñarme que la vida se hizo para disfrutar y cumplir nuevos retos.

A mis amigos y compañeros de viaje, no puedo dejar de recordar cuántas tardes y horas de trabajo nos juntamos a lo largo de nuestra formación. Hoy me toca cerrar un capítulo maravilloso en esta historia de vida y no puedo dejar de agradecerles por siempre estar allí.

Zhingre Panchi, Karol Mishell

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	1
Reporte de Verificación de Contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de Contenidos	10
Índice de Figuras	14
Índice de Tablas	21
Resumen	22
Abstract.....	23
Capítulo I: Generalidades	24
Antecedentes.....	24
Justificación e Importancia	25
Objetivos	26
<i>Objetivo General</i>	26
<i>Objetivos Específicos</i>	26
Hipótesis	26
Variables de la Investigación.....	26
<i>Variable Independiente</i>	26
<i>Variable Dependiente</i>	26
Capítulo II: Marco Teórico.....	27

La Revolución Industrial	27
Automatización Industrial y Sistemas Automatizados	27
Máquinas Industriales	29
Cizalla Hidráulica C3006 CNC	30
Guillotina Hidráulica Industrial Feysama Modelo LLC.....	31
Cortadoras de Láminas de Acero	32
<i>Evaluación de Cortes y Fallos</i>	34
<i>Herramientas de Corte</i>	34
<i>Materiales para Herramientas de Corte</i>	35
<i>Aceros para Herramientas para Trabajo en Frío</i>	35
<i>Diseño de Herramienta de Corte</i>	36
Tol Galvanizado.....	36
<i>Ventajas</i>	37
<i>Aplicaciones</i>	37
Acero Inoxidable	38
<i>Ventajas</i>	38
Hierro Negro	39
<i>Propiedades</i>	39
Capítulo III: Diseño y Selección de Elementos	40
Desarrollo de la Matriz QFD de la Cortadora.....	40
<i>Definición de Necesidades</i>	40
<i>Definición de Especificaciones Técnicas</i>	41
Análisis de la Matriz QFD.....	44
Diseño de Elementos Mecánicos de la Cortadora.....	44
Cálculos para el Diseño	45
Diseño Columna Central	74

Selección del Diámetro de la Polea Motriz	78
<i>Longitud de la Correa.....</i>	<i>82</i>
<i>Diseño del Sistema de Engranés</i>	<i>84</i>
<i>Diseño de la Leva.....</i>	<i>88</i>
<i>Diseño del Pedal</i>	<i>103</i>
<i>Selección de Cilindro Neumático</i>	<i>106</i>
Cálculo del Calibre del Cable para la Instalación Eléctrica del Motor	108
Diseño del eje principal.....	109
<i>Torque en el engrane conducido</i>	<i>110</i>
Diseño del eje para el disco de inercia	112
<i>Diseño del Eje de la Guía para las Planchas</i>	<i>114</i>
Determinación de la Velocidad de Giro del Eje	115
Cálculo de Torques y Fuerzas	115
Cálculo de Reacciones en los Puntos de Apoyo	117
Cálculo del Diámetro del Eje	120
Cálculo de Esfuerzos en el Eje.....	121
<i>Diseño de los Engranajes Rectos.....</i>	<i>122</i>
Cálculo de Esfuerzos de Flexión y Admisibles	123
Sistema de Control de la Máquina de Corte Automática	125
Selección de Componentes.....	125
<i>Selección de Pantalla</i>	<i>127</i>
<i>Selección de la Tarjeta de Procesamiento</i>	<i>128</i>
<i>Selección de Módulo Relé</i>	<i>129</i>
Diseño Interfaz HMI.....	130
Diseño Integral del Sistema.....	131
Capítulo IV: Implementación de la Cortadora Automática.....	133

Ensamble de la Cizalla	133
Implementación del Control de Tamaño de Corte	144
Implementación del Control Eléctrico	145
Implementación del HMI.....	148
<i>Inicio</i>	<i>148</i>
<i>Panel de Control</i>	<i>149</i>
<i>Administrador</i>	<i>154</i>
Capítulo V: Pruebas y Análisis de Resultados	158
Cortes en Hierro Negro	158
Cortes en Tol Galvanizado.....	160
Cortes en Acero Inoxidable	162
Validación de Hipótesis.....	163
<i>Validación del Tiempo de Operación.....</i>	<i>163</i>
<i>Validación Precisión de Corte.....</i>	<i>165</i>
<i>Validación de Seguridad</i>	<i>166</i>
Análisis de costos	168
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones.....	170
Conclusiones.....	170
Recomendaciones	172
Bibliografía	173
Anexos	176

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Modelo estructural de un sistema automatizado</i>	28
Figura 2 <i>Máquinas industriales</i>	29
Figura 3 <i>Cizalla Hidráulica C3006 CNC</i>	30
Figura 4 <i>Controlador C3006 CNC</i>	31
Figura 5 <i>Controlador CNC ELGO P-40</i>	31
Figura 6 <i>Guillotina Automática Feysama Modelo LLC</i>	32
Figura 7 <i>Juego de cizallado</i>	33
Figura 8 <i>Guillotina de corte para láminas de acero</i>	33
Figura 9 <i>Tipos de fallo en corte de acero</i>	34
Figura 10 <i>Acero para herramientas</i>	35
Figura 11 <i>Acero de herramientas</i>	36
Figura 12 <i>Propiedades mecánicas del acero galvanizado según la norma NTC 4011 – ASTM A653</i>	37
Figura 13 <i>Planchas de tol galvanizado</i>	37
Figura 14 <i>Planchas de acero inoxidable</i>	38
Figura 15 <i>Propiedades generales de los aceros inoxidables</i>	38
Figura 16 <i>Láminas de hierro negro</i>	39
Figura 17 <i>Matriz QFD</i>	43
Figura 18 <i>Esqueleto máquina cortadora entregado por la empresa</i>	44
Figura 19 <i>Dimensiones de la cizalla</i>	46
Figura 20 <i>Área de corte</i>	46
Figura 21 <i>Dimensiones de la cuchilla inferior</i>	47
Figura 22 <i>Componentes de la fuerza de corte en el proceso de cizallamiento</i>	48
Figura 23 <i>Fuerzas de corte y reacciones para el punto crítico del tramo 1-2 de la cuchilla</i>	49
Figura 24 <i>Reacciones en cada tramo según la ubicación de los 14 pernos</i>	49

Figura 25 <i>Tramos 1-2 y 2-3</i>	50
Figura 26 <i>Método de los 3 momentos para una carga puntual</i>	51
Figura 27 <i>Diagrama de cuerpo libre tramos 1-2 y 2-3</i>	51
Figura 28 <i>Diagrama de cuerpo libre tramos 2-3 y 3-4</i>	52
Figura 29 <i>Diagrama de cuerpo libre tramos 2-3 y 3-4</i>	53
Figura 30 <i>Diagrama de cuerpo libre tramo 1</i>	55
Figura 31 <i>Fuerza de corte aplicada en el centro del segundo tramo</i>	56
Figura 32 <i>Resultados arrojados por el software DSNWinbeam primera simulación</i>	56
Figura 33 <i>Fuerza de corte aplicada en el centro de la cuchilla</i>	57
Figura 34 <i>Resultados arrojados por el software DSNWinbeam segunda simulación</i>	57
Figura 35 <i>Fuerza de corte aplicada en el punto crítico</i>	58
Figura 36 <i>Resultados arrojados por el software DSNWinbeam tercera simulación</i>	58
Figura 37 <i>Fuerza horizontal aplicada en el punto crítico</i>	59
Figura 38 <i>Dimensiones sección transversal cuchilla</i>	60
Figura 39 <i>Sección transversal de la cuchilla</i>	61
Figura 40 <i>Propiedades acero K100 de la marca BOHLER</i>	61
Figura 41 <i>Curva de pendiente y deflexión en el punto crítico</i>	62
Figura 42 <i>Análisis de Datos de DSNWinbeam</i>	62
Figura 43 <i>Porta cuchillas</i>	63
Figura 44 <i>Diagrama de cuerpo libre del portacuchillas</i>	64
Figura 45 <i>Reacciones y momento flector portacuchillas plano XY</i>	64
Figura 46 <i>Resumen Reacciones y momento flector portacuchillas plano XY</i>	65
Figura 47 <i>Reacciones y momento flector portacuchillas plano XZ</i>	65
Figura 48 <i>Resumen Reacciones y momento flector portacuchillas plano XZ</i>	66
Figura 49 <i>Sección transversal en el punto de interés</i>	67
Figura 50 <i>Momentos de inercia y centro de gravedad calculados por SolidWorks</i>	67

Figura 51 <i>Simulación SolidWorks portacuchillas desplazamientos</i>	68
Figura 52 <i>Simulación SolidWorks portacuchillas tensión de Von Mises</i>	68
Figura 53 <i>Ensamble bastidor, cuchilla inferior, cama, apoyo central</i>	69
Figura 54 <i>Diagrama de cuerpo libre viga de soporte cuchilla inferior</i>	70
Figura 55 <i>Reacciones y momento flector viga de soporte cuchilla inferior</i>	70
Figura 56 <i>Resultados de reacciones y momento flector viga de soporte</i>	70
Figura 57 <i>Dimensiones sección transversal cuchilla</i>	71
Figura 58 <i>Gráficas de rotación y deflexión para el soporte de la cuchilla inferior</i>	72
Figura 59 <i>Rotación y deflexión para el soporte de la cuchilla inferior</i>	73
Figura 60 <i>Simulación SolidWorks tensiones de Von Mises</i>	73
Figura 61 <i>Configuración de la columna de apoyo</i>	74
Figura 62 <i>Propiedades de la sección calculadas con SolidWorks</i>	75
Figura 63 <i>Simulación de la columna de apoyo en SolidWorks</i>	76
Figura 64 <i>Placa de datos del motor</i>	77
Figura 65 <i>Disco de inercia original</i>	77
Figura 66 <i>Transmisión de potencia por poleas</i>	77
Figura 67 <i>Transmisión de potencia por engranajes</i>	78
Figura 68 <i>Diámetros mínimos de poleas recomendados</i>	78
Figura 69 <i>Coeficiente de corrección de potencia</i>	79
Figura 70 <i>Gráfica para la elección de la sección de la correa</i>	80
Figura 71 <i>Sistema de transmisión por poleas</i>	80
Figura 72 <i>Diámetro primitivo de las poleas según normas BS 3790</i>	81
Figura 73 <i>Medición de longitud primitiva</i>	82
Figura 74 <i>Factor de corrección de potencia por arco de contacto</i>	82
Figura 75 <i>Factor de corrección en función de la longitud de la correa</i>	83
Figura 76 <i>Prestación adicional por relación de transmisión</i>	83

Figura 77 <i>Cinemática del sistema de engranes</i>	86
Figura 78 <i>Diagrama de cuerpo libre en el punto de contacto entre dientes</i>	86
Figura 79 <i>Condiciones de frontera para el desplazamiento de la leva</i>	89
Figura 80 <i>Gráfica de posición angular de la leva en función de la posición del seguidor</i>	91
Figura 81 <i>Tabla de datos para generar la leva</i>	92
Figura 82 <i>Gráficas del comportamiento del seguidor SolidWorks</i>	93
Figura 83 <i>Pasos para generar el contorno de la leva excéntrica</i>	93
Figura 84 <i>Diseño de rueda excéntrica a partir del contorno de la leva</i>	94
Figura 85 <i>Simulación rueda excéntrica</i>	94
Figura 86 <i>Gráficas de desplazamiento, velocidad y aceleración del seguidor</i>	95
Figura 87 <i>Rueda excéntrica con cierre de fuerza</i>	95
Figura 88 <i>Diagrama de cuerpo libre de la rueda excéntrica</i>	96
Figura 89 <i>Geometría del mecanismo</i>	97
Figura 90 <i>Gráfica de posición del portacuchillas [mm]</i>	98
Figura 91 <i>Gráfica de velocidad del portacuchillas [mm/sg]</i>	98
Figura 92 <i>Gráfica de aceleración del portacuchillas [mm/(sg²)]</i>	99
Figura 93 <i>Gráficas de torque, curva azul (T_i), curva verde (T_m) y curva roja (T_R)</i>	100
Figura 94 <i>Gráfica de potencia sin disco de inercia en función del ángulo de la manivela</i>	100
Figura 95 <i>Gráfica de potencia sin disco de inercia en función del ángulo de la manivela</i>	101
Figura 96 <i>Energía en el volante de inercia</i>	102
Figura 97 <i>Valores de inercia calculados con SolidWorks</i>	103
Figura 98 <i>Ensamble entre el pedal y el embrague, vista frontal</i>	103
Figura 99 <i>Ensamble entre el pedal y el embrague, vista posterior</i>	103
Figura 100 <i>Ensamble entre el pedal y el embrague, vista lateral</i>	104
Figura 101 <i>Diagrama de cuerpo libre del pedal</i>	104
Figura 102 <i>Reacciones en los apoyos del eje del pedal</i>	105

Figura 103 <i>Diagrama de cuerpo libre de la palanca del pedal</i>	105
Figura 104 <i>Cilindro de doble efecto</i>	106
Figura 105 <i>DNC Series ISO 6431 cilindros estándar</i>	107
Figura 106 <i>Área efectiva para retorno del vástago</i>	107
Figura 107 <i>Amperaje que soportan los cables de cobre según la AWG</i>	109
Figura 108 <i>Eje que transmite la potencia del engrane conducido al portacuchillas</i>	109
Figura 109 <i>Diagrama de cuerpo libre del eje al accionar el pedal</i>	109
Figura 110 <i>Diagrama de fuerzas y momentos sobre el eje principal</i>	110
Figura 111 <i>Diagrama de torques en el eje principal</i>	111
Figura 112 <i>Eje que transmite la potencia del disco de inercia al engrane conductor</i>	112
Figura 113 <i>Diagrama de cuerpo libre del eje del disco de inercia</i>	112
Figura 114 <i>Grafica de fuerzas y momentos sobre el disco de inercia</i>	113
Figura 115 <i>Diagrama de elementos sobre el eje de guía</i>	114
Figura 116 <i>Diagrama de cuerpo libre del engranaje en el punto B</i>	115
Figura 117 <i>Diagrama de cuerpo libre de la Catarina en el punto C</i>	117
Figura 118 <i>Reacciones en los rodamientos del eje en el plano XY</i>	117
Figura 119 <i>Fuerzas cortantes y momentos en el plano XY</i>	118
Figura 120 <i>Reacciones en los rodamientos del eje en el plano XZ</i>	118
Figura 121 <i>Fuerzas cortantes y momentos en el plano XZ</i>	119
Figura 122 <i>Calculadora de engranajes rectos en el software Excel</i>	124
Figura 123 <i>Diagrama de flujo cortadora automática</i>	126
Figura 124 <i>Arquitectura de la interfaz humano máquina</i>	130
Figura 125 <i>Base de datos del registro de operación de la cortadora automática</i>	131
Figura 126 <i>Vista frontal de la cortadora automática</i>	132
Figura 127 <i>Vista posterior de la cortadora automática</i>	132
Figura 128 <i>Proforma manufactura rueda excéntrica</i>	133

Figura 129 <i>Piezas mecanizadas</i>	134
Figura 130 <i>Ensamble del mecanismo de transmisión de potencia</i>	134
Figura 131 <i>Colocación de la polea de 71 cm en la máquina de corte</i>	135
Figura 132 <i>Entrega del motor de 7.5 HP</i>	135
Figura 133 <i>Reparación por soldadura SMAW</i>	136
Figura 134 <i>Colocación del motor principal sobre la máquina</i>	136
Figura 135 <i>Revisión de la instalación eléctrica en el motor principal</i>	137
Figura 136 <i>Conexión eléctrica del motor trifásico</i>	137
Figura 137 <i>Acoplamiento del motor al engranaje principal</i>	138
Figura 138 <i>Acoplamiento de engranajes</i>	138
Figura 139 <i>Eje de guía para el calibre y engranajes</i>	139
Figura 140 <i>Motor DC acoplado al eje del calibre mediante catarina</i>	139
Figura 141 <i>Cremallera cilíndrica</i>	140
Figura 142 <i>Sistema de transmisión del eje guía para el tamaño de corte</i>	140
Figura 143 <i>Colocación del pistón neumático</i>	141
Figura 144 <i>Conexión y cableado del motor DC</i>	141
Figura 145 <i>Colocación de la caja eléctrica</i>	142
Figura 146 <i>Conexiones electrónicas en el panel de control</i>	142
Figura 147 <i>Colocación del panel de control</i>	143
Figura 148 <i>Vista posterior de la máquina cortadora automática ensamblada totalmente</i>	143
Figura 149 <i>Vista frontal de la máquina cortadora automática ensamblada totalmente</i>	144
Figura 150 <i>Puente H con mosfet para el control de motor 12 VDC</i>	144
Figura 151 <i>Separación mediante optoacopladores PC 817 del control y voltaje de alimentación del motor</i>	145
Figura 152 <i>Fragmento de la programación para el motor del calibre</i>	145
Figura 153 <i>Esquema eléctrico del sistema de automatización</i>	146

Figura 154 <i>Conexión electrónica al microcontrolador ESP8266</i>	147
Figura 155 <i>Diagrama neumático cilindros doble efecto</i>	147
Figura 156 <i>Pantalla inicial</i>	148
Figura 157 <i>Pantalla emergente de credenciales inválidas</i>	149
Figura 158 <i>Pantalla de panel de control</i>	149
Figura 159 <i>Estados del botón de control del motor principal</i>	150
Figura 160 <i>Parámetro de tamaño de corte</i>	150
Figura 161 <i>Parámetro de unidades y sus posibles cambios</i>	151
Figura 162 <i>Parámetro de número de cortes</i>	151
Figura 163 <i>Parámetros de corte completos y estados del botón "Cortar"</i>	151
Figura 164 <i>Panel de estado</i>	152
Figura 165 <i>Funcionamiento de panel de estado del motor principal</i>	152
Figura 166 <i>Estado "Esperando" del fin de sensor</i>	153
Figura 167 <i>Estado "OK" del sensor</i>	153
Figura 168 <i>Estado de cortes finalizados</i>	153
Figura 169 <i>Pantalla de fin de proceso</i>	154
Figura 170 <i>Botón reset</i>	154
Figura 171 <i>Pantalla de inicio de sesión como administrador</i>	155
Figura 172 <i>Pantalla de administrador de control de acceso</i>	155
Figura 173 <i>Lista de usuarios válidos</i>	156
Figura 174 <i>Sección de agregar nuevo usuario</i>	156
Figura 175 <i>Avisos para cuando los campos "Nombre" o "Contraseña" están vacíos</i>	156
Figura 176 <i>Ingreso de un nuevo usuario</i>	157
Figura 177 <i>Puntos de medida para el corte</i>	158
Figura 178 <i>Código de color de longitud de las planchas</i>	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Necesidad del usuario</i>	40
Tabla 2 <i>Especificaciones técnicas del usuario</i>	41
Tabla 3 <i>Relación entre los requerimientos y las especificaciones técnicas</i>	42
Tabla 4 <i>Matriz de correlación</i>	42
Tabla 5 <i>Resultado matriz QFD</i>	43
Tabla 6 <i>Especificaciones cilindro DNC 32X50-S</i>	108
Tabla 7 <i>Opciones de pantalla</i>	127
Tabla 8 <i>Matriz de selección de pantalla</i>	127
Tabla 9 <i>Opciones de tarjeta de procesamiento</i>	128
Tabla 10 <i>Matriz de selección de la tarjeta de procesamiento</i>	128
Tabla 11 <i>Opciones de módulo relé</i>	129
Tabla 12 <i>Matriz de selección de módulos relé</i>	129
Tabla 13 <i>Resultados de corte en hierro negro en forma manual y automática</i>	159
Tabla 14 <i>Error absoluto y porcentual en planchas de hierro negro</i>	160
Tabla 15 <i>Resultados de corte en tol galvanizado en modo manual y automático</i>	161
Tabla 16 <i>Error absoluto y porcentual en planchas de tol galvanizado</i>	161
Tabla 17 <i>Resultados de corte en acero inoxidable en modo manual y automático</i>	162
Tabla 18 <i>Error absoluto y porcentual en planchas de acero inoxidable</i>	163
Tabla 19 <i>Tiempo de operación en modo manual y automático</i>	164
Tabla 20 <i>Validación de optimización de tiempo</i>	165
Tabla 21 <i>Validación de precisión y exactitud en el corte</i>	166
Tabla 22 <i>Validación de seguridad de operación de la cizalladora automática</i>	167
Tabla 23 <i>Costos asumidos por la empresa</i>	169
Tabla 24 <i>Costos asumidos por los autores del proyecto</i>	169

Resumen

En este documento se presenta la metodología usada para el diseño e implementación de una cortadora automática para láminas de tol galvanizado, acero inoxidable y hierro negro con espesor de hasta 3 mm y un largo de 2.40 metros, incluye los cálculos necesarios para la selección de una cuchilla comercial y los parámetros a tomar en cuenta para la ejecución de un corte limpio. El diseño no fue efectuado de cero, se tomó como base el bastidor, porta-cuchilla y engranaje de una cizalla dañada, sin embargo, se realizaron los cálculos de todos estos elementos en base a su material y dimensiones para garantizar su correcto funcionamiento, las simulaciones y el modelo 3D validan los resultados, el ensamble contiene la información necesaria para construir modelos a partir de este prototipo gracias a su nivel de detalle. La cizalla funciona adecuadamente tanto en su modo manual como automático, con el modo automático se mejora la productividad ya que el tiempo entre cortes se reduce dependiendo del tamaño de las planchas, obteniendo mejores resultados para planchas de gran tamaño. Para la automatización se emplea un calibre posterior que se regula por medio de finales de carrera para fijar el ancho de corte y el número de cortes requeridos. El mecanismo se acciona mediante cilindros de doble efecto. El HMI se implementa sobre una pantalla Nextion que intercambia información mediante el protocolo UART con los microcontroladores que se encargan de automatizar el proceso, la información relevante se envía a la nube a través de Node-RED mediante el protocolo MQTT.

Palabras clave: coeficiente de penetración, longitud primitiva, rueda excéntrica, potencia corregida, hierro negro.

Abstract

This document presents the methodology used for the design and implementation of an automatic cutter for sheets of galvanized tol, stainless steel and black iron with a thickness of up to 3 mm and a length of 2.40 meters, it includes the necessary calculations for the selection of a commercial blade and the parameters to take into account for the execution of a clean cut. The design was not carried out from scratch, the frame, blade holder and gear of a damaged shear were taken as a basis, however, the calculations of all these elements were made based on their material and dimensions to guarantee their correct functioning, the simulations and the 3D model validate the results, the assembly contains the necessary information to build models from this prototype thanks to its level of detail. The shear works properly both in its manual and automatic mode, with the automatic mode productivity is improved since the time between cuts is reduced depending on the size of the plates, obtaining better results for large plates. For automation, a rear gauge is used that is regulated by limit switches to set the cutting width and the number of cuts required. The mechanism is powered by double-acting cylinders. The HMI is implemented on a Nextion screen that exchanges information through the UART protocol with the microcontrollers that are in charge of automating the process, the relevant information is sent to the cloud through Node-RED through the MQTT protocol.

Key words: penetration coefficient, pitch length, eccentric wheel, corrected power, black iron.

Capítulo I

Generalidades

Antecedentes

A través de la investigación realizada se halló información acerca de trabajos de tesis que se relacionan con el tema de estudio o de investigación, los cuales se aprecian a continuación:

Diseño y construcción de máquina rotativa de corte longitudinal de planchas de acero galvanizado de 1 mm de espesor en la empresa Carrocerías "IBIMCO S.A.". En este trabajo se realiza el diseño y construcción de una máquina capaz de cortar planchas sin defectos y en un período de tiempo mínimo reduciendo los riesgos durante el montaje de las carrocerías.

Con la implementación de la máquina se pueden realizar cortes limpios con tolerancias mínimas y se reduce un 40% el tiempo durante el proceso de corte en relación al proceso convencional utilizado en la empresa (Iza, 2017).

"Diseño y construcción de una cortadora de láminas de acero, tipo guillotina hidráulica, de hasta 1.4 mm de espesor, para la empresa ingeniería del acero y matricería de la ciudad de Ambato". Para la elaboración de esta cortadora se toma en cuenta la economía, mantenimiento, factibilidad y versatilidad con el fin de cumplir con las demandas y necesidades requeridas por la empresa, para lograr este cometido se incorporan cilindros hidráulicos que transforman la presión de aceite en fuerza, permitiendo cortar las láminas de aluminio de forma mecánica, consiguiendo con esto aumentar la productividad del laminador. Con la automatización de la máquina se generan ciclos de trabajo más productivos y un margen de riesgo mínimo para los operarios (García Sánchez, 2020).

"Diseño y simulación de una máquina enderezadora de láminas de acero inoxidable de 0,30 a 0,60 mm de espesor y 1,22 m de ancho". La máquina se diseñó con el propósito de eliminar deformaciones en láminas que se producen ya sea debido a un mal almacenamiento,

el mismo transporte o por desorden molecular. La máquina en cuestión aplica fuerza suficiente capaz de enderezar la lámina con lo cual se producen menos pérdidas para la empresa.

Justificación e Importancia

La automatización implica mejorar los tiempos de ciclo, la productividad, la calidad del proceso y la competitividad, siendo este último el que posee un impacto significativo para la empresa en el área de ingresos. La globalización ha beneficiado a las importaciones y exportaciones de productos, convirtiendo así a la automatización en un elemento clave y diferenciador para seguir siendo competitivo y eficiente con respecto al sector empresarial (Revista de Robots, 2021).

Las cortadoras manuales pueden presentar problemas como ejecución de cortes defectuosos, planchas mal dimensionadas, rebabas o dobleces en los filos, lo cual genera pérdidas económicas, además de lo mencionado pueden darse problemas en la seguridad como aplastamiento de los miembros superiores e inferiores del personal encargado de operar el equipo.

Por todo lo expuesto la empresa INDUCTESA se ve en la necesidad de adquirir una cortadora que utilice diferentes elementos mecánicos y electromecánicos como también procesos informáticos que permitan automatizar el proceso, el cual será de mucha ayuda para fabricar ciertos productos como puertas, compuertas, productos para ingeniería, entre otros, su factor repetitivo es la manipulación de planchas de tol galvanizado, acero inoxidable y hierro negro. La implementación exitosa del proyecto generará un ahorro a la empresa en los costos de producción. De esta manera contribuye al desarrollo tecnológico del país y su innovación impulsando el uso de máquinas automáticas.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar y construir una cortadora automática para láminas de tol galvanizado, acero inoxidable y hierro negro con espesor de hasta 3 mm con el fin de mejorar la productividad y la seguridad en su manejo en la empresa INDUCTESA.

Objetivos Específicos

- Investigar y recopilar información acerca de los sistemas de corte para láminas de tol galvanizado, acero inoxidable y hierro negro.
- Determinar y seleccionar los componentes mecánicos que conformarán la máquina de corte, los materiales adecuados de construcción y la fuerza de corte a manejar.
- Programar la máquina cortadora de manera que realice de manera eficiente su propósito.
- Realizar pruebas que permitan validar el buen desempeño de la máquina cortadora.

Hipótesis

¿La construcción de una máquina automática para el corte de láminas de tol galvanizado, acero inoxidable y hierro negro con espesor de hasta 3 mm aumentará la capacidad de producción de la empresa y mejorará la seguridad en su manejo?

Variables de la Investigación

Variable Independiente

Máquina automática para el corte de láminas de tol galvanizado, acero inoxidable y hierro negro

Variable Dependiente

Aumento de la capacidad de producción de la empresa y mejora de la seguridad en el manejo de la cizalla

Capítulo II

Marco Teórico

La Revolución Industrial

La revolución industrial fue el proceso por el cual la mano de obra humana en actividades como agricultura, ganadería y otras actividades artesanales trasciende a una producción industrial, automatizada y mecanizada.

Los principales cambios generados gracias a la primera revolución industrial se observaron en los campos de la energía con la máquina de vapor, en la industria de transporte con el ferrocarril reemplazando a la movilidad con animales, la industria de la metalurgia con hornos e industria textil con tejedoras.

En la segunda revolución industrial, la tecnología toma un papel más trascendental en las invenciones, empiezan a surgir laboratorios de investigación e industrias más tecnificadas. Una sustitución importante es la del hierro por el acero. Aparece el motor de combustión interna y la producción industrial de energía eléctrica.

Automatización Industrial y Sistemas Automatizados

La automatización de un proceso industrial consiste en incorporar elementos y dispositivos tecnológicos que aseguren un buen control y comportamiento de la planta (García Moreno, 1999).

Existen componentes esenciales para automatizar cualquier proceso:

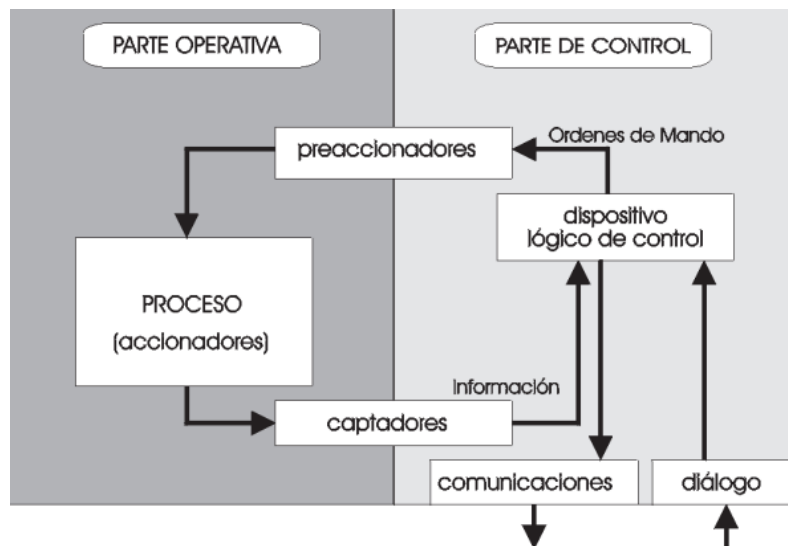
- Transductores y captadores de información
- Pre-accionadores (relés, contactores)
- Accionadores (motores, elementos de desplazamiento)
- Ordenadores o microprocesadores

Dentro de la automatización existen distintos niveles de operación:

- Mecanizado: la máquina realiza la operación, pero el humano opera la máquina y sigue la secuencia, por ejemplo, un torno convencional.
- Automatización parcial: la máquina realiza varias secuencias de operaciones de forma autónoma, pero es el operador quién coloca o retira piezas, por ejemplo, una dobladora.
- Automatización total: el operador únicamente supervisa o realiza mantenimiento preventivo en el equipo, ya que éste funciona totalmente de forma automática.
- Todo sistema automatizado se basa en una estructura de dos partes diferenciadas:
- Parte operativa: formada por dispositivos, artefactos y subprocesos que realizan la fabricación del producto, se centra en la implementación electrónica, mecánica o hidráulica.
- Parte de control: es el dispositivo que coordina y controla las diferentes operaciones que realiza la máquina.

Figura 1

Modelo estructural de un sistema automatizado



Nota. Tomado de *Automatización de procesos industriales* (p.11), por (García Moreno, 1999).

Máquinas Industriales

Las máquinas industriales nacen a partir de la eliminación de la mano directa del hombre al utilizar diversas herramientas en un proceso industrial. La industrialización moderna se basa en la variedad y crecimiento de estas máquinas industriales.

Éstas se han vuelto más eficientes y precisas debido a una mejora constante en la aplicación de la hidráulica, neumática, electrónica y el control numérico computarizado.

Principales características.

- Plataforma cinemática: debe tener los grados de libertad necesarios para llevar el proceso a cabo.
- Rigidez: para soportar las fuerzas generadas por el proceso, así como el peso y fuerza propios de la máquina.
- Precisión: para que los resultados no se salgan del rango de tolerancia establecido.
- Amortiguamiento: para absorber vibraciones.

La maquinaria industrial se puede clasificar bajo ciertos criterios, la función que realizan, la energía que usan, características constructivas o sector en el que trabajan (Fanser, 2023).

Figura 2

Máquinas industriales



Nota. Tomado de *Tipos de máquinas* por (Arquis Decoración, 2016).

Cizalla Hidráulica C3006 CNC

La cizalla guillotina de corte vertical CNC elaborada por (Nargesa, 2022) permite realizar cortes de 6 mm en acero negro y en acero inoxidable hasta un espesor de 4 mm en gran calidad y con menores gastos energéticos; la máquina cortadora consta de 15 pisadores hidráulicos, un motor trifásico de 9,6 kW a 220 V, una bomba hidráulica de 22 lt, puede cortar hasta una longitud de 3055 mm y el recorrido del tope es de 700 mm.

Figura 3

Cizalla Hidráulica C3006 CNC



Nota. Máquina cizalladora automática con control CNC. Tomado de (Nargesa, 2022).

La cizalla C3006 posee un control CNC compacto ESA S625, que garantiza una operación fácil y tiene una base de datos para los materiales en los que puede trabajar, permite configurar por CNC la longitud de la pieza. El control ESA S625 está constituido por los siguientes componentes eléctricos y electrónicos: pantalla táctil de 7", control de 3 ejes, almacenamiento de programas para piezas a cortar, disco de silicio de 128 MB, 2 entradas analógicas, resolución de 12 bits, 16 entradas digitales (24 VDC), 16 salidas digitales (24 VDC, 0.7 A máx) protegidas contra sobrecargas y cortocircuitos; puerto RS232, 1 puerto USB y un puerto Ethernet con el que se puede establecer una conexión remota.

Figura 4*Controlador C3006 CNC*

Nota. Controlador C3006 CNC para cizalladora automática. Tomado de (Nargesa, 2022).

Guillotina Hidráulica Industrial Feysama Modelo LLC

La cortadora automática de (Feysama, 2018), posee un controlador CNC digital táctil ELGO P-40 que calcula las posiciones de ángulo de corte y separación de las cuchillas al seleccionar el tipo de metal que se va a cortar, así como su longitud y espesor. Esto evita mantenimientos y alarga la vida de las cuchillas; además puede almacenar hasta 1000 programas de corte para utilizarlos cuando sea necesario.

Figura 5*Controlador CNC ELGO P-40*

Nota. Controlador CNC ELGO P-40 para guillotina automática. Tomado de (Feysama, 2018).

La máquina también posee otras características técnicas de mucha importancia como: cuchillas inferior y superior de cuatro filos, un tope posterior con husillo de bolas que permite un corte de hasta 950 mm, los soportes frontales pueden ser ajustados hasta los 1500 mm y una rampa posterior para la chapa o plancha de acero cortada; el motor principal de aproximadamente 8 kW produce hasta 9 golpes por minuto cortando una longitud de hasta 3960 mm.

Figura 6

Guillotina Automática Feysama Modelo LLC



Nota. Guillotina automática para chapa y metal. Tomado de (Feysama, 2018).

Cortadoras de Láminas de Acero

Son máquinas para generar cortes en láminas de acero que van desde el calibre 10 hasta el calibre 22 y del calibre 22 hasta el calibre 32 (Morcillo, 2019)

Normalmente las cortadoras o guillotinas de acero constan de siete partes principales:

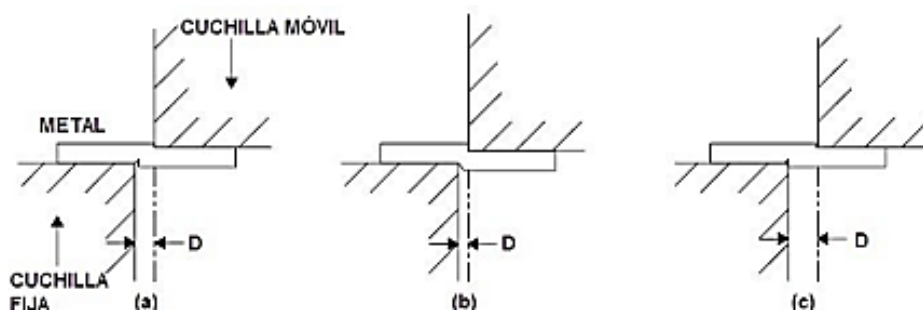
- Mesa: soporte inferior para el material a cortar.
- Patas o bastidores: puntos claves para sujeción de la máquina.
- Cortina: parte baja donde se realiza el corte.
- Clutch o sistema de embrague: mecanismo de inercia y fuerza para el corte.
- Cuchillas o navajas: herramientas de corte.

- Excéntricos: dan la carrera de accionamiento de corte.

El cizallado es un proceso de corte sin virutas, calor o reacciones químicas del metal en el cual se realizan cortes rápidos en forma recta, longitudinal, transversal o diagonal a la placa (Serrano & López, 2015).

Figura 7

Juego de cizallado



Nota. El juego de cizallado es muy importante para la operación, ya que dependiendo de su valor se pueden obtener fallos en las pruebas. Tomado de (Serrano & López, 2015).

Figura 8

Guillotina de corte para láminas de acero



Nota. Tomado de ¿Qué es una guillotina de corte de lámina? por (Morcillo, 2019).

Evaluación de Cortes y Fallos

El resultado del corte se evalúa en función de la forma y precisión dimensional de la pieza, el aspecto del borde de corte y la altura de la rebaba, además de otros factores como la máquina de corte y el tipo de acero que se esté cortando (Iza, 2017).

Un ángulo de corte desproporcionado, cuchillas sin filo, mal ajuste o un plegado excesivo del bastidor y ejes de la cortadora son las causas principales de un fallo de corte, de las cuales se pueden visualizar:

- Formación de curvatura y torsión: ya sea por un ángulo de inclinación grande, tensiones internas de las chapas, velocidad de corte lenta, pieza de trabajo larga.
- Formación de comba: debido a tensiones internas, ángulo de inclinación grande, espacio entre cuchillas pequeño.

Figura 9

Tipos de fallo en corte de acero



Nota. Fallos comunes en el corte de planchas metálicas por (Iza, 2017).

Herramientas de Corte

Para realizar el diseño de una cuchilla o herramienta de corte se debe tener en cuenta varios aspectos:

- Funcionalidad: resistencia al desgaste y tenacidad.
- Requerimientos de uso como: maquinabilidad y geometría de herramienta, depende del material a trabajar.
- Composición química del material: depende de la dureza y del contenido de elementos aleados.

- Tenacidad: grosor del material a cortar.

Materiales para Herramientas de Corte

Existen aceros de alto carbono, alto cromo que muestra gran resistencia al desgaste y buen nivel de endurecimiento, éstos son denominados con letras según la norma AISI (García, 2020).

- W: de temple en agua
- O, A, D: trabajo en frío
- H: trabajo en caliente
- T, M: rápidos
- S: resistente al agua
- L: propósitos especiales

Aceros para Herramientas para Trabajo en Frío

Se caracterizan por su baja deformación y alta dureza, alta templabilidad en bajas temperaturas, son libres de fisuras en zonas complicadas, mantienen su filo de corte y no tiene propiedades de dureza a altas temperaturas por lo cual no se los utilizan en trabajos en caliente.

Figura 10

Acero para herramientas

Tipo AISI	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%V	%Mo	%Co
D2	1,50	0,30	0,25	12,0		0,60	0,80	
D4	2,20	0,30	0,25	12,0		0,50	0,80	
D3	2,20	0,30	0,25	12,0	0,50	0,60		
D5	1,50	0,30	0,50	12,5	0,35	0,50	1,00	2,00
D1	1,00	0,30	0,25	12,0		0,60	0,80	

Nota. Las herramientas destinadas para trabajos en frío constan de una estructura primaria ledeburita que se transforma mediante enrollado en caliente y un proceso completo de recocido. Tomado de (García, 2020).

Diseño de Herramienta de Corte

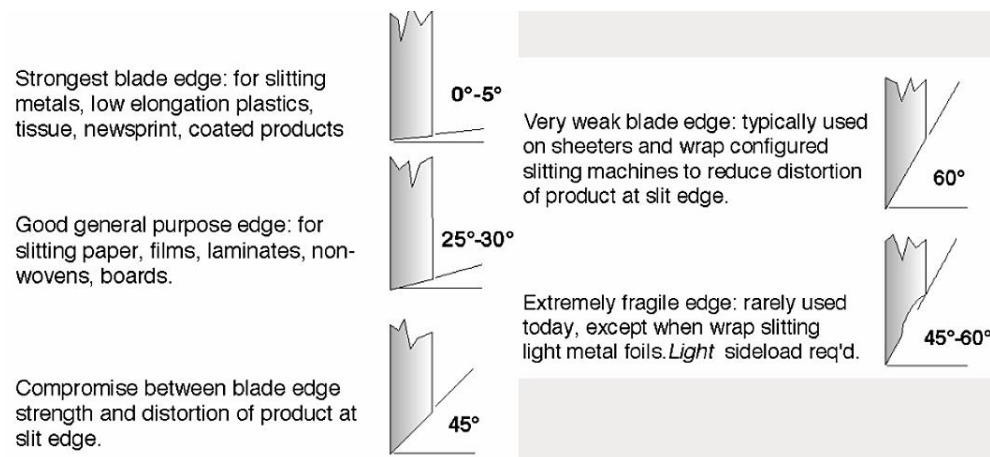
Los criterios que deben tomarse en cuenta para seleccionar el modelo físico de la herramienta de corte son: perfil de cuchilla, ángulo de inclinación, superposición, fuerza lateral, velocidad, geometría y residuos de corte (García, 2020).

La forma de la cuchilla y sus características se visualizan en la Figura 11.

- De 0° a 5° sirve para cortar metales, plásticos de baja elongación, papel tisú, papel periódico y productos revestidos.
- De 25° a 30°: de uso general, para cortar papel, laminados, tableros.
- De 45° a 60°: para metal liviano, se requiere de una carga lateral liviana.
- De 60°: el borde de la hoja es débil, para cortadoras con configuración envolvente.

Figura 11

Acero de herramientas



Nota. Tomado de *Optimizing the Shear Slitting Process* por (Wood, 2007)

Tol Galvanizado

El galvanizado está constituido por aleaciones de zinc – hierro con un ciento por ciento de penetración. Combina la resistencia mecánica del acero y la resistencia a la corrosión generada por el zinc (Gymssa, 2020).

Figura 12

Propiedades mecánicas del acero galvanizado según la norma NTC 4011 – ASTM A653

Calidad Comercial CS*		Fluencia YP Mínima	Resistencia Máxima-Mínima	Elongación Mínima
		MPa	MPa	%
		205/380	----	≥ 20
Calidad Estructural SS	GRADO	Fluencia YP Mínima	Resistencia Máxima-Mínima	Elongación Mínima
		MPa	MPa	%
	33	230	310	20
	37	255	360	18
	40	275	380	16
50	340	450	12	

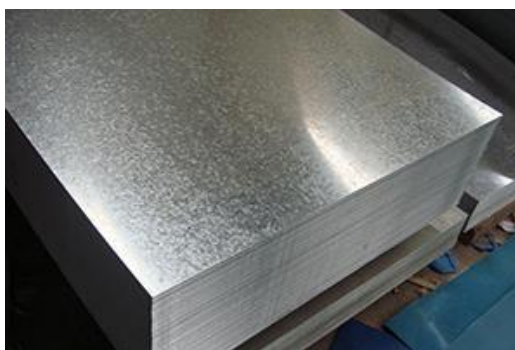
Nota. Tomado de *Ficha técnica acero recubierto por* (Acesco, 2022)

Ventajas

El acero galvanizado tiene una gran duración debido a su resistencia a la corrosión, protege de forma integral piezas tanto de interior como de exterior, cuenta con triple protección (barrera física, protección electroquímica y autocurado) es de fácil inspección y fácil pintado (Gymssa, 2020).

Figura 13

Planchas de tol galvanizado



Nota. Tomado de *Planchas galvanizadas por* (Dismetal, 2015)

Aplicaciones

- En exteriores: perfiles de techo, fachadas, puertas, carpintería, etc.
- En interiores: electrodomésticos, aire acondicionado.

Acero Inoxidable

Es una aleación de hierro compuesto con más del 10.5% de cromo y menos del 1.2% de carbono que proporciona una gran resistencia a la corrosión, siendo esta su principal característica (Euroinox, s.f.)

Figura 14

Planchas de acero inoxidable



Nota. Tomado de *Plancha de acero inoxidable* por (Reiproacero, 2020).

Entre sus propiedades principales están: resistencia al calor, bajo coste del ciclo de vida total, reciclable, fácil fabricación y limpieza.

Figura 15

Propiedades generales de los aceros inoxidables

Tipo	Resistencia a la corrosión	Magnéticos	Endurecibles por tratamiento térmico	Soldabilidad
Martensíticos	Baja	SI	SI	Pobre
Ferríticos	Buena	SI	NO	Limitada
Austeníticos	Excelente	NO	NO	Excelente

Nota. Tomado de *Clasificación de los aceros inoxidables* por (Bonnet, s.f.)

Ventajas

- Resistencia a la corrosión en condiciones atmosféricas como medios ácidos o de altas temperaturas.

- Resistencia a la baja y alta temperatura.
- Facilidad de fabricación y maleabilidad al ser cortados, soldados y mecanizados.
- Resistencia mecánica.
- Propiedades higiénicas al ser un material de fácil limpieza por lo cual es usado en hospitales, cocinas, industria alimenticia y farmacéutica.

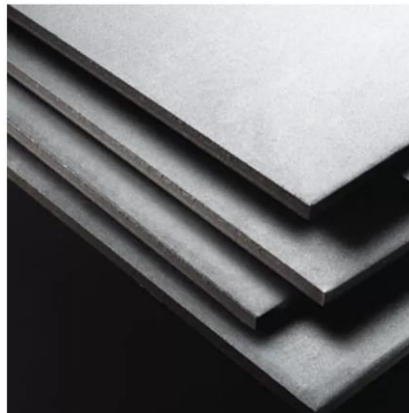
Hierro Negro

Las láminas de hierro negro son productos de acero, planos, laminados en caliente que se obtienen del corte transversal de bobinas negras laminadas en caliente obtenidas a partir de planchones de acero (ProAgrin CA, s.f.).

En el mercado se encuentran espesores entre 2 mm y 12 mm, con anchos entre 1 m y 1.2 m y largos entre 2 m y 2.40 m.

Figura 16

Láminas de hierro negro



Nota. Tomado de *Láminas* por (Maploca, 2020).

Propiedades

- Dureza y uniformidad.
- Resistente a la tensión y gran capacidad de carga.
- Facilidad de instalación y flexibilidad.
- Resistencia superior a la oxidación y corrosión.

Capítulo III

Diseño y Selección de Elementos

En el presente capítulo se realizará el análisis, selección y diseño de componentes mecánicos, electrónicos y software que serán necesarios para la implementación de la cortadora automática de planchas de acero para la empresa INDUCTESA, al final de este capítulo se determinará qué materiales serán usados para su construcción.

Desarrollo de la Matriz QFD de la Cortadora

Es una herramienta que permite recoger la voz del cliente durante la etapa de diseño de un producto. El presente proyecto busca resolver el problema de la baja productividad y la inseguridad con la que cuenta la empresa INDUCTESA al no contar con una cortadora automática para realizar cortes rápidos y seguros en láminas de tol galvanizado, acero inoxidable y hierro negro.

Definición de Necesidades

Las necesidades consisten en aquello que el usuario o cliente requiere que tenga un bien, servicio o producto. Para ello se elabora una escala de importancia del 1 al 5, donde 1 es poco importante y 5 muy importante.

Tabla 1

Necesidad del usuario

No	Necesidad	Importancia
1	Reducción de tiempo	5
2	Facilidad de operación	4
3	Repuestos accesibles dentro del mercado	3
4	Cuidado de la integridad física del personal	5
5	Menor cantidad de desperdicio	4
6	Capaz de cortar hasta 3mm	5
7	Panel amigable con el operario	4

No	Necesidad	Importancia
8	Económico	3
9	Trabajo continuo	4
10	Fácil mantenimiento	4

Esto será de utilidad no solo para el área de producción sino también para el área de calidad, de distribución del material y al área administrativa ya que ayudará a la economía de toda la empresa.

Definición de Especificaciones Técnicas

Hace referencia a los requerimientos técnicos con los que debe contar un producto, proceso, servicio o sistema. La Tabla 2 muestra las especificaciones técnicas que se deben tener en cuenta al diseñar la cizalla.

Tabla 2

Especificaciones técnicas del usuario

No	Especificaciones técnicas
1	Cumplimiento de la Normativa de Seguridad
2	Bajo costo de la manufactura
3	Funcionamiento continuo
4	Robustez industrial
5	Precisión
6	Ergonómico
7	Interfaz sencilla
8	Componentes normalizados
9	Facilidad de operación
10	Sensores bien calibrados

Nota. Las especificaciones técnicas se tomaron a partir de las características que requieren los componentes para trabajar en conjunto adecuadamente

Una vez que se definieron las necesidades y las especificaciones técnicas, se procede con la elaboración de la matriz QFD, se han considerado los valores de la escala japonesa de relación que se aprecia en la Tabla 3, describen el tipo de relación existente.

Tabla 3

Relación entre los requerimientos y las especificaciones técnicas

Tipos de relación necesidades cliente y requerimientos técnicos	Simbología	Calificación
Ninguna relación		0
Relación débil	Δ	1
Relación media	O	3
Relación fuerte	•	9

La matriz de correlación muestra las ponderaciones de las siguientes correlaciones: fuerte positivas, positiva, negativa y fuerte negativa.

Tabla 4

Matriz de correlación

Matriz de correlación	
Fuerte positiva	++
Positiva	+
Negativa	-
Fuerte negativa	--

Nota. Indica si las especificaciones de diseño se ayudan u obstaculizan entre sí.

Al realizar la matriz QFD se consigue que las ideas del cliente y el diseñador apunten en la misma dirección y que la cizalla cumpla las expectativas según de la empresa INDUTECSA en función de su importancia y que no se desperdicien los recursos del auspiciante.

Figura 17
Matriz QFD

		Métricas	Cumplimiento de la Normativa de Seguridad	Costo de la manufactura	Funcionamiento continuo	Robustez industrial	Precisión	Ergonómico	Interfaz sencilla	Componentes normalizados	Facilidad de operación	Sensores bien calibrados	
Núm.	Necesidades	Núm. Imp.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Reducción de tiempo	5	Δ	○	●	●	Δ	Δ	○	Δ	●	Δ	
2	Fácil de usar	4	○	○	●	○	Δ	●	○		●		
3	Repuestos accesibles dentro del mercado	3	○	●	○	○	●	●		●	Δ	○	
4	Cuidado de la integridad física del personal	5	●		Δ	○	●			○		○	
5	Menor cantidad de desperdicios	4	○	Δ	Δ	○	●	Δ	Δ	○	Δ	●	
6	Capaz de cortar láminas de hasta 3mm	5	○	○	Δ	●	●	Δ	Δ	●		●	
7	Panel amigable con el usuario	4	●		○	○	Δ	○	●			Δ	
8	Económico	3	○	●	○	●	○	○		○	○	○	
9	Trabajo continuo	4	○	○	●	●	●	○	○	○	○	●	
10	Facil Mantenimiento	4	●	○	Δ	○	○	○	○	○	○	○	
Ponderación Absoluta			191	124	165	225	223	146	84	137	145	171	1611
Ponderación Relativa			11,86	7,697	10,24	13,97	13,84	9,063	5,214	8,504	9,001	10,61	100

Tabla 5
Resultado matriz QFD

Característica técnica	Importancia
Robustez Industrial	1
Precisión	2
Cumplimiento de la normativa de seguridad	3
Sensores bien calibrados	4
Funcionamiento continuo	5
Ergonómico	6
Facilidad de operación	7
Componentes normalizados	8
Costo de la manufactura	9
Interfaz sencilla	10

Nota. Las características técnicas se ordenan desde 1, que es la más importante hasta 10, para la menos importante.

Análisis de la Matriz QFD

De las especificaciones antes mencionadas las más importantes son que la cortadora cuente con robustez industrial, es decir, con la fuerza de acción suficiente para cumplir a cabalidad los objetivos establecidos en cuanto al corte del espesor de las láminas, además de proporcionar la precisión requerida ya que la guía implementada debe ser precisa al momento de mover la plancha para realizar el corte con precisión y evitar desperdicio de material. Otra de las especificaciones es que la cortadora cuente con la seguridad necesaria, para esto se requiere que los sensores y la programación estén correctamente implementados, esto proporciona tranquilidad al operario al momento de utilizar la cizalla.

Durante el diseño las especificaciones deben ser tomadas en cuenta y posteriormente implementadas para cumplir con los requerimientos establecidos.

Diseño de Elementos Mecánicos de la Cortadora

Dado que la empresa INDUCTESA ha colaborado con el bastidor de la máquina cortadora como se muestra en la Figura 18, se plantea realizar los diseños del eje y los engranajes encargados de desplazar el calibre, así como poleas, bandas y selección de motores necesarios para el desplazamiento y movimiento autónomo de la cortadora.

Figura 18

Esqueleto máquina cortadora entregado por la empresa



Cálculos para el Diseño

En función de los trabajos que se realizan en el taller se han contemplado los materiales que se requiere cortar, de sus propiedades mecánicas depende el diseño de la máquina. Debe tener la potencia necesaria para cortar láminas de tol galvanizado, acero inoxidable y hierro negro.

El hierro negro es el hierro que no ha sido tratado, se diferencian por su porcentaje de carbono y su dureza, también se le suele llamar acero al carbón, en la empresa se usan varios tipos, pero el que presenta más dureza es el acero estructural ASTM A36.

Las propiedades mecánicas de las láminas de tol galvanizado dependen de las características del acero que se emplea y el método usado para recubrirlo con zinc, se diferencian por su calidad según la norma NTC 4011 - ASTM A653, la calidad estructural SS presenta las mejores propiedades mecánicas y dureza.

Por último, el acero inoxidable que se requiere cortar es el AISI 430 recocido.

En una cizalla con cuchilla inclinada la fuerza que se debe aplicar para ejecutar el corte viene dada por:

$$F = K * t * s' * \tau$$

$$s' = \frac{t}{\tan(\delta)}$$

Donde:

K : Coeficiente de penetración

t : Espesor de la plancha en milímetros

δ : Ángulo entre cuchillas

τ : Resistencia al cizallamiento

La resistencia al corte y el coeficiente de penetración se obtienen de ensayos experimentales, de no encontrar la resistencia al corte de un material se puede usar la resistencia máxima del material multiplicado por un factor de corrección k .

$$k = 0.78 + 0.0044 * t$$

Donde:

t : Espesor de la lámina

El coeficiente de penetración puede hallarse a partir de la resistencia a la tracción, para estructuras de grano suave con baja resistencia a la tracción, hasta 350 MPa ($K = 0.8 - 0.9$), para estructuras más duras, hasta 700 MPa ($k = 0.3 - 0.5$), cabe aclarar que estos valores dependen también del contenido de carbono, espesor de la lámina, desgaste de la herramienta, entre otros.

El área de corte depende de la inclinación de la cuchilla que a su vez está condicionado por el portacuchillas, a continuación, se muestran algunas medidas de la máquina necesarias para los cálculos.

Figura 19

Dimensiones de la cizalla

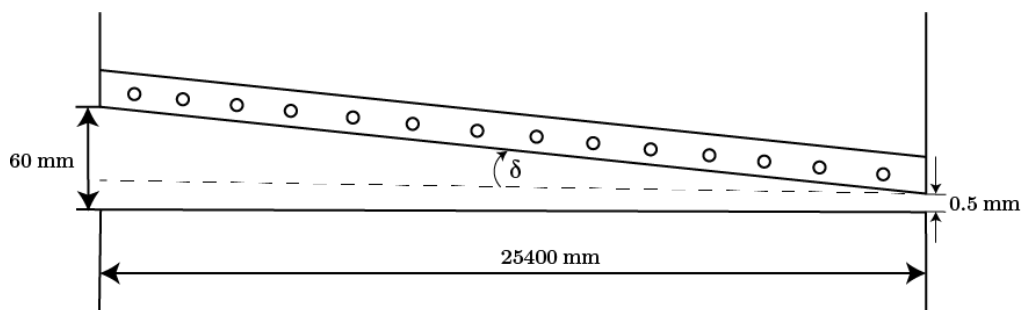
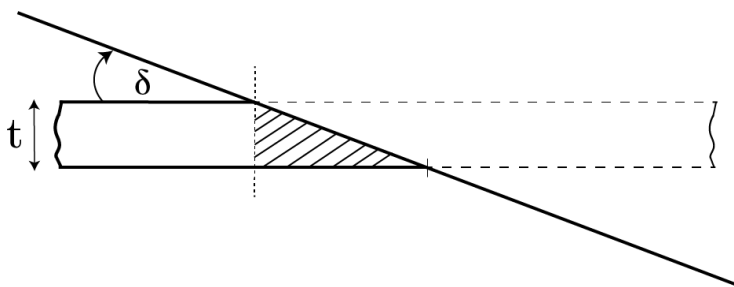


Figura 20

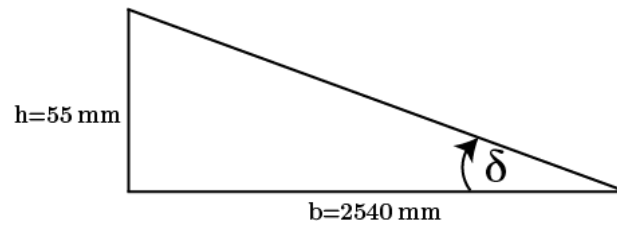
Área de corte



El ángulo δ se encuentra con las dimensiones de la cuchilla y el portacuchillas

Figura 21

Dimensiones de la cuchilla inferior



$$\tan(\delta) = \frac{h}{b}$$

$$\delta = \text{atan}\left(\frac{h}{b}\right) = 1.24^\circ$$

$$s' = \frac{t}{\tan(\delta)} = \frac{3\text{mm}}{\tan(1.24^\circ)}$$

$$s' = 138.545 \text{ mm}$$

No se tienen los valores de resistencia al cizallamiento de ninguno de los 3 materiales a cortar, para los cálculos se va a tomar en cuenta el factor de corrección y la resistencia máxima (S_u) para obtener el valor crítico.

- Tol galvanizado tipo SS: 450 MPa
- Acero inoxidable AISI 430 recocido: 517 Mpa
- Hierro Negro ASTM A36: 400 MPa

Cálculo de factor de corrección:

$$k = 0.78 + 0.0044 * 3 \text{ mm}$$

$$k = 0.8$$

Cálculo de fuerza cortante:

$$F = K * t * s' * k * S_u$$

$$F = 0.5 * 3mm * 138.545mm * 0.8 * 517 \frac{N}{mm^2}$$

$$F = 85953.318 N$$

Tomando un factor de seguridad por corrosión de 1.2

$$F = 103143.98 N$$

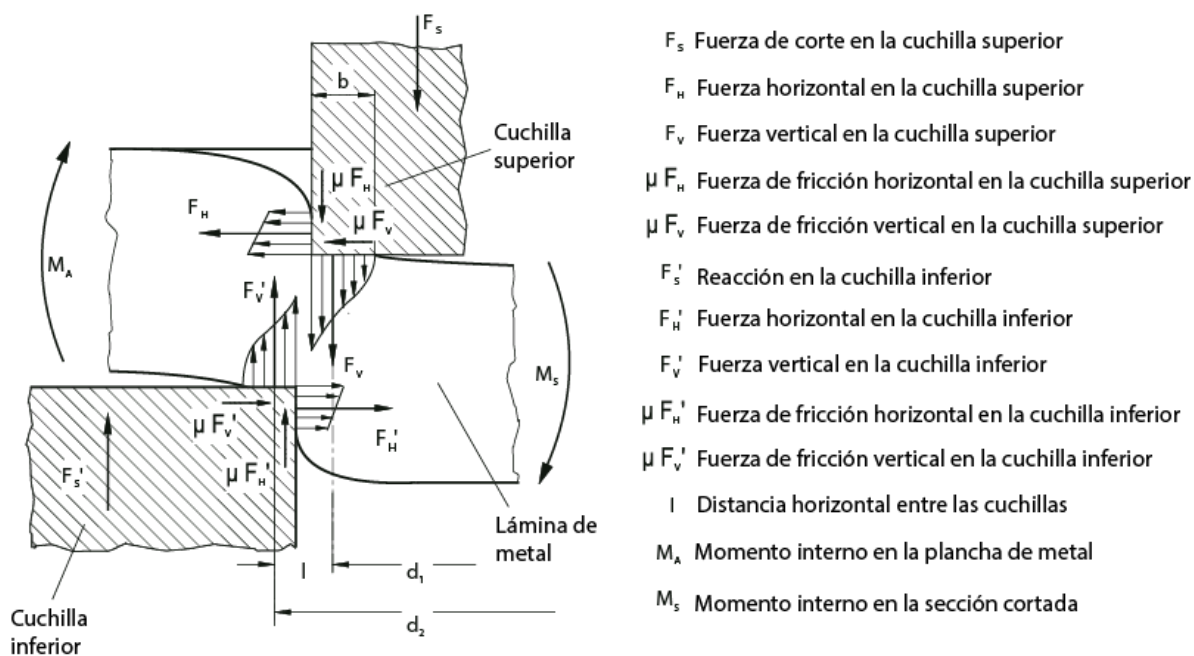
Durante el cizallamiento la fuerza de corte se descompone debido a los esfuerzos de compresión radial que se producen por la interacción entre la cuchilla y la lámina, se descompone por la fuerza de fricción que dependen de la calidad de la superficie, la lubricación y cualquier otro elemento que pueda variar la fricción entre la cuchilla y el material a cortar. Los esfuerzos radiales dependen de las dimensiones de los materiales y la forma de la herramienta, las fuerzas de retracción pueden asumir valores entre el 1 al 40% de la fuerza de corte.

$$F = F_V = F_C$$

$$F_H = \frac{F_C}{4}$$

Figura 22

Componentes de la fuerza de corte en el proceso de cizallamiento

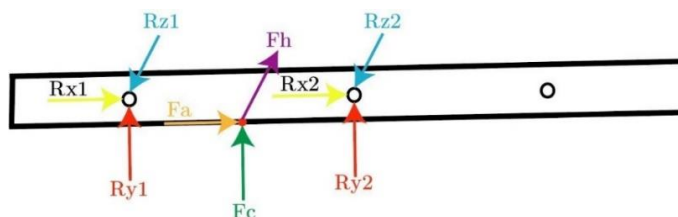


$$F_H = \frac{F_c}{4} = 25786 \text{ N}$$

Al tratarse de una cuchilla inclinada la fuerza de corte se puede considerar como una fuerza puntual y se realizan los cálculos en cada sección de la cuchilla que estará delimitada por sus respectivos apoyos.

Figura 23

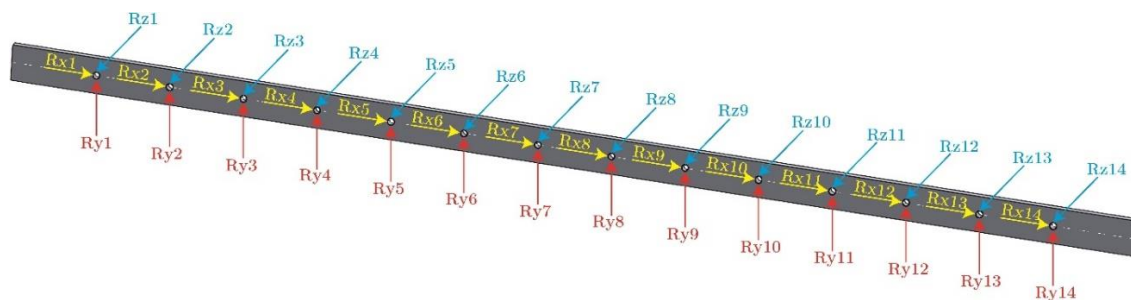
Fuerzas de corte y reacciones para el punto crítico del tramo 1-2 de la cuchilla



Este proceso se realiza para todos los tramos de la cuchilla hasta hallar el punto crítico, es decir, el punto en el que se produce el máximo momento flector.

Figura 24

Reacciones en cada tramo según la ubicación de los 14 pernos



Para hallar las reacciones en cada perno se usa el método de los 3 momentos para el análisis de problemas de flexión hiperestática que simplifica el proceso de cálculo de momentos flectores y es aplicable ya que la cuchilla no es más que una viga continua. Los momentos en los apoyos fijos de los extremos de la cuchilla son cero. Para encontrar las reacciones y la fuerza de corte en el eje por el método de los 3 momentos lo primero es calcular el grado de indeterminación ($G.I.$), se tienen un total de 14 apoyos fijos, en cada apoyo se producen dos reacciones dependiendo considerando los planos XY y XZ de manera simultánea.

$$G.I. := R - 3$$

Donde:

R : Número de Reacciones en los apoyos

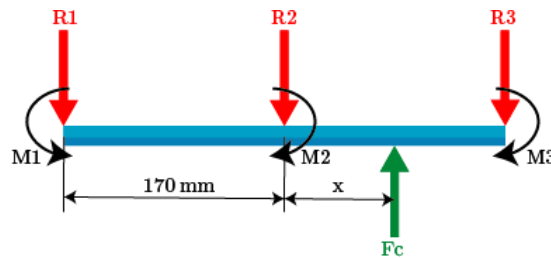
$$R = 28$$

$$G.I. = R - 3 = 25$$

El resultado muestra que la viga es 25 veces hiperestática. Existe una separación de 17 centímetros entre perno y perno, además, del inicio de la cuchilla al primer perno existe una separación de 16.5 cm, que es la misma que existe entre el último perno y el final de la cuchilla. Para el plano XY el momento lo produce la fuerza F_c . Aplicando el método de los 3 momentos en los dos primeros tramos:

Figura 25

Tramos 1-2 y 2-3



Ecuaciones para el método de los 3 momentos:

$$M_1 L_1 + 2M_2(L_1 + L_2) + M_3 L_2 = -\frac{6A_1 a_1}{L_1} - \frac{6A_2 b_2}{L_2}$$

$$M_1 L_1 + 2M_2(L_1 + L_2) + M_3 L_2 = -6 \alpha_2 - 6 \alpha_1$$

Donde:

L_1, L_2 : Longitud de los tramos 1 y 2

M_1, M_2, M_3 : Momentos flectores en los apoyos 1, 2 y 3

A_1, A_2 : Área del diagrama de momento flector de las cargas de los tramos 1 y 2

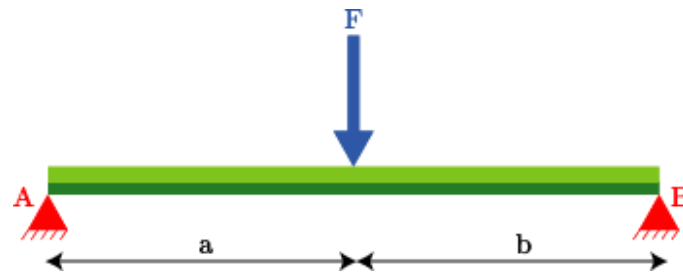
a_1 : Distancia del centro del diagrama de momento flector del tramo 1 a R_2

b_2 : Distancia del centro del diagrama de momento flector del tramo 2 a R_3

Los valores de α se obtienen de tablas y dependen de cada caso, el caso correspondiente se muestra en la siguiente imagen.

Figura 26

Método de los 3 momentos para una carga puntual



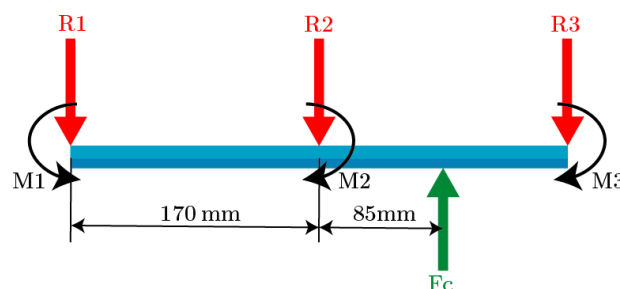
$$\alpha_A = \frac{F * a * b}{6L} (b + L)$$

$$\alpha_B = \frac{F * a * b}{6L} (a + L)$$

La fuerza de corte además de ser puntual se desplaza a lo largo de la cuchilla durante el cizallamiento, dependiendo del punto en el que se encuentre la fuerza de corte varía el momento flector que se produce en un determinado punto de la cuchilla, para hallar el momento flector máximo hay que realizar los cálculos ubicando la fuerza de corte en distintos puntos de la cuchilla, este procedimiento es extenso por lo que se recurre a simulaciones y al uso de Software para cálculo de fuerzas y momentos en vigas, para validar los resultados que arroja el programa DSNWinbeam se realiza el cálculo manualmente ubicando la fuerza de corte en el centro del segundo tramo.

Figura 27

Diagrama de cuerpo libre tramos 1-2 y 2-3



El momento es cero en los apoyos extremos de la cuchilla $R1$ y $R14$

$$M_1 = 0$$

$$L_1 = 170\text{mm}$$

$$L_2 = 170\text{mm}$$

$$0L_1 + 2M_2(0.170\text{ m} + 0.17\text{ m}) + M_3(0.17\text{ m}) = -6 \frac{F * a * b}{6L} (a + L) - 0$$

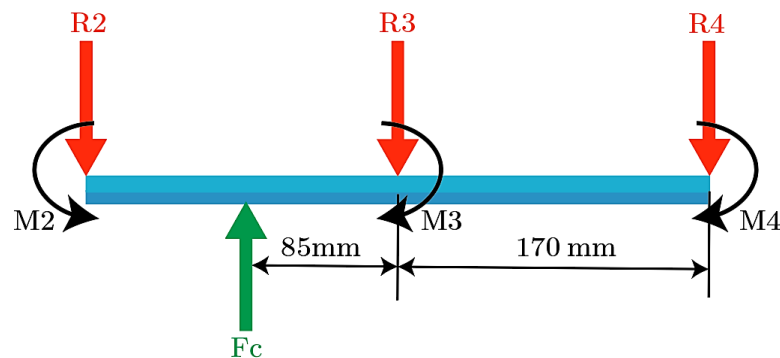
$$0 + 0.68M_2\text{ m} + 0.17M_3\text{ m} = -6 \frac{103143.98\text{ N} * (0.085\text{ m})(0.085\text{ m})}{6 * 0.17\text{ m}} (0.085\text{ m} + 0.17\text{ m})$$

$$0.68M_2\text{ m} + 0.17 M_3\text{ m} = -1117.82\text{ Nm}^2$$

Aplicando el método de los 3 momentos a los tramos 2-3 y 3-4:

Figura 28

Diagrama de cuerpo libre tramos 2-3 y 3-4



$$L_2 = 170\text{mm}$$

$$L_3 = 170\text{mm}$$

$$M_2L_2 + 2M_3(0.170\text{ m} + 0.17\text{ m}) + M_4(0.17\text{ m}) = -0 - 6 \frac{F * a * b}{6L} (b + L)$$

$$0.17M_2\text{ m} + 0.68M_3\text{ m} + 0.17M_4\text{ m} = 0 - 6 \frac{103143.98\text{ N} * (0.085\text{ m})(0.085\text{ m})}{6 * 0.17\text{ m}} (0.085\text{ m} + 0.17\text{ m})$$

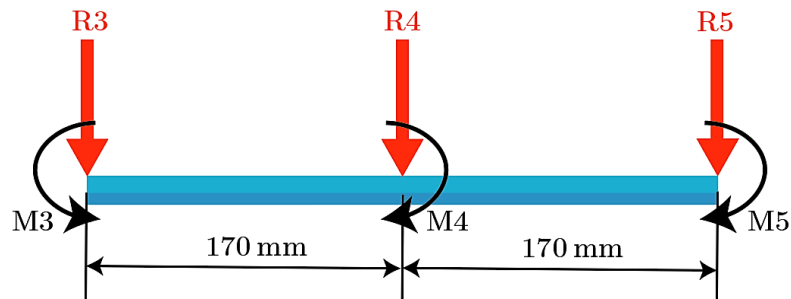
$$0.17M_2\text{ m} + 0.68M_3\text{ m} + 0.17 M_4\text{ m} = -1117.82\text{ Nm}^2$$

La fuerza de corte es una fuerza puntual por lo que en el resto de los tramos no actúa ninguna fuerza.

Aplicando el método de los 3 momentos a los tramos 3-4 y 4-5:

Figura 29

Diagrama de cuerpo libre tramos 2-3 y 3-4



$$0.17 M_3 m + 2M_4(0.17 m + 0.17 m) + 0.17M_5 m = -6 \frac{0 \cdot a \cdot b}{6L} (b + L) - 0$$

$$0.17M_3 m + 0.68M_4 m + 0.17M_5 m = 0$$

Este mismo patrón se repite hasta el penúltimo tramo:

Tramo 3-4 y 4-5

$$0.17M_3 m + 0.68M_4 m + 0.17M_5 m = 0$$

Tramo 4-5 y 5-6

$$0.17M_4 m + 0.68M_5 m + 0.17M_6 m = 0$$

Tramo 5-6 y 6-7

$$0.17M_5 m + 0.68M_6 m + 0.17M_7 m = 0$$

Tramo 6-7 y 7-8

$$0.17M_6 m + 0.68M_7 m + 0.17M_8 m = 0$$

Tramo 7-8 y 8-9

$$0.17M_7 m + 0.68M_8 m + 0.17M_9 m = 0$$

Tramo 8-9 y 9-10

$$0.17M_8 m + 0.68M_9 m + 0.17M_{10} m = 0$$

Tramo 9-10 y 10-11

$$0.17M_9 m + 0.68M_{10} m + 0.17M_{11} m = 0$$

Tramo 10-11 y 11-12

$$0.17M_{10} m + 0.68M_{11} m + 0.17M_{12} m = 0$$

Tramo 11-12 y 12-13

$$0.17M_{11} m + 0.68M_{12} m + 0.17M_{13} m = 0$$

El momento en el último apoyo es cero:

$$M_{14} = 0$$

Tramo 12-13 y 13-14:

$$0.17M_{12} m + 0.68M_{13} m + 0.17 * 0 m = 0$$

$$0.17M_{12} m + 0.68M_{13} m = 0$$

Resolviendo el sistema de 14 ecuaciones:

$$M_{13} = -0.25M_{12}$$

$$0.17M_{11} + 0.68M_{12} + 0.17(-0.25M_{12}) = 0$$

$$M_{12} = -0.26M_{11}$$

$$0.17M_{10} + 0.68M_{11} + 0.17(-0.266M_{11}) = 0$$

$$M_{11} = -0.26M_{10}$$

$$0.17M_9 + 0.68M_{10} + 0.17(-0.26M_{10}) = 0$$

$$M_{10} = -0.268M_9$$

$$0.17M_8 + 0.68M_9 + 0.17(-0.26M_9) = 0$$

$$M_9 = -0.26M_8$$

$$0.17M_7 + 0.68M_8 + 0.17(-0.26M_8) = 0$$

$$M_8 = -0.26M_7$$

$$0.17M_6 + 0.68M_7 + 0.17(-0.26M_7) = 0$$

$$M_7 = -0.26M_6$$

$$0.17M_5 + 0.68M_6 + 0.17(-0.26M_6) = 0$$

$$M_6 = -0.26M_5$$

$$0.17M_4 + 0.68M_5 + 0.17(-0.26M_5) = 0$$

$$M_5 = -0.26M_4$$

$$0.17M_3 + 0.68M_4 + 0.17(-0.26M_4) = 0$$

$$M_4 = -0.26M_3$$

$$0.17M_2 + 0.68M_3 + 0.17(-0.26M_3) = -1.11 \text{ kNm}$$

$$M_3 = -1.76 \text{ kNm} - 0.26M_2$$

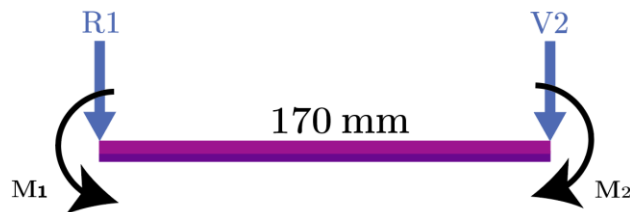
$$0.68M_2 + 0.17(-1.76 \text{ kNm} - 0.26M_2) = -1.11 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 1.27 \text{ kNm}$$

Con este dato se puede calcular las reacciones en el primer tramo y comparar el resultado con la simulación.

Figura 30

Diagrama de cuerpo libre tramo 1



$$\curvearrowright + \sum M_1 = 0$$

$$-V_2(0.17 \text{ m}) - 1.275 \text{ kNm} = 0$$

$$V_2 = -\frac{1.275 \text{ kNm}}{0.17 \text{ m}}$$

$$V_2 = -7.5 \text{ kN}$$

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$-R_1 - V_2 = 0$$

$$R_1 = -V_2$$

$$R_1 = 7.5 \text{ kN}$$

Como se observa a continuación la reacción obtenida con el Software es igual a la reacción calculada cuando la fuerza es aplicada en el centro del segundo tramo.

Figura 31

Fuerza de corte aplicada en el centro del segundo tramo

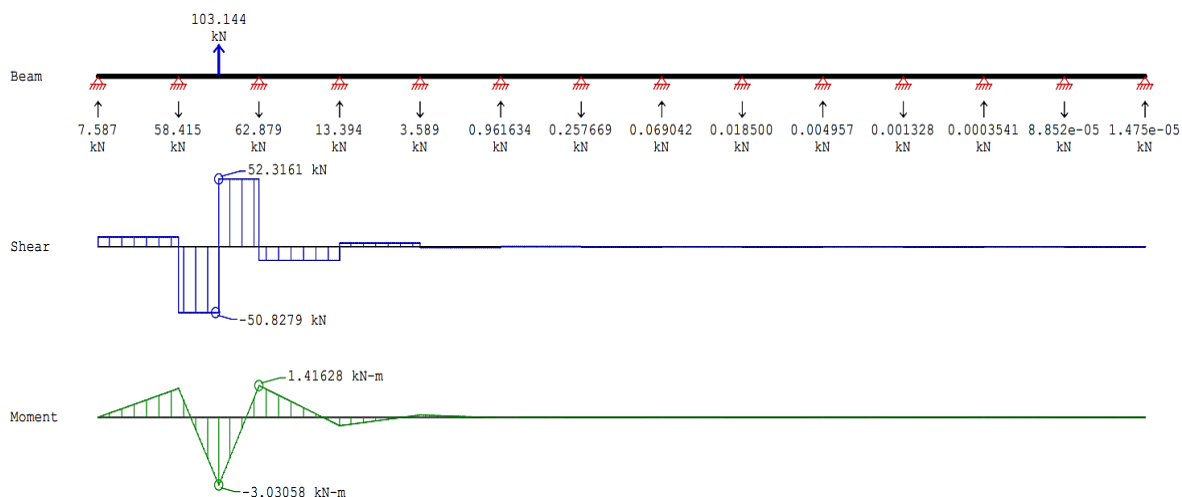


Figura 32

Resultados arrojados por el software DSNWinbeam primera simulación

Analysis Data:

Beam Length = 2.21 m
523 Nodes, 522 Beam Elements, 1046 Degrees of Freedom

Reactions:

X m	Vert kN	Rot kN-m
0	7.587	
0.170000	-58.415	
0.340000	-62.879	
0.510000	13.394	
0.680000	-3.589	
0.850000	0.961634	
1.020	-0.257669	
1.190	0.069042	
1.360	-0.018500	
1.530	0.004957	
1.700	-0.001328	
1.870	0.0003541	
2.040	-8.852e-05	
2.210	1.475e-05	

Equilibrium:

	Force	Reaction	Error
Vert	103.144	-103.144	-0.000 kN
Rot	-26.302	26.302	-0.000 kN-m

Min & Max values:

Min Shear	=	-50.828 kN	at	0.248549 m
Max Shear	=	52.316 kN	at	0.255000 m
Min Moment	=	-3.031 kN-m	at	0.255000 m
Max Moment	=	1.416 kN-m	at	0.340000 m

Lo siguiente es encontrar en qué punto la fuerza de corte produce el máximo momento flector, esto podría ocurrir en cualquier punto de la cuchilla, pero los puntos más probables son el centro y los extremos.

Figura 33

Fuerza de corte aplicada en el centro de la cuchilla

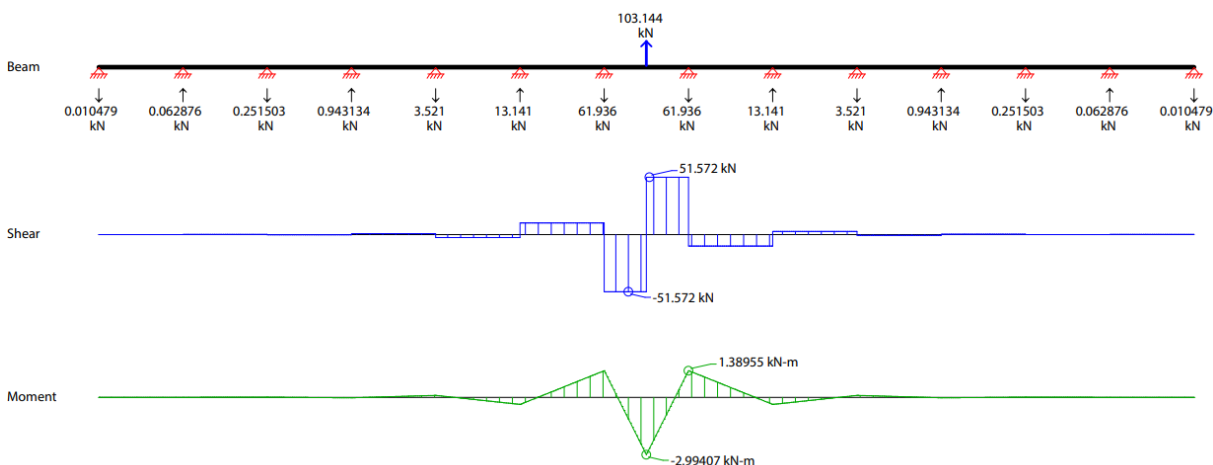


Figura 34

Resultados arrojados por el software DSNWinbeam segunda simulación

Analysis Data:

Beam Length = 2.21 m
523 Nodes, 522 Beam Elements, 1046 Degrees of Freedom

Reactions:

X	Vert	Rot			
m	kN	kN-m			
0	-0.010479				
0.170000	0.062876				
0.340000	-0.251503				
0.510000	0.943134				
0.680000	-3.521				
0.850000	13.141				
1.020	-61.936				
1.190	-61.936				
1.360	13.141				
1.530	-3.521				
1.700	0.943134				
1.870	-0.251503				
2.040	0.062876				
2.210	-0.010479				
Equilibrium:					
			Force	Reaction	Error
			Vert 103.144	-103.144	-0.000 kN
			Rot -113.974	113.974	0.000 kN-m
Min & Max values:					
			Min Shear	= -51.572 kN	at 1.068862 m
			Max Shear	= 51.572 kN	at 1.111451 m
			Min Moment	= -2.994 kN-m	at 1.105000 m
			Max Moment	= 1.390 kN-m	at 1.190000 m

Tras varias pruebas se encontró que el momento flector máximo se produce cuando la fuerza de corte se ubica en el primer o último tramo ligeramente desviado del punto medio del tramo correspondiente en la dirección del apoyo más alejado del centro de la cuchilla.

Figura 35

Fuerza de corte aplicada en el punto crítico

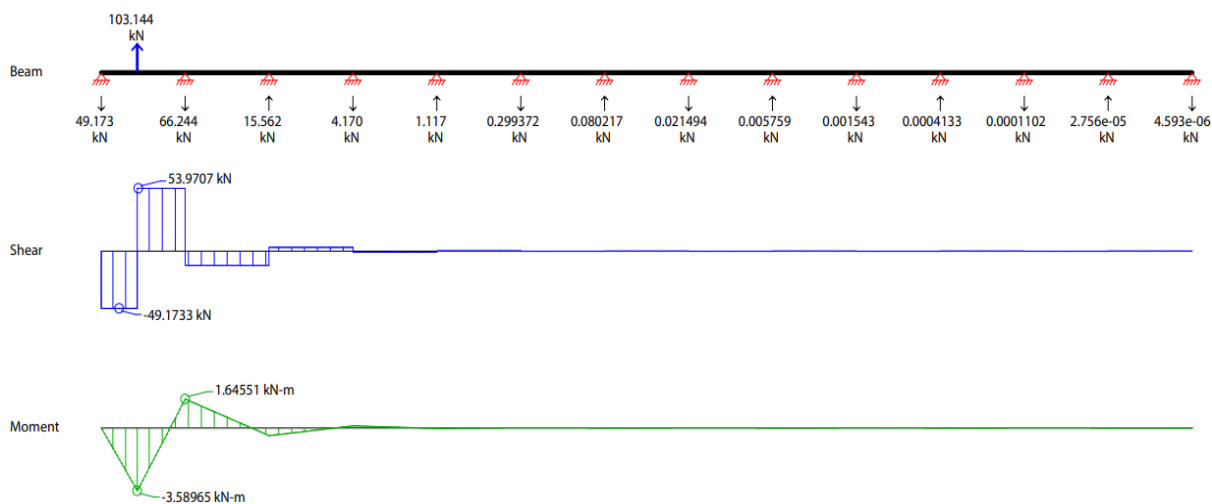


Figura 36

Resultados arrojados por el software DSNWinbeam tercera simulación

Analysis Data:

Beam Length = 2.21 m
522 Nodes, 521 Beam Elements, 1044 Degrees of Freedom

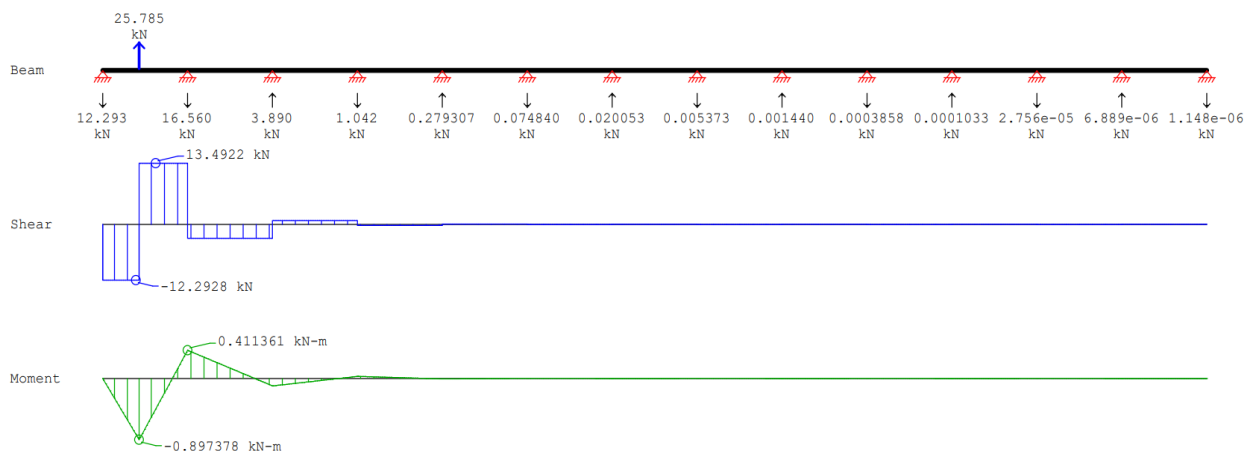
Reactions:

X	Vert	Rot			
m	kN	kN-m			
0	-49.173				
0.170000	-66.244				
0.340000	15.562				
0.510000	-4.170				
0.680000	1.117				
0.850000	-0.299372				
1.020	0.080217				
1.190	-0.021494				
1.360	0.005759				
1.530	-0.001543				
1.700	0.0004133				
1.870	-0.0001102				
2.040	2.756e-05				
2.210	-4.593e-06				
			Equilibrium:		
			Force	Reaction	Error
		Vert	103.144	-103.144	-0.000 kN
		Rot	-7.530	7.530	0.000 kN-m
			Min & Max values:		
		Min Shear	=	-49.173 kN	at 0.0365 m
		Max Shear	=	53.971 kN	at 0.075210 m
		Min Moment	=	-3.590 kN-m	at 0.073000 m
		Max Moment	=	1.646 kN-m	at 0.170000 m

La fuerza $F_h = 25786 \text{ N}$ produce un momento flector en el plano XZ necesario para calcular el momento flector total.

Figura 37

Fuerza horizontal aplicada en el punto crítico



Min & Max values:

Min Shear	=	-12.293 kN	at	0.066504 m
Max Shear	=	13.492 kN	at	0.106070 m
Min Moment	=	-0.897378 kN-m	at	0.073000 m
Max Moment	=	0.411361 kN-m	at	0.170000 m

$$\|M\| = \sqrt{(M_{xy})^2 + (M_{xz})^2}$$

$$\|M\| = \sqrt{(3.59)^2 + (-0.897379)^2} \text{ kNm}$$

$$\|M\| = 3.7 \text{ kNm}$$

Para seleccionar la cuchilla se tomó como referencia la norma ISO 4957 que especifica los requisitos de los aceros para herramientas forjadas, según esta norma se ha seleccionado una cuchilla de acero AISI D3, de la marca BÖHLER el modelo K100, por su alta resistencia al desgaste es ideal herramientas de corte.

El acero AISI D3 es una opción popular para aplicaciones de herramientas donde se requiere alta resistencia al desgaste ($S_y = 1950 \text{ MPa}$). De acuerdo con las especificaciones AISC para cargas de impacto o choque el esfuerzo permisible para materiales dúctiles es:

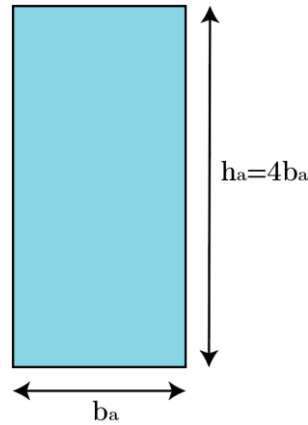
$$\sigma_d = \frac{S_y}{12}$$

$$\sigma_d = \frac{1950 \text{ MPa}}{12} = 162.5 \text{ MPa}$$

Para facilitar los cálculos se realiza la siguiente suposición:

Figura 38

Dimensiones sección transversal cuchilla



$$\sigma_a = \frac{Mc}{I}$$

Para una sección transversal rectangular:

$$\sigma_a = \frac{M * 2b_a}{b * \frac{(4b_a)^3}{12}}$$

$$\sigma_a = \frac{3M}{8(b_a^3)}$$

$$162.5 \text{ MPa} = \frac{3(3.7 \text{ kNm})}{8(b_a^3)}$$

$$b_a = 20.44 \times 10^{-3} \text{ m} = 20.44 \text{ mm}$$

El valor comercial para la base más próximo es $b = 22 \text{ mm}$, mientras que para la altura se selecciona un valor de $h = 80 \text{ mm}$, ignorando la relación entre la base y la altura previamente establecida.

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

Módulo de sección para rectángulos

$$S = \frac{b * h^2}{6}$$

$$\sigma = \frac{3.7 \text{ kNm}}{\frac{0.022 \text{ m} * (0.08 \text{ m})^2}{6}}$$

$$\sigma = 157.67 \text{ MPa}$$

$$\therefore \sigma_d \geq \sigma$$

El programa permite obtener las gráficas de rotación y deflexión por medio del módulo de elasticidad y la inercia de la cuchilla.

Figura 39

Sección transversal de la cuchilla

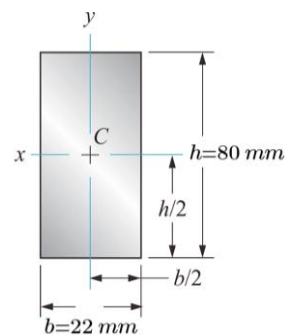


Figura 40

Propiedades acero K100 de la marca BOHLER

Propiedades físicas

Temperatura (°C)	20
Densidad (kg/dm ³)	7.7
Conductividad térmica (W/(m.K))	20
Calor específico (J/(kg.K))	460
Resistencia eléctrica específica (Ohm.mm ² /m)	0.65
Módulo de elasticidad (10 ³ N/mm ²)	210

Inercia:

$$I = \frac{b * h^3}{12} = \frac{2.2 \text{ cm} * (8 \text{ cm})^3}{12}$$

$$I = 93.86 \text{ cm}^4$$

Figura 41

Curva de pendiente y deflexión en el punto crítico



Figura 42

Análisis de Datos de DSNWinbeam

Analysis Data:

Beam Length = 2.21 m
522 Nodes, 521 Beam Elements, 1044 Degrees of Freedom

Reactions:

X m	Vert kN	Rot kN-m
0	-49.173	
0.170000	-66.244	
0.340000	15.562	
0.510000	-4.170	
0.680000	1.117	
0.850000	-0.299372	
1.020	0.080217	
1.190	-0.021494	
1.360	0.005759	
1.530	-0.001543	
1.700	0.0004133	
1.870	-0.0001102	
2.040	2.756e-05	
2.210	-4.593e-06	

Equilibrium:

	Force	Reaction	Error
Vert	103.144	-103.144	0.000 kN
Rot	-7.530	7.530	-0.000 kN-m

Min & Max values:

Min Shear	=	-49.173 kN	at	0.045072 m
Max Shear	=	53.971 kN	at	0.073000 m
Min Moment	=	-3.590 kN-m	at	0.073000 m
Max Moment	=	1.646 kN-m	at	0.170000 m
Min Rotation	=	-0.420186 degrees	at	0 m
Max Rotation	=	0.307370 degrees	at	0.141339 m
Min Deflection	=	-0.118389 mm	at	0.233213 m
Max Deflection	=	0.374693 mm	at	0.075210 m

Límite de flexión recomendado para precisión moderada:

$$y_r = \frac{0.0005 \text{ mm}}{\text{mm de longitud}} * 2.21 \text{ m} * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}$$

$$y_r = 1.105 \text{ mm}$$

Según DSNWinbeam:

$$y_{m\acute{a}x} = 0.374693 \text{ mm}$$

$$\therefore y_r \geq y_{m\acute{a}x}$$

Factor de seguridad en S_y :

Para cargas de impacto sobre material dúctil $N \geq 12$

$$\sigma = \frac{S_y}{N}$$

$$N = \frac{1950 \text{ MPa}}{157.67 \text{ MPa}}$$

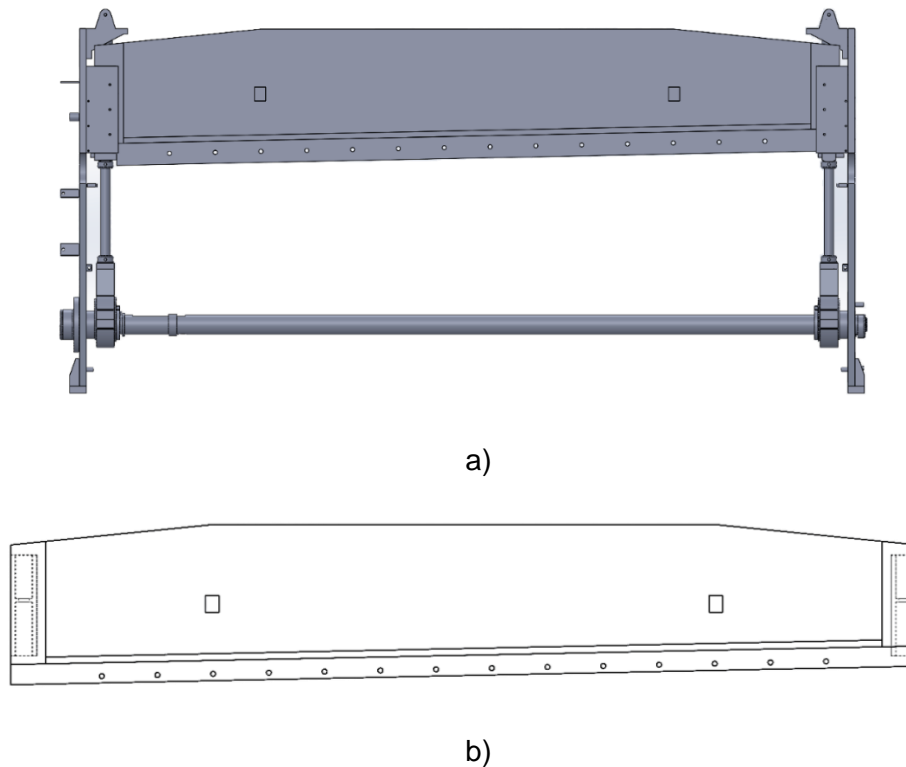
$$N = 12.37$$

$$\therefore 12.37 > 12$$

El diseño del portacuchillas se hace a partir de la fuerza de corte y la fuerza horizontal, cuenta con dos apoyos que actúan como apoyos fijos durante el corte, uno en cada extremo.

Figura 43

Porta cuchillas



Nota. Portacuchillas a) Disposición del portacuchillas en la estructura de la cizalla b) Vista frontal del portacuchillas.

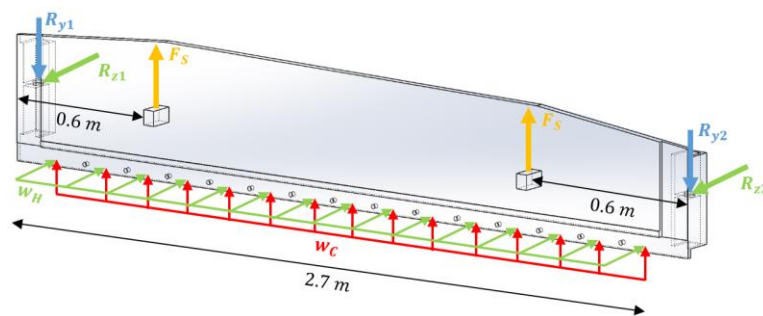
Además, sobre el portacuchillas se monta el sujetador que al tener una masa considerable (150 Kg) se toma en cuenta para los cálculos, por la disposición del portacuchillas es evidente que el momento flector máximo se genera cuando la fuerza de corte se encuentra en el centro.

$$F_S = \frac{150 \text{ kg}}{2} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_S = 735 \text{ N}$$

Figura 44

Diagrama de cuerpo libre del portacuchillas



Plano XY:

Figura 45

Reacciones y momento flector portacuchillas plano XY

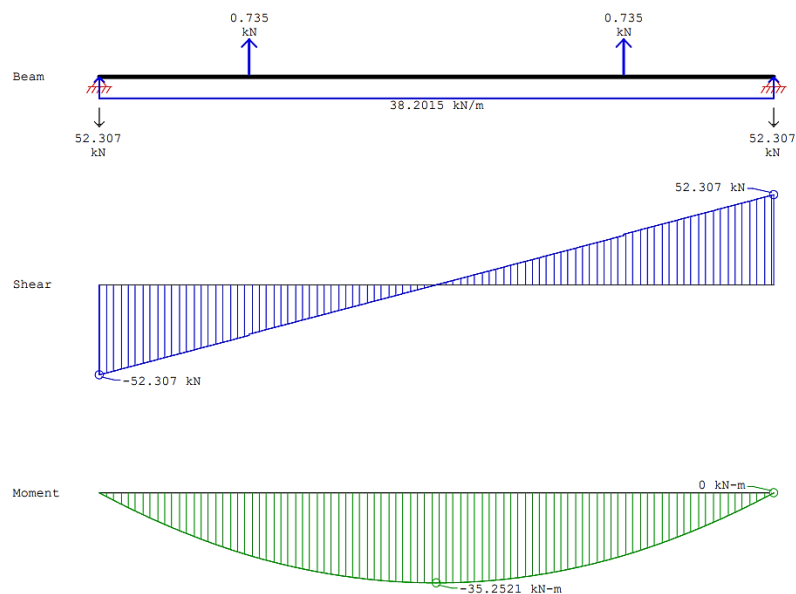


Figura 46

Resumen Reacciones y momento flector portacuchillas plano XY

Input:

Beam Element: Length = 2.7 m
 Pin Support: X = 0 m;
 Pin Support: X = 2.7 m;
 Uniform Load: X = 0, 2.7 m; U = 38.201474, 38.201474 kN/m;
 Point Load: X = 0.6 m; P = 0.735 kN;
 Point Load: X = 2.1 m; P = 0.735 kN;

Analysis Data:

Beam Length = 2.7 m
 503 Nodes, 502 Beam Elements, 1006 Degrees of Freedom

Reactions:

X	Vert	Rot
m	kN	kN-m
0	-52.307	
2.700	-52.307	

Equilibrium:

	Force	Reaction	Error
Vert	104.614	-104.614	0.000 kN
Rot	-141.229	141.229	-0.000 kN-m

Min & Max values:

Min Shear	=	-52.307 kN	at	0 m
Max Shear	=	52.307 kN	at	2.700000 m
Min Moment	=	-35.252 kN-m	at	1.350000 m
Max Moment	=	3.331e-12 kN-m	at	2.700000 m

Plano XZ:

Figura 47

Reacciones y momento flector portacuchillas plano XZ

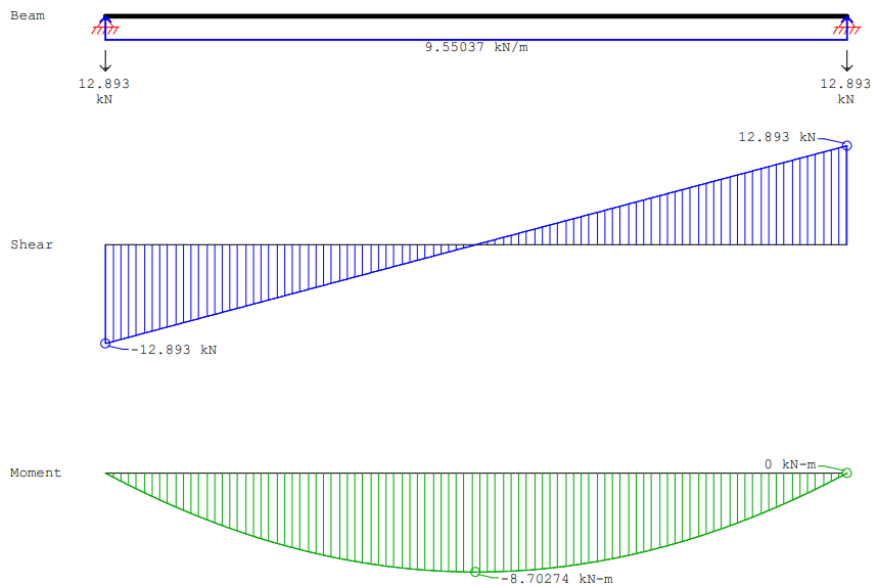


Figura 48

Resumen Reacciones y momento flector portacuchillas plano XZ

<p>Input:</p> <p>Beam Element: Length = 2.7 m; E = 240 MPa; I = 12000000 cm⁴; Pin Support: X = 0 m; Pin Support: X = 2.7 m; Uniform Load: X = 0, 2.7 m; U = 9.55037, 9.55037 kN/m;</p> <p>Analysis Data:</p> <p>Beam Length = 2.7 m 500 Nodes, 499 Beam Elements, 1000 Degrees of Freedom</p>	<p>Reactions:</p> <table border="0"> <tr> <td>X</td> <td>Vert</td> <td>Rot</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>kN</td> <td>kN-m</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>-12.893</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.700</td> <td>-12.893</td> <td></td> </tr> </table> <p>Equilibrium:</p> <table border="0"> <tr> <td></td> <td>Force</td> <td>Reaction</td> <td>Error</td> </tr> <tr> <td>Vert</td> <td>25.786</td> <td>-25.786</td> <td>0.000 kN</td> </tr> <tr> <td>Rot</td> <td>-34.811</td> <td>34.811</td> <td>-0.000 kN-m</td> </tr> </table> <p>Min & Max values:</p> <table border="0"> <tr> <td>Min Shear</td> <td>=</td> <td>-12.893 kN</td> <td>at</td> <td>0 m</td> </tr> <tr> <td>Max Shear</td> <td>=</td> <td>12.893 kN</td> <td>at</td> <td>2.700000 m</td> </tr> <tr> <td>Min Moment</td> <td>=</td> <td>-8.703 kN-m</td> <td>at</td> <td>1.347289 m</td> </tr> <tr> <td>Max Moment</td> <td>=</td> <td>9.983e-14 kN-m</td> <td>at</td> <td>2.700000 m</td> </tr> </table>	X	Vert	Rot	m	kN	kN-m	0	-12.893		2.700	-12.893			Force	Reaction	Error	Vert	25.786	-25.786	0.000 kN	Rot	-34.811	34.811	-0.000 kN-m	Min Shear	=	-12.893 kN	at	0 m	Max Shear	=	12.893 kN	at	2.700000 m	Min Moment	=	-8.703 kN-m	at	1.347289 m	Max Moment	=	9.983e-14 kN-m	at	2.700000 m
X	Vert	Rot																																											
m	kN	kN-m																																											
0	-12.893																																												
2.700	-12.893																																												
	Force	Reaction	Error																																										
Vert	25.786	-25.786	0.000 kN																																										
Rot	-34.811	34.811	-0.000 kN-m																																										
Min Shear	=	-12.893 kN	at	0 m																																									
Max Shear	=	12.893 kN	at	2.700000 m																																									
Min Moment	=	-8.703 kN-m	at	1.347289 m																																									
Max Moment	=	9.983e-14 kN-m	at	2.700000 m																																									

El momento flector resultante es:

$$\|M\| = \sqrt{(M_{xy})^2 + (M_{xz})^2}$$

$$\|M\| = \sqrt{(-35.252)^2 + (-8.703)^2} \text{ kNm}$$

$$\|M\| = 36.31 \text{ kNm}$$

El portacuchillas está hecho de acero ASTM A36, es uno de los más usados en la industria ecuatoriana para la construcción de maquinaria industrial al ser uno de los más fáciles de formar y maquinar, su resistencia a la cedencia es $S_y = 248 \text{ MPa}$.

Esfuerzo de diseño:

$$\sigma_d = \frac{S_y}{8}$$

$$\sigma_d = \frac{248 \text{ MPa}}{8} = 31 \text{ MPa}$$

Esfuerzo calculado:

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Figura 49

Sección transversal en el punto de interés

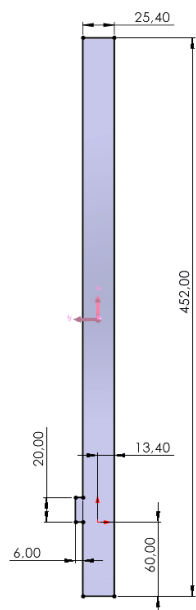


Figura 50

Momentos de inercia y centro de gravedad calculados por SolidWorks

Propiedades de sección de Croquis1 de Pieza1		
Área = 0.01160080 metros^2		
Centro de gravedad relativo al origen de croquis: (metros)		
X = 0.00053760		
Y = 0.16438632		
Centro de gravedad relativo al origen de pieza: (metros)		
X = 0.00053760		
Y = 0.16438632		
Z = 0.00000000		
Momentos de inercia, del área, en el centro de gravedad: (metros ^ 4)		
Lxx = 0.00019836	Lxy = 0.00000000	Lxz = 0.00000000
Lyx = 0.00000000	Lyy = 0.00000000	Lyz = 0.00000000
Lzx = 0.00000000	Lzy = 0.00000000	Lzz = 0.00019901
Momento polar de inercia, del área, en el centro de gravedad = 0.00019901		
Ángulo entre ejes principales y ejes de croquis = 89.91570947 °.		
Momentos principales de inercia, del área, en el centro de gravedad: (metro		
Mx = 0.00000000		
My = 0.00019836		

$$\sigma = \frac{36.31 \text{ kNm} (0.16438632 \text{ m})}{198.358986 \times 10^{-6} \text{ m}^4}$$

$$\sigma = 30.09 \text{ MPa}$$

$$\therefore \sigma_d \geq \sigma$$

Los valores de deflexión se obtienen del software SolidWorks, el American Institute of Steel Construction especifica $E = 200 \text{ GPa}$ para acero estructural.

Límite de flexión recomendado para parte general de una máquina:

$$y_r = \frac{0.003 \text{ mm}}{\text{mm de longitud}} * 2.7 \text{ m} * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}$$

$$y_r = 8.1 \text{ mm}$$

Figura 51

Simulación SolidWorks portacuchillas desplazamientos

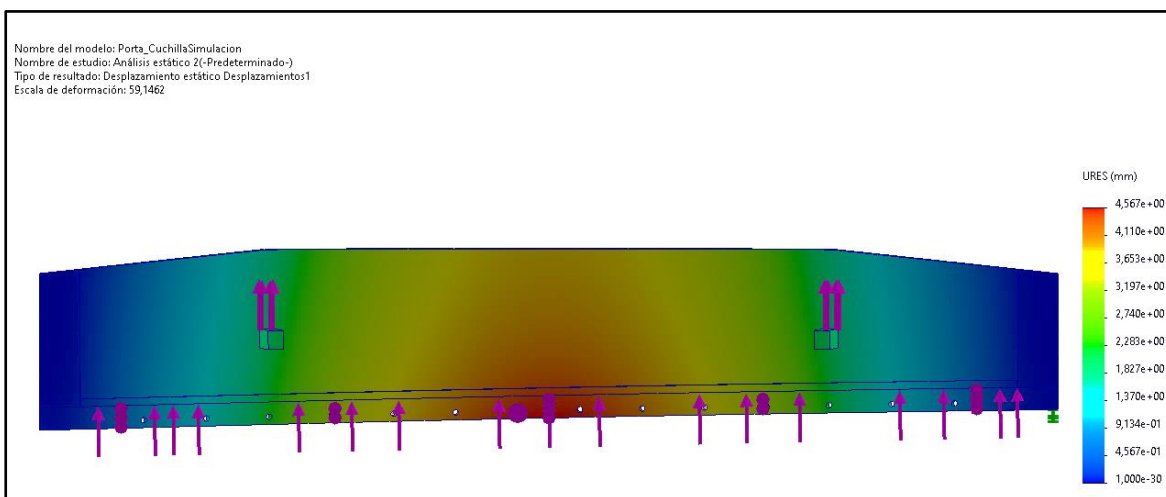
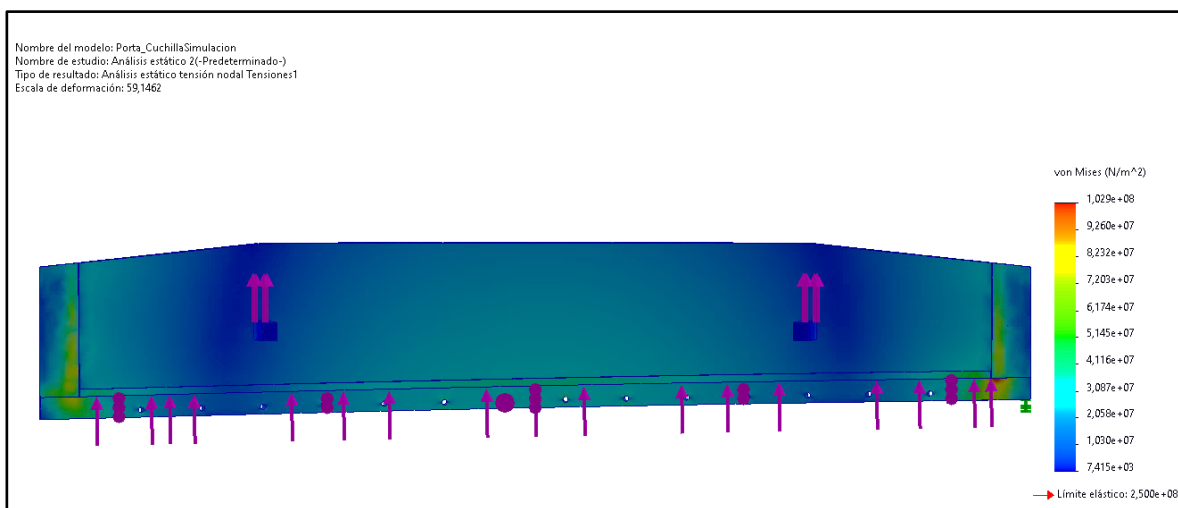


Figura 52

Simulación SolidWorks portacuchillas tensión de Von Mises



Según SolidWorks:

$$y_{m\acute{a}x} = 4.567 \text{ mm}$$

$$\therefore y_r \geq y_{m\acute{a}x}$$

Factor de seguridad en S_y :

Para cargas repetidas sobre material dúctil $N \geq 8$

$$\sigma = \frac{S_y}{N}$$

$$N = \frac{248 \text{ MPa}}{30.09 \text{ MPa}}$$

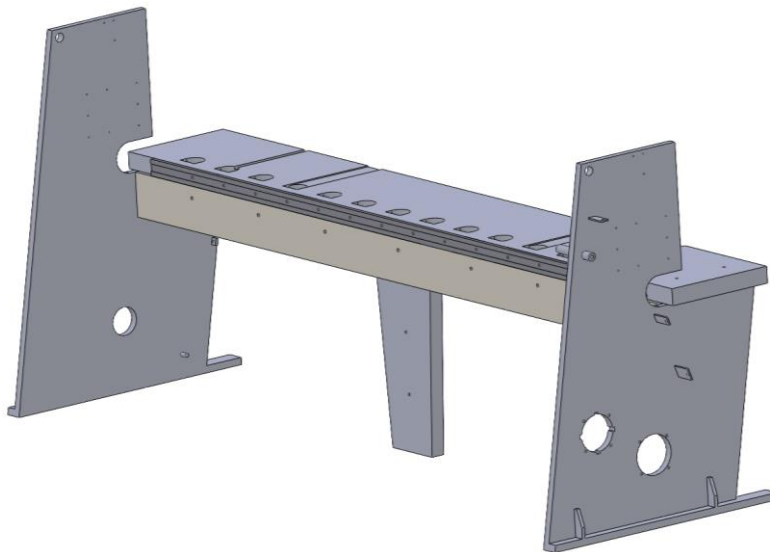
$$N = 8.24$$

$$\therefore 8.24 > 8$$

La cuchilla inferior se apoya sobre una viga soldada al bastidor y se asegura a la cama mediante pernos, la viga tiene un apoyo en el centro y los laterales de la cama están reforzados.

Figura 53

Ensamble bastidor, cuchilla inferior, cama, apoyo central



La fuerza de corte es soportada por la viga mientras que los pernos se encargan de mantener la cuchilla inferior en su lugar.

Figura 54

Diagrama de cuerpo libre viga de soporte cuchilla inferior

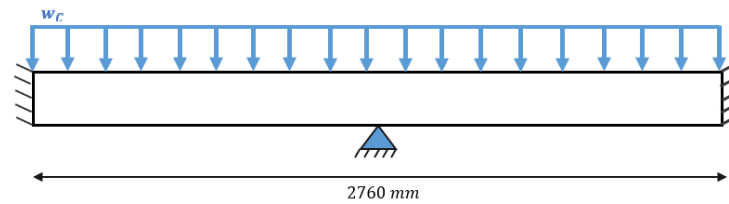


Figura 55

Reacciones y momento flector viga de soporte cuchilla inferior

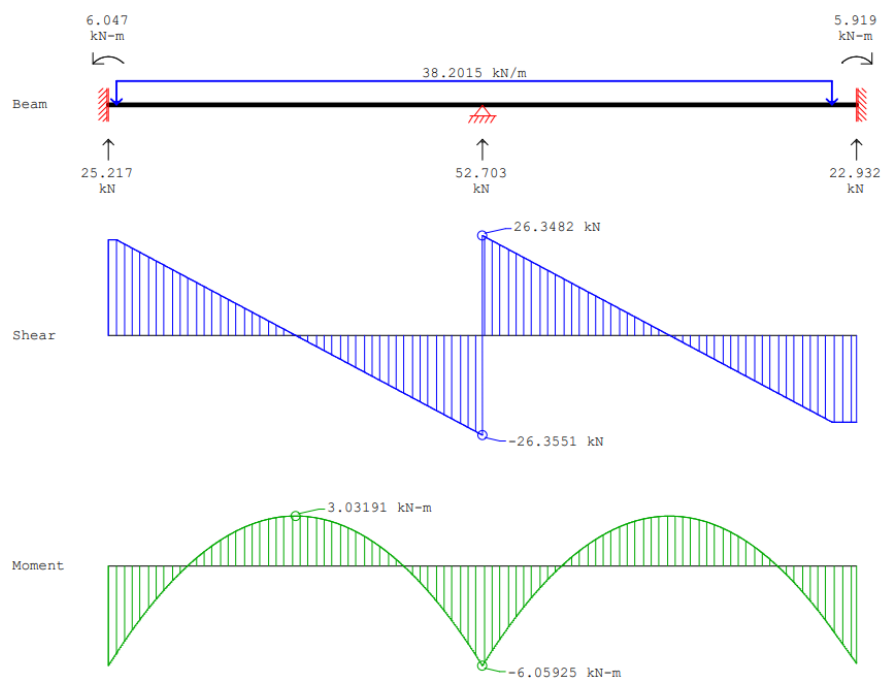


Figura 56

Resultados de reacciones y momento flector viga de soporte

Reactions:

X m	Vert kN	Rot kN-m
0	25.217	-6.047
1.380	52.703	
2.760	22.932	5.919

Equilibrium:

	Force	Reaction	Error
Vert	-100.852	100.852	-0.000 kN
Rot	136.150	-136.150	-0.000 kN-m

Min & Max values:

Min Shear	=	-26.355 kN	at	1.380000 m
Max Shear	=	26.348 kN	at	1.380000 m
Min Moment	=	-6.059 kN-m	at	1.380000 m
Max Moment	=	3.032 kN-m	at	0.691168 m

El momento flector máximo es:

$$M = 6.05925 \text{ kNm}$$

La viga está hecha de acero ASTM A36

Esfuerzo flexionante de diseño para cargas repetidas:

$$\sigma_d = \frac{S_y}{8}$$

$$\sigma_d = \frac{248 \text{ MPa}}{8} = 31 \text{ MPa}$$

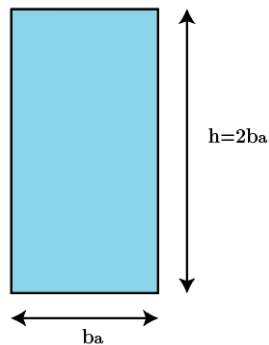
Esfuerzo calculado:

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Para facilitar los cálculos se realiza la siguiente suposición:

Figura 57

Dimensiones sección transversal cuchilla



$$\sigma_a = \frac{Mc}{I}$$

Para una sección transversal rectangular:

$$\sigma_a = \frac{M * b_a}{b_a * \frac{(2b_a)^3}{12}}$$

$$\sigma_a = \frac{3M}{2(b_a^3)}$$

$$31 \text{ MPa} = \frac{3(6.05925 \text{ kNm})}{2(b_a^3)}$$

$$b_a = 66.43 \times 10^{-3} m = 66.43 mm$$

$$h_a = 132.86 mm$$

Redondeando los valores de la base y la altura $b = 65 mm$ y $h = 160 mm$, se ignora la relación entre la base y la altura.

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

Módulo de sección para rectángulos

$$S = \frac{b * h^2}{6}$$

$$\sigma = \frac{6.05925 kNm}{\frac{0.065m * (0.16 m)^2}{6}}$$

$$\sigma = 21.84 MPa$$

$$\therefore \sigma_d \geq \sigma$$

$$I = \frac{b * h^3}{12} = \frac{6.5cm * (16cm)^3}{12}$$

$$I = 2218.67 cm^4$$

Figura 58

Gráficas de rotación y deflexión para el soporte de la cuchilla inferior

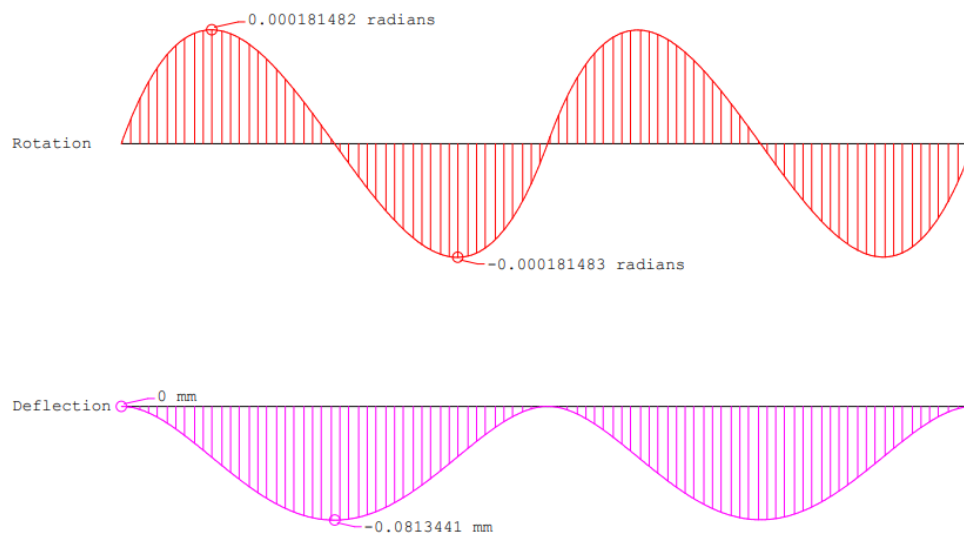


Figura 59

Rotación y deflexión para el soporte de la cuchilla inferior

Min & Max values:

Min Shear	=	-26.355 kN	at	1.380000 m
Max Shear	=	26.348 kN	at	1.380000 m
Min Moment	=	-6.059 kN-m	at	1.380000 m
Max Moment	=	3.032 kN-m	at	0.691168 m
Min Rotation	=	-0.0001815 radians	at	1.089532 m
Max Rotation	=	0.0001815 radians	at	0.292803 m
Min Deflection	=	-0.081344 mm	at	0.691168 m
Max Deflection	=	0 mm	at	0 m

Límite de flexión recomendado para precisión moderada:

$$y_r = \frac{0.0005 \text{ mm}}{\text{mm de longitud}} * 2.76 \text{ m} * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}$$

$$y_r = 1.38 \text{ mm}$$

Según DSNWinbeam:

$$y_{\text{máx}} = 0.081344 \text{ mm}$$

$$\therefore y_r \geq y_{\text{máx}}$$

Factor de seguridad en S_y :

Para cargas repetidas sobre material dúctil $N \geq 8$

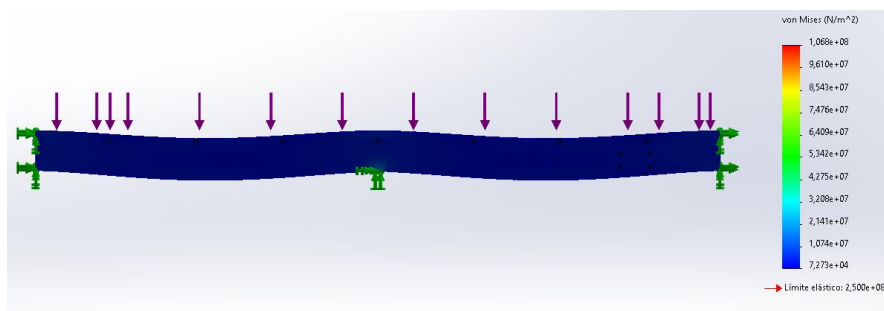
$$\sigma = \frac{S_y}{N}$$

$$N = 11.35$$

$$\therefore 11.35 > 8$$

Figura 60

Simulación SolidWorks tensiones de Von Mises



Diseño Columna Central

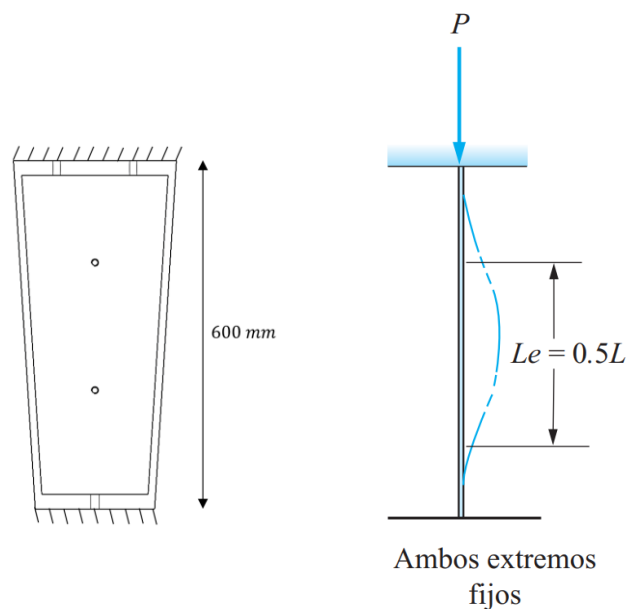
La columna sobre la que se apoya la viga soporta una fuerza de compresión igual a 52703 N, que es la reacción en el punto medio de la viga de apoyo para la cuchilla inferior.

Relación de esbeltez:

$$SR = \frac{KL}{r} = \frac{Le}{r}$$

Figura 61

Configuración de la columna de apoyo



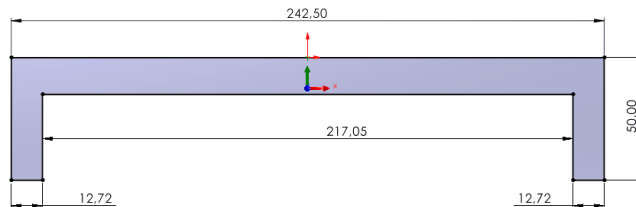
Los extremos de la columna no están perfectamente fijados, esto es normal hasta cierto punto y se recomienda trabajar con un factor de fijación práctico, para este caso $K = 0.65$, la columna es de acero ASTM A36.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

La inercia y el área se calculan a partir de las dimensiones de la sección transversal en el centro de la columna.

Figura 62

Propiedades de la sección calculadas con SolidWorks



Propiedades de sección de Croquis:1 de SeccionTransversal		
Área = 45.28234636 centímetros ²		
Centro de gravedad relativo al origen de croquis: (centímetros)		
X = 0.00000000	Y = -1.24176705	
Centro de gravedad relativo al origen de pieza: (centímetros)		
X = 0.00000000	Y = -1.24176705	
Z = 0.00000000		
Momentos de inercia, del área, en el centro de gravedad: (centímetros ^ 4)		
Lxx = 60.63329470	Lyy = 0.00000000	Lxz = 0.00000000
Lyx = 0.00000000	Lyy = 2959.46150478	Lyz = 0.00000000
Lzx = 0.00000000	Lzy = 0.00000000	Lzz = 3020.094799
Momento polar de inercia, del área, en el centro de gravedad = 3020.094799		
Ángulo entre ejes principales y ejes de croquis = -0.00000000 °.		
Momentos principales de inercia, del área, en el centro de gravedad: (centímetros ^ 4)		
Mx = 60.63329470	My = 2959.46150478	

La columna se pandeará con respecto al eje que produce el radio de giro mínimo.

$$r = \sqrt{\frac{60.6333 \text{ cm}^4}{45.28 \text{ cm}^2}}$$

$$r = 1.157 \text{ cm} = 11.57 \text{ mm}$$

$$SR = \frac{KL}{r} = \frac{0.65 * 600 \text{ mm}}{11.57 \text{ mm}}$$

$$SR = 33.71$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi E}{S_y}}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi * 200 \text{ GPa}}{248 \text{ MPa}}}$$

$$C_c = 74.18$$

$$SR < C_c \rightarrow \text{Columna corta}$$

Carga crítica de pandeo según la fórmula de Johnson:

$$P_{cr} = A * S_y \left[1 - \frac{S_y(SR)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

$$P_{cr} = 4528 \text{ mm}^2 * 248 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \left[1 - \frac{248 \text{ N} * (33.71)^2}{\text{mm}^2} * \frac{1}{4\pi^2 * 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right]$$

$$P_{cr} = 1.08 \text{ MN}$$

Al tratarse de cargas repetidas se usa un factor de diseño $N = 8$

$$P_a = \frac{1.08 \text{ MN}}{8}$$

$$P_a = 135.36 \text{ kN}$$

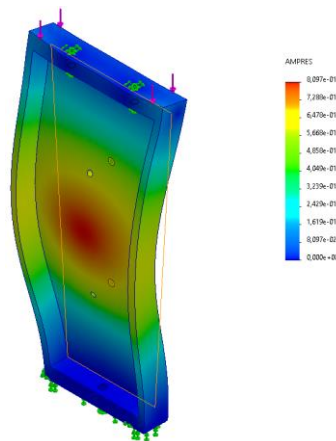
$$\frac{P_a}{P} = \frac{135.36 \text{ kN}}{52703 \text{ N}} = 2.56$$

La carga admisible es 2.56 veces mayor a la carga aplicada por lo tanto la columna es segura para $N = 8$

La simulación en SolidWorks muestra la correcta selección del punto crítico, pero no permite especificar los parámetros necesarios para obtener resultados lo suficientemente aproximados y se usa solo para describir el comportamiento de la columna.

Figura 63

Simulación de la columna de apoyo en SolidWorks



Para la implementación de la máquina se quiere usar un motor de 5.6 kW de segunda mano pero que se encuentra en buenas condiciones por lo que los cálculos del sistema de transmisión giran en torno al motor y a sus características.

Figura 64

Placa de datos del motor

SIEMENS		3 - Motor 1LA5 114-4YB80		
		7.5 / 5.5	HP / kW	F. S. 1.0
5	12 M	Form. Cons.	IMB3	S1
IP54		220 YY - 440 Y	V / Cl. Alal. F	
32.6 kg		23.2	- 11.6 A	60 Hz
IEC 34		Cos. ϕ	0.85	1740 rpm

Para transmitir la potencia del motor se usa una polea pequeña que mediante bandas se conecta a un disco de inercia que se encargará de reducir las variaciones de velocidad durante el corte, hay que calcular e identificar el tipo de poleas y bandas para la cizalla y seleccionar los componentes a partir de catálogos. Se cuenta con el disco de inercia original de la máquina, pero se encuentra en malas condiciones, usar el mismo disco provocaría un desgaste acelerado de las bandas por la presencia de grietas y óxido en los canales.

Figura 65

Disco de inercia original



Figura 66

Transmisión de potencia por poleas

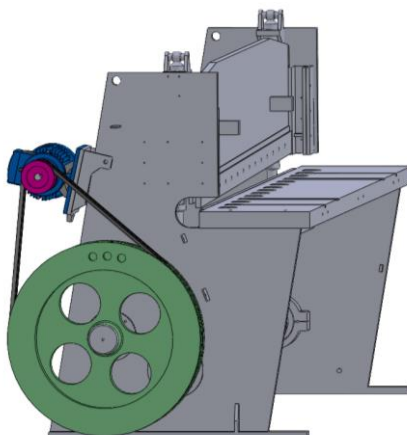
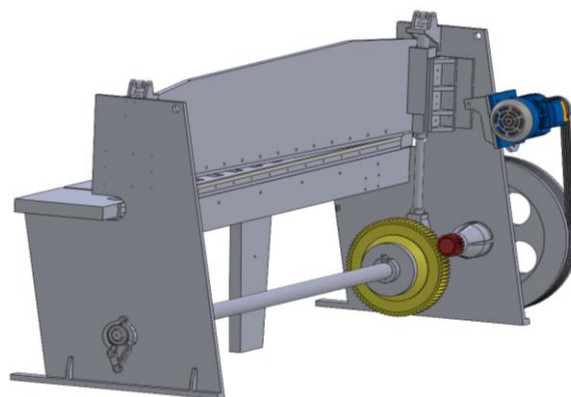


Figura 67

Transmisión de potencia por engranajes



Selección del Diámetro de la Polea Motriz

Si está por debajo del diámetro requerido no hay suficiente contacto de la polea con la correa, esto ocasiona que no exista una buena transmisión de potencia y velocidad, que la correa patine o se queme y que se acelere el desgaste de la polea, de la banda y de los rodamientos del motor, por lo tanto, es importante seleccionar el diámetro mínimo teniendo en cuenta la potencia del motor y las RPMs.

Figura 68

Diámetros mínimos de poleas recomendados

Diámetros mínimos en mm				
Caballos de fuerza (HP)	RPM de Motor			
	900	1200	1800	3600
0.50	65	-	-	-
0.75	65	65	-	-
1.00	65	65	60	-
1.50	75	65	65	60
2.00	75	65	65	65
3.00	75	75	65	65
5.00	100	75	75	65
7.50	115	100	75	75
10.00	115	115	100	75
15.00	135	115	115	100
20.00	155	135	115	115

Nota. Diámetros mínimos de poleas para motores eléctricos. Tomado de (Intermec, 2018).

Como se observa en la tabla anterior a mayor velocidad menor diámetro, el motor tiene una potencia nominal (PN) de 7.5 HP y gira a 1740 RPM por lo que se selecciona el diámetro de 100 mm que debe funcionar bien ya que la velocidad está sobre las 1200 RPMs .

La selección de las correas se realiza con el catálogo de la marca DUNLOP, lo primero es hallar el coeficiente de corrección de la potencia (F_s), según el tipo de máquina.

Figura 69

Coeficiente de corrección de potencia

Tipo de máquina conductora Tipo de máquina conducida	Motores de corriente alterna, torque normal, a jaula de ardilla, sincrónicos; fase partida. Motores de corriente continua, bobinado en shunt. Máquinas de combustión interna, cilindros múltiples.			Motores de corriente alternada, alto torque, alto deslizamiento, bobinado en serie y anillado colector. Motores de corriente continua, bobinado en serie y bobinado compound. Máquina a combustión interna, monocilíndrica. Ejes en línea. Arranque directo y con embrague		
	Servicio intermedio hasta 7 horas diarias	Servicio normal 8 a 15 horas diarias	Servicio continuo más de 16 horas diarias	Servicio intermedio hasta 7 horas diarias	Servicio normal 8 a 15 horas diarias	Servicio continuo más de 16 horas diarias
Agitador para líquidos y semilíquidos, ventiladores y aspiradores, compresores y bombas centrífugas. Sopladores hasta 10 HP. Transportadores livianos.	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Cintas transportadoras para arena, granos, etc. Mezcladores de panadería. Sopladores de más de 10 HP, generadores. Línea a ejes (ejes principales), máquinas de lavaderos, máquinas herramienta, punzadoras, prensa, guillotinas, bombas rotativas positivas, máquinas de imprenta, zarandas vibradoras y giratorias.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4

$$F_s = 1.2$$

Para un servicio normal, que se ajusta al horario de trabajo de la empresa la potencia corregida es:

$$P_c = PN * F_s$$

$$P_c = 5.6 \text{ kW} * 1.2$$

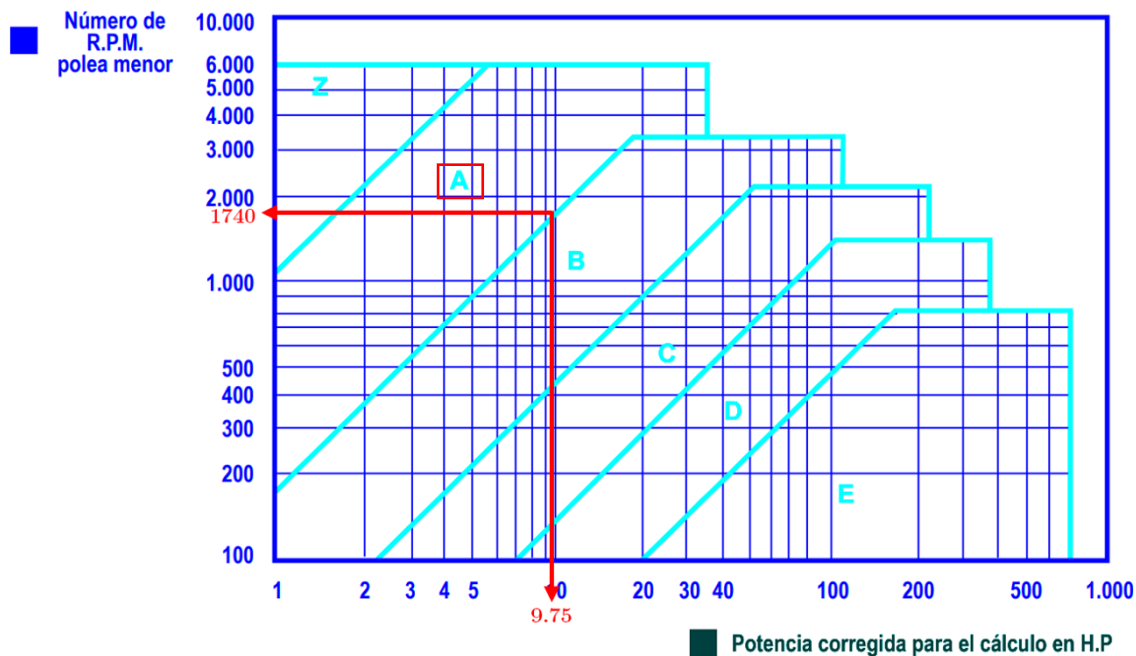
$$P_c = 6.72 \text{ kW}$$

$$P_c = 9 \text{ HP}$$

Para determinar la sección de la correa se toman en cuenta la potencia corregida en caballos de fuerza y las RPM de la patea motriz, con lo cual se obtiene el tipo de sección "A".

Figura 70

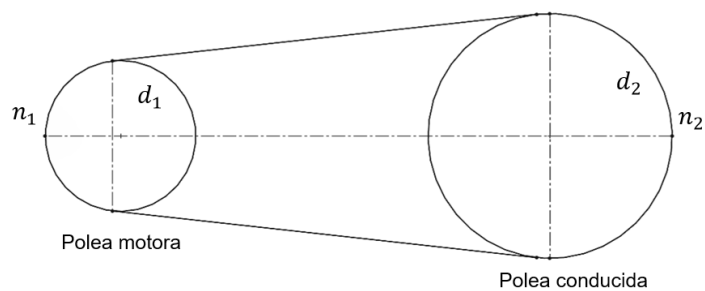
Gráfica para la elección de la sección de la correa



La polea dañada de 60 cm fue reemplazada por una polea de 71 cm, este cambio ocasiona que el motor tarde más en alcanzar su velocidad nominal aunque es casi imperceptible, por otro lado la polea almacena más energía por lo que las variaciones de velocidad angular al momento del corte son menores, este cambio se realizó por que la polea fue obtenida de un depósito de chatarra y debido a esto los cálculos deben adecuarse al tamaño del disco de inercia.

Figura 71

Sistema de transmisión por poleas



Relación de transmisión:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

$$i = \frac{710 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} = 7.1$$

$$\frac{n_1}{n_2} = i$$

$$n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{1740 \text{ RPMs}}{7.1}$$

$$n_2 \approx 245 \text{ RPMs}$$

Figura 72

Diámetro primitivo de las poleas según normas BS 3790

Ø mm	Z	A	B	C	D	E
315		●	●●	●●		
355		●	●		●●	
375			●	●	●	
400		●	●●	●●	●●	
425					●	
450		●	●	●	●●	
475					●	
500		●	●●	●●	●●	●●
530						●
560		●	●	●	●	●●
600			●	●	●	●
630		●	●●	●●	●●	●●
670						●
710	→	●	●	●	●	●●
750			●	●	●	
800			●●	●●	●●	●●

- Diámetro especificado. ●● Diámetro especialmente recomendado.

Diámetro primitivo de las poleas según normas BS 3790

Distancia entre ejes:

$$i \geq 3 \rightarrow c \geq \frac{d_2 + 3d_1}{2}$$

$$c \geq \frac{710 \text{ mm} + 3(100 \text{ mm})}{2}$$

$$c \geq 505 \text{ mm}$$

Al no existir restricciones se puede asumir en forma tentativa una distancia entre centros, para facilitar el ensamble se asume:

$$c = 630 \text{ mm}$$

Longitud de la Correa

Longitud de diseño

$$L_d = (2 * c) + \frac{\pi}{2} * (d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 * c}$$

$$L_d = (2 * 630 \text{ mm}) + \frac{\pi}{2} * (100 \text{ mm} + 710 \text{ mm}) + \frac{(710 \text{ mm} - 100 \text{ mm})^2}{4 * 630 \text{ mm}}$$

$$L_d = 2680 \text{ mm}$$

Figura 73

Medición de longitud primitiva

Correa (in)	Sección Z (mm)	Sección A (mm)	Sección B (mm)	Sección C (mm)
99	-	2554	2558	2587
100	-	2573	2583	2602
101	-	2599	2609	2622
102	-	2624	2643	2653
103	-	2650	2659	2679
104	-	2683	2693	2704
105	-	2700	2710	2729
106	-	2726	2743	2754
107	-	2758	2761	2780
108	-	2776	2793	2812
109	-	2802	2819	2838
110	-	2833	2843	2862

Nota. Longitud comercial, se selecciona el inmediato superior: $L = 2683 \text{ mm}$

Ángulo de contacto de la polea motora

$$\alpha = 180^\circ - \left(57 * \left(\frac{d_2 - d_1}{c} \right) \right)$$

$$\alpha = 180^\circ - \left(57 * \left(\frac{710 \text{ mm} - 100 \text{ mm}}{630 \text{ mm}} \right) \right)$$

$$\alpha = 124.81^\circ$$

Figura 74

Factor de corrección de potencia por arco de contacto

Arco de contacto sobre polea menor	Poleas acanaladas	Poleas acanalada/plana
130°	0.86	0.86
127°	0.85	0.85
124°	0.84	0.84
120°	0.82	0.82

$$\varphi = 0.84$$

Velocidad tangencial, el catálogo señala que por su constitución las bandas son adecuadas para cualquier rango de velocidad siempre y cuando no supere los 30 m/sg.

$$vt = \frac{\pi * d_1 * n_1}{60 * 1000} = \frac{\pi * d_2 * n_2}{60 * 1000} \leq 30 \frac{m}{sg}$$

$$vt = \frac{\pi * 100 \text{ mm} * 1740 \text{ RPMs}}{60 * 1000}$$

$$vt = 9.11 \frac{m}{sg}$$

$$\therefore vt < 30 \frac{m}{sg}$$

Figura 75

Factor de corrección en función de la longitud de la correa

Longitud correa	Z	A	B	C	D	E
90	-	1.06	1.00	0.91	-	-
96	-	1.08	1.02	0.92	-	-
97	-	1.08	1.02	0.92	-	-
105	-	1.10	1.04	0.94	-	-
112	-	1.11	1.05	0.95	-	-
120	-	1.13	1.07	0.97	0.86	-
128	-	1.14	1.08	0.98	0.87	-
144	-	-	1.11	1.00	0.90	-
158	-	-	1.13	1.02	0.92	-

Interpolando para $L = 104 \text{ in}$:

$$F_{cl} = 1.0975$$

Capacidad de transmisión base por correa

$$P_{bk} = P_b + \Delta P_i$$

Figura 76

Prestación adicional por relación de transmisión

Nº R.P.M. De la polea menor	Prestación Base (en HP)												Prestación adicional por relación de transmisión (en HP)										
	Diámetro primitivo de la polea menor (mm)												1.00	1.02	1.05	1.09	1.13	1.19	1.25	1.35	1.52	2.00	
	66	71	76	81	86	91	96	102	107	112	117	122	127	al	al	al	al	al	al	al	y		
1160	0.54	0.69	0.84	0.99	1.13	1.28	1.42	1.56	1.70	1.84	1.98	2.12	2.26	0.00	0.02	0.04	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.20
1750	0.60	0.90	1.11	1.32	1.53	1.73	1.93	2.13	2.33	2.53	2.72	2.91	3.10	0.00	0.03	0.07	0.10	0.13	0.16	0.20	0.23	0.26	0.29

Tomando los valores más aproximados para:

$$n_1 = 1740 \text{ RPMs}$$

$$d_1 = 100 \text{ mm}$$

$$i = 7.1$$

$$P_b = 2.13 \text{ HP}$$

$$\Delta P_i = 0.29 \text{ HP}$$

$$P_{bk} = 2.13 \text{ HP} + 0.29 \text{ HP}$$

$$P_{bk} = 2.42 \text{ HP}$$

Potencia efectiva por correa:

$$P_e = P_{bk} * F_{cl} * \varphi$$

$$P_e = 2.42 \text{ HP} * 1.0975 * 0.84$$

$$P_e = 4.3575 \text{ HP}$$

Número de correas:

$$QS = \frac{P_c}{P_e} = \frac{9 \text{ HP}}{4.3575 \text{ HP}}$$

$$QS = 2.065$$

Por lo tanto, se necesitan 3 correas para transmitir la potencia del motor.

Diseño del Sistema de Engranés

La potencia que sale de las bandas se transmite mediante un eje al sistema de engranes rectos, no se conocen las dimensiones del piñón, pero se pueden calcular a partir de las dimensiones del engrane conducido:

$$\text{Dientes del engrane conducido: } Z_2 = 72$$

$$\text{Diámetro externo del engrane conducido: } D_{e2} = 444 \text{ mm}$$

Se asume una relación de transmisión $i = 4$, este valor tiene relación con la velocidad de corte recomendada para planchas de acero y el desgaste del piñón, si no se obtiene un valor adecuado se deberá cambiar dicha relación.

Relación de transmisión:

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{Dp_2}{Dp_1} = \frac{W_1}{W_2}$$

Donde:

W_1 : Velocidad angular engrane conductor

W_2 : Velocidad angular engrane conducido

Dp_1 : Diámetro primitivo engrane conductor

Dp_2 : Diámetro primitivo engrane conducido

Número de dientes del piñón:

$$Z_1 = \frac{Z_2}{i}$$

$$Z_1 = \frac{72}{4} = 18$$

Módulo:

$$M = \frac{De_2}{Z_2 + 2}$$

$$M = \frac{444}{72 + 2}$$

$$M = 6$$

Diámetro primitivo:

$$Dp_2 = M * Z_2 = (6 * 72) \text{ mm}$$

$$Dp_2 = 432 \text{ mm}$$

$$Dp_1 = M * Z_1 = (6 * 18) \text{ mm}$$

$$Dp_1 = 108 \text{ mm}$$

Diámetro externo piñón:

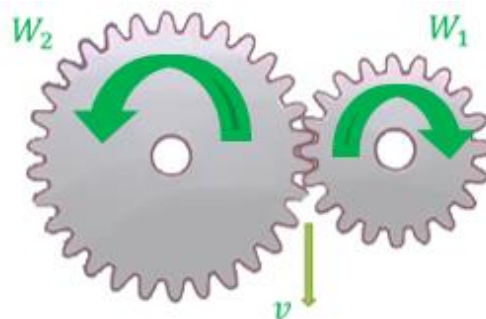
$$De_1 = Dp_1 + 2 * M$$

$$De_1 = 108 \text{ mm} + 2 * 6$$

$$De_1 = 120 \text{ mm}$$

Figura 77

Cinemática del sistema de engranes



Velocidad angular:

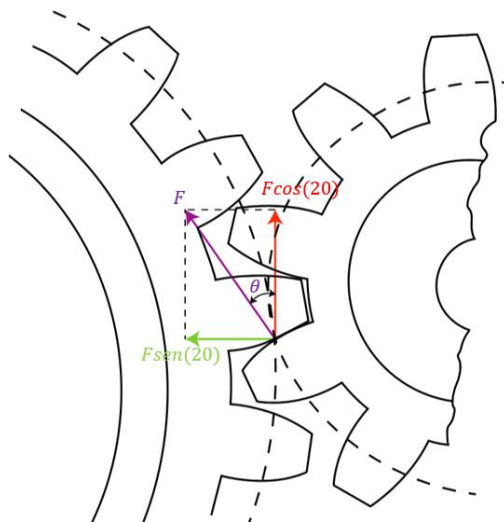
$$W_1 = n_2 = 245 \text{ RPMs}$$

$$W_2 = \frac{W_1}{i} = \frac{245 \text{ RPMs}}{4}$$

$$W_2 = 62.25 \text{ RPMs}$$

Figura 78

Diagrama de cuerpo libre en el punto de contacto entre dientes



La potencia en ambos engranes debería ser la misma por el principio de conservación de energía, pero existen pérdidas por el rozamiento entre el engrane conducido y su eje.

Potencia en el engrane conducido:

$$P = PM * W$$

Donde:

PM : Par motor

W : Velocidad Angular

$$Z_1 W_1 = Z_2 W_2$$

$$R_1 = \frac{Dp_1}{2} = 54 \text{ mm}$$

$$R_2 = \frac{Dp_2}{2} = 216 \text{ mm}$$

$$P = 5.6 \text{ kW}$$

Cálculo de la fuerza aplicada por el diente:

$$F = 60 * \frac{P}{2\pi * W_1 * R_1}$$

$$F = 60 * \frac{5.6 \text{ kW}}{2\pi * 245 \text{ RPMs} * 0.054 \text{ m}}$$

$$F = 4042.03 \text{ N}$$

Ángulo de presión:

$$\theta = 14^\circ$$

$$F_x = 4042.03 \text{ N} * \cos(14)$$

$$F_x = 3921.96 \text{ N}$$

$$F_y = 4042.03 \text{ N} * \text{sen}(14)$$

$$F_y = 977.85 \text{ N}$$

Momento en el engrane conducido:

$$PM_2 = F_x * R_2 = 3921.96 \text{ N} * 0.216 \text{ m}$$

$$PM_2 = 847.14 \text{ Nm}$$

Momento generado por la fuerza de rozamiento:

$$PM_r = F_r * R_e = F_y * \mu * R_e$$

Donde:

R_e : Radio del eje que sostiene al engrane conducido

μ : Coeficiente de rozamiento asumido

$$PM_r = 977.85 \text{ N} * 0.3 * 0.05 \text{ m}$$

$$PM_r = 14.67 \text{ Nm}$$

Momento total

$$PM_T = PM_2 - PM_r$$

$$PM_T = 832.47 \text{ Nm}$$

Potencia del engrane conducido:

$$P_t = PM * \frac{2\pi W_2}{60}$$

$$P_t = 832.47 \text{ Nm} * \frac{2\pi * 62.25 \text{ RPMs}}{60}$$

$$P_t = 5.43 \text{ kW}$$

Torque en el engrane conducido:

$$T = \frac{P_t}{W_2}$$

$$T = \frac{5.43 \text{ kW}}{62.25 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ sg}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}}$$

$$T = 832.974 \text{ Nm}$$

Diseño de la Leva

Se han tomado las siguientes consideraciones:

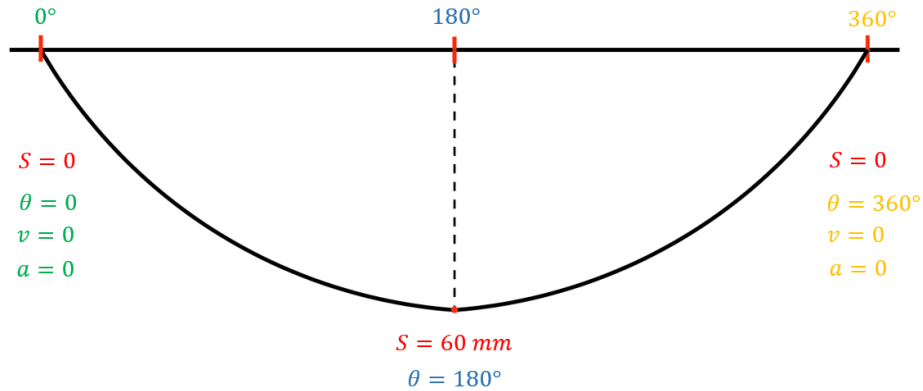
Bajada: 60 mm en 180 grados

Subida: 60mm en 180 grados

Velocidad angular de la leva: $\omega = 6.5188 \frac{\text{rad}}{\text{sg}}$

Figura 79

Condiciones de frontera para el desplazamiento de la leva



Donde:

θ : Posición angular de la leva

S : Posición del seguidor

v : Velocidad del seguidor

a : Aceleración de seguidor

Grado del polinomio

$$n = k - 1$$

Donde:

k : Número de condiciones de frontera

$$n = 7 - 1 = 6$$

Solución general para polinomio de grado 6 que describe la posición del seguidor.

$$S = C_0 + C_1 \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + C_2 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + C_3 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + C_4 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 + C_5 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^5 + C_6 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^6$$

$$v = \frac{1}{\beta} * \left(C_1 + 2 * C_2 \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + 3 * C_3 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + 4 * C_4 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + 5 * C_5 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 + 6 * C_6 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^5 \right)$$

$$a = \frac{1}{\beta^2} * \left(2 * C_2 + 6 * C_3 \left(\frac{\theta}{\beta}\right) + 12 * C_4 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + 20 * C_5 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + 30 * C_6 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 \right)$$

Longitud del segmento que se quiere analizar:

$$\beta = 360^\circ$$

Para la primera condición de frontera $a = 0$ cuando $\theta = 0$:

$$0 = 2 * C_2 + 6 * C_3(0) + 12 * C_4(0)^2 + 20 * C_5(0)^3 + 30 * C_6(0)^4$$

$$C_2 = 0$$

Para la condición de frontera $v = 0$ cuando $\theta = 0$:

$$0 = C_1 + 2 * C_2(0) + 3 * C_3(0)^2 + 4 * C_4(0)^3 + 5 * C_5(0)^4 + 6 * C_6(0)^5$$

$$C_1 = 0$$

Para la condición de frontera $S = 0$ cuando $\theta = 0$:

$$0 = C_0 + C_1(0) + C_2(0)^2 + C_3(0)^3 + C_4(0)^4 + C_5(0)^5 + C_6(0)^6$$

$$C_0 = 0$$

Para la condición de frontera $a = 0$ cuando $\theta = 360^\circ$:

$$0 = 2 * (0) + 6 * C_3(1) + 12 * C_4(1)^2 + 20 * C_5(1)^3 + 30 * C_6(1)^4$$

$$0 = 6C_3 + 12C_4 + 20C_5 + 30C_6$$

Para la condición de frontera $v = 0$ cuando $\theta = 360^\circ$:

$$0 = 0 + 2 * (0)(1) + 3 * C_3(1)^2 + 4 * C_4(1)^3 + 5 * C_5(1)^4 + 6 * C_6(1)^5$$

$$0 = 3C_3 + 4C_4 + 5C_5 + 6C_6$$

Para la condición de frontera $S = 0$ cuando $\theta = 360^\circ$:

$$0 = 0 + 0(1) + 0(1)^2 + C_3(1)^3 + C_4(1)^4 + C_5(1)^5 + C_6(1)^6$$

$$0 = C_3 + C_4 + C_5 + C_6$$

Para la condición de frontera $S = 60 \text{ mm}$ cuando $\theta = 180^\circ$:

$$0.06 \text{ m} = 0 + 0 * \left(\frac{1}{2}\right) + 0 * \left(\frac{1}{2}\right)^2 + C_3 \left(\frac{1}{2}\right)^3 + C_4 \left(\frac{1}{2}\right)^4 + C_5 \left(\frac{1}{2}\right)^5 + C_6 \left(\frac{1}{2}\right)^6$$

$$0.06 \text{ m} = \frac{1}{8} * C_3 + \frac{1}{16} * C_4 + \frac{1}{32} * C_5 + \frac{1}{64} * C_6$$

Para hallar las constantes que faltan se resuelve el sistema de 4 ecuaciones con 4 incógnitas:

$$0 = 6C_3 + 12C_4 + 20C_5 + 30C_6$$

$$0 = 3C_3 + 4C_4 + 5C_5 + 6C_6$$

$$0 = C_3 + C_4 + C_5 + C_6$$

$$-0.06 \text{ m} = \frac{1}{8} * C_3 + \frac{1}{16} * C_4 + \frac{1}{32} * C_5 + \frac{1}{64} * C_6$$

Se obtiene los siguientes resultados:

$$C_3 = -3.84$$

$$C_4 = 11.52$$

$$C_5 = -11.52$$

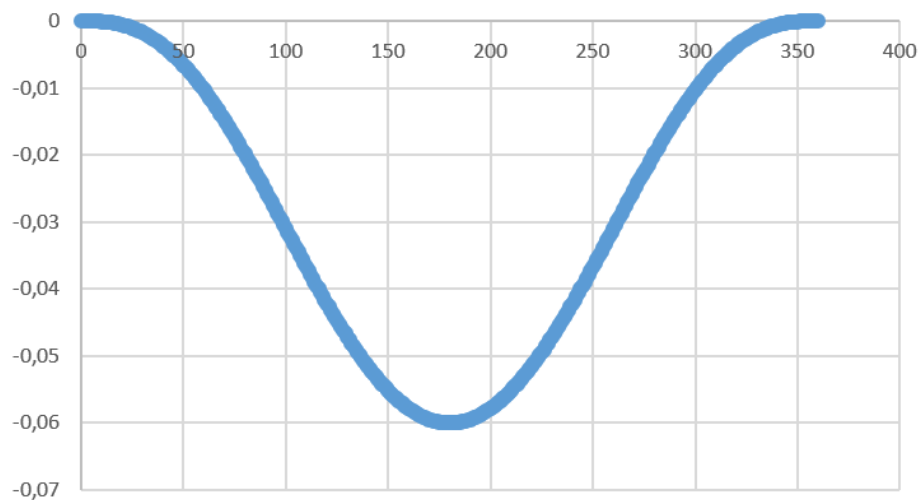
$$C_6 = 3.84$$

Solución particular:

$$S = -3.84 * \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + 11.52 * \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 - 11.52 * \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^5 + 3.84 * \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^6$$

Figura 80

Gráfica de posición angular de la leva en función de la posición del seguidor



Para hallar el tiempo que toma en dar una revolución:

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

$$\omega = 6.5188 \frac{\text{rad}}{\text{sg}} * \frac{360^\circ}{2\pi} = 373.50 \frac{\text{deg}}{\text{sg}}$$

$$t = \frac{\theta}{\omega}$$

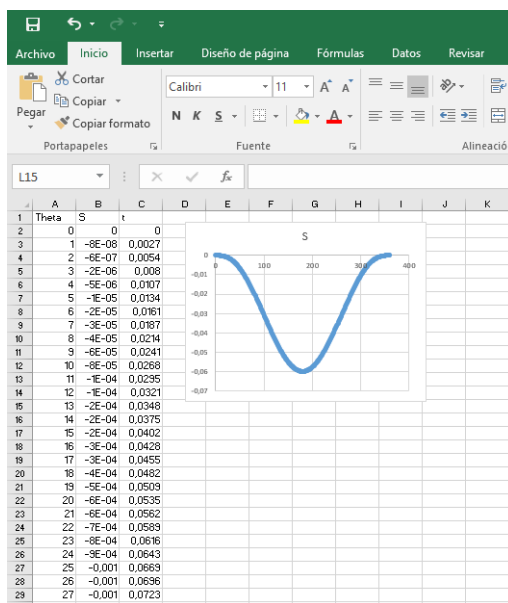
$$t = \frac{360 \text{ deg}}{373.5 \frac{\text{deg}}{\text{sg}}}$$

$$t = 0.9639 \text{ sg}$$

Para generar la leva en SolidWorks se calcula la posición y tiempo para cada uno de los 360°, las ecuaciones se grafican en Excel:

Figura 81

Tabla de datos para generar la leva



Debido a que se generan algunos errores durante la simulación hay que cambiar el punto de referencia, se suman 60 mm a todos los datos de la tabla, de este modo el seguidor empieza su recorrido en 60 mm y desciende hasta cero. Este cambio se observa en la siguiente figura:

Figura 82

Gráficas del comportamiento del seguidor SolidWorks

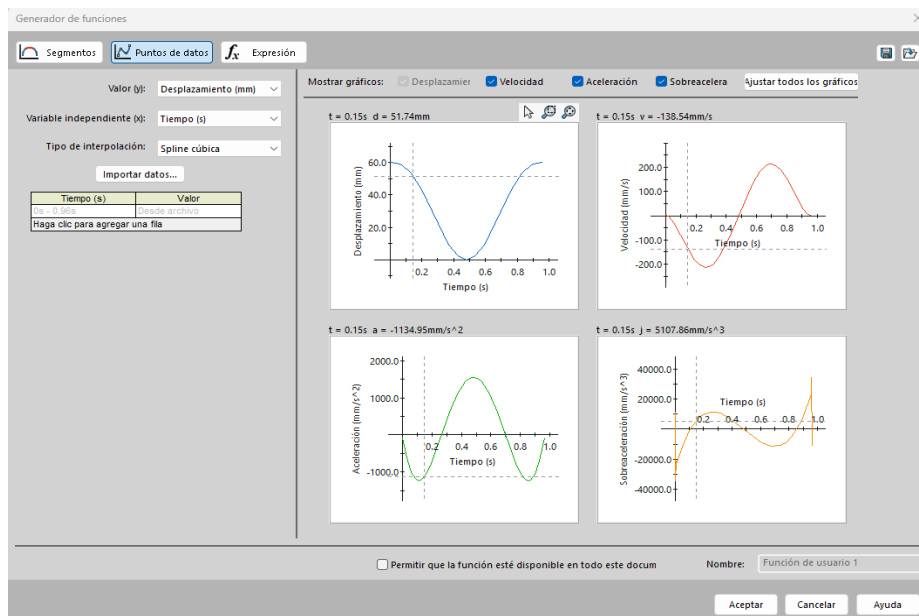


Figura 83

Pasos para generar el contorno de la leva excéntrica

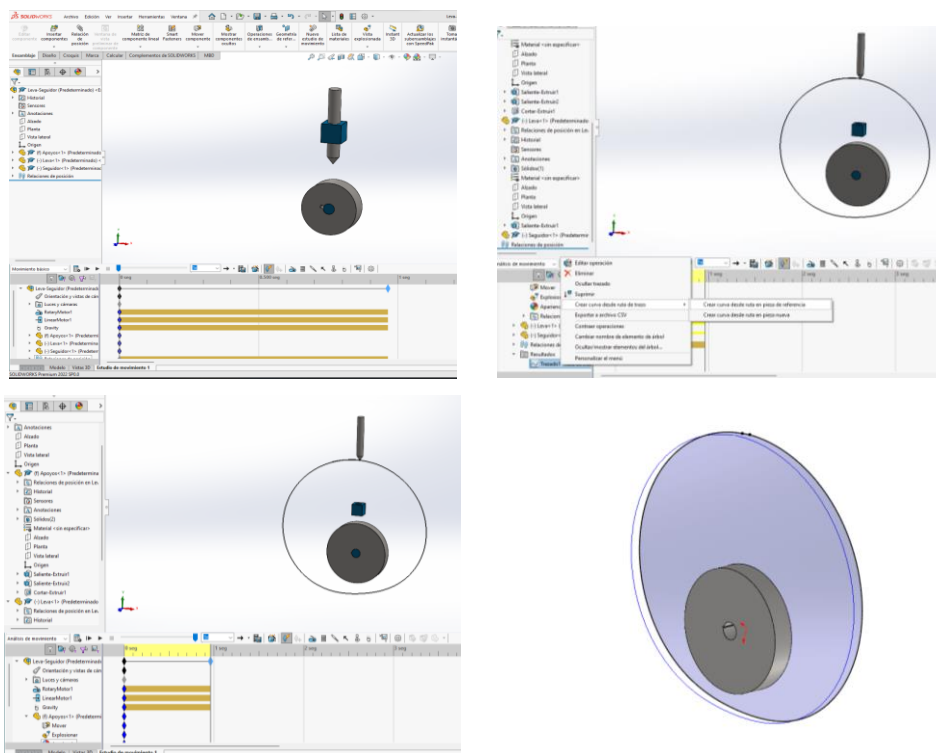
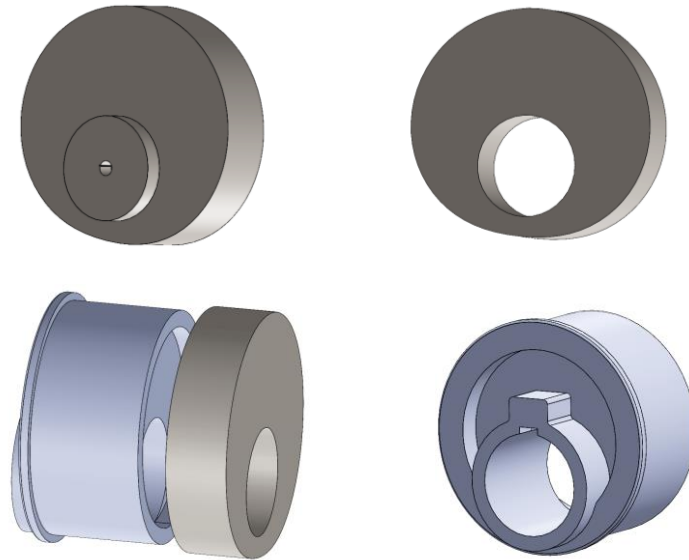


Figura 84

Diseño de rueda excéntrica a partir del contorno de la leva



Como se observa en las imágenes el elemento no es perfectamente redondo, por lo que fue modificado para facilitar el ensamble del seguidor y la leva que pasaría a ser una rueda excéntrica, debido a este cambio la trayectoria del seguidor no coincide con la tabla de datos, lo que en verdad importa es que la cuchilla se desplace los 6 centímetros, esto se comprueba mediante la simulación del diseño final de la rueda excéntrica.

Figura 85

Simulación rueda excéntrica

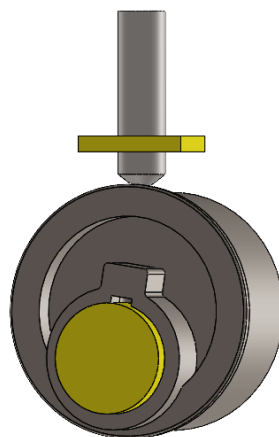
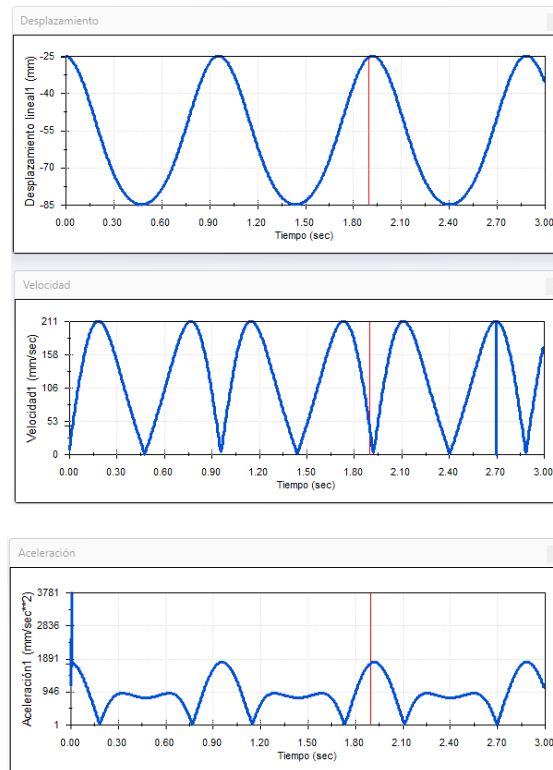


Figura 86

Gráficas de desplazamiento, velocidad y aceleración del seguidor



Nota. La rueda excéntrica cumple con los requisitos y se puede integrar al resto del modelo.

Figura 87

Rueda excéntrica con cierre de fuerza

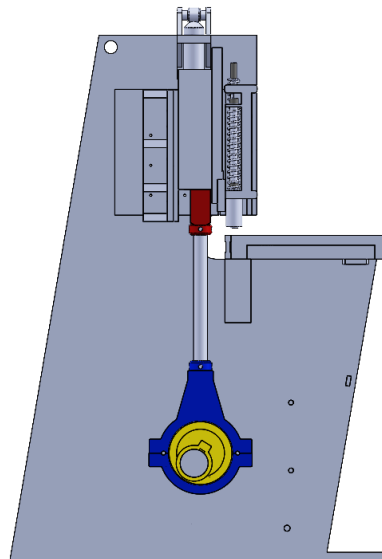
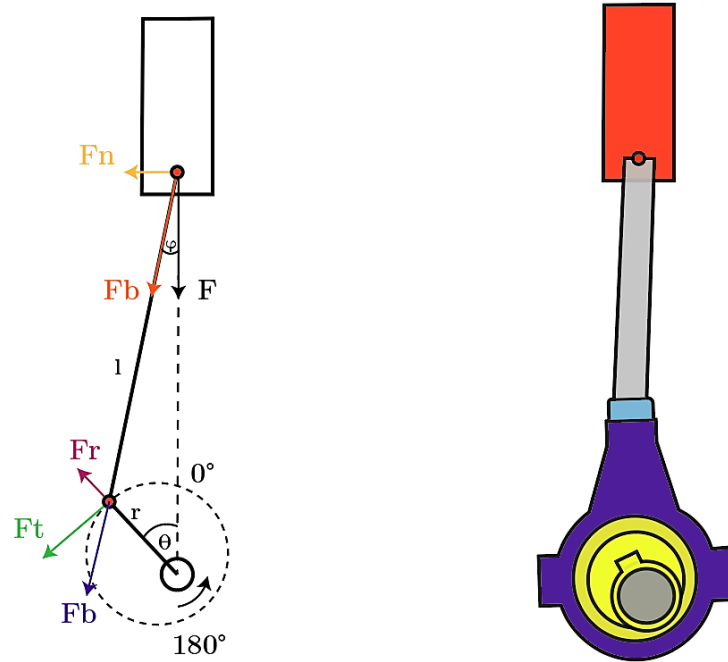


Figura 88

Diagrama de cuerpo libre de la rueda excéntrica



Se trata básicamente de un mecanismo biela-manivela por lo que el análisis se hace con las ecuaciones de dicho sistema.

$$r = 100 \text{ mm}$$

$$l = 520 \text{ mm}$$

Donde:

r : Radio de la rueda excéntrica

l : Longitud de la biela

θ : Ángulo de la manivela

φ : Ángulo entre la biela y el eje y

Para $\omega = cte \rightarrow \theta = \omega t$.

Se construyen los triángulos rectángulos “ rqs ” y “ lqu ” como se observa en la siguiente figura, por geometría:

$$q = r * \text{sen}(\theta) = l * \text{sen}(\varphi)$$

$$\theta = \omega t$$

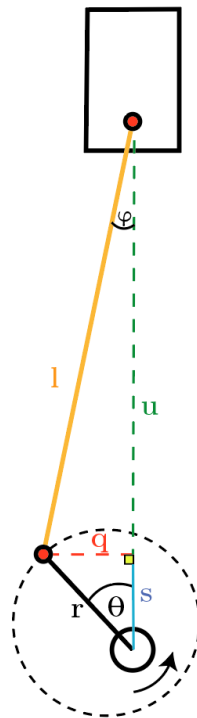
$$\text{sen}(\varphi) = \frac{r}{l} * \text{sen}(\omega t)$$

$$s = r * \cos(\omega t)$$

$$u = l * \cos(\varphi)$$

Figura 89

Geometría del mecanismo



Siendo "y" la posición instantánea del pistón:

$$y = s + u$$

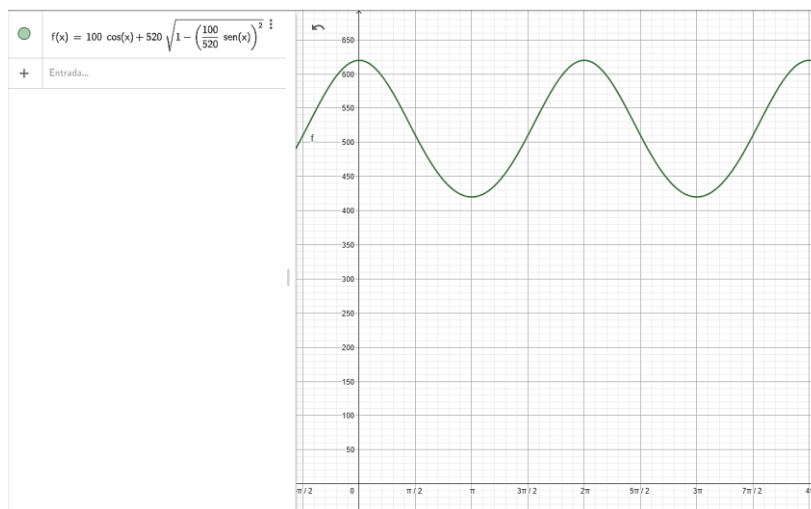
$$y = r * \cos(\omega t) + l * \cos(\varphi)$$

$$\cos(\varphi) = \sqrt{1 - \text{sen}^2(\varphi)} = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} * \text{sen}(\omega t)\right)^2}$$

$$y = r * \cos(\omega t) + l * \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} * \text{sen}(\omega t)\right)^2}$$

Figura 90

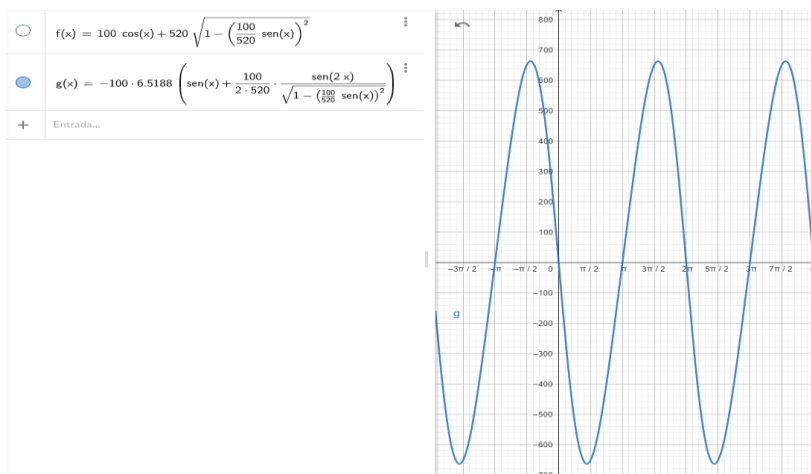
Gráfica de posición del portacuchillas [mm]



$$\dot{y} = -r\omega \left[\text{sen}(\omega t) + \frac{r}{2l} * \frac{\text{sen}(2\omega t)}{\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} * \text{sen}(\omega t)\right)^2}} \right]$$

Figura 91

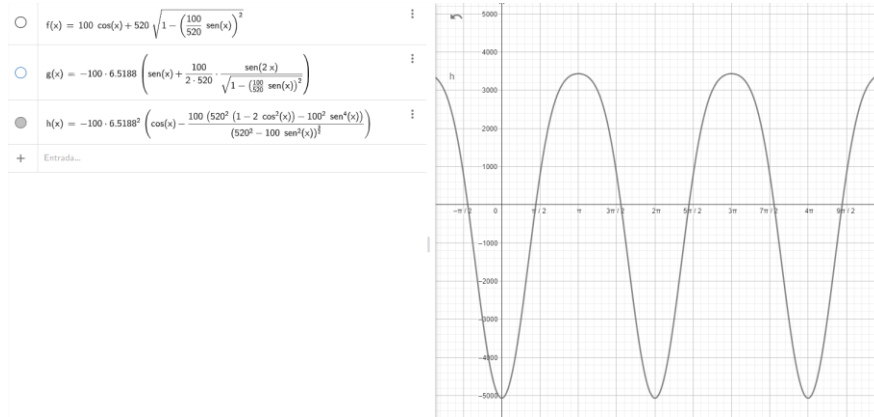
Gráfica de velocidad del portacuchillas [mm/sg]



$$\ddot{y} = -r\omega^2 \left\{ \cos(\omega t) - \frac{r[l^2(1 - 2\cos^2(\omega t)) - r^2\text{sen}^2(\omega t)]}{[l^2 - (r * \text{sen}(\omega t))^2]^{\frac{3}{2}}} \right\}$$

Figura 92

Gráfica de aceleración del portacuchillas [mm/(sg²)]



El cálculo del torque y potencia del mecanismo biela-manivela se realiza a partir de la masa del portacuchillas y el sujetador, juntos suman 310 Kg y se divide para los dos mecanismos de biela-manivela que soportan dicho peso, al resultado se le suma el par generado por la fuerza de inercia de la biela y la manivela para finalmente obtener el torque total.

$$F = m * g$$

$$F = 155 \text{ Kg} * 9.8 \frac{m}{sg^2} = 1519 \text{ N}$$

$$Fp = \frac{F}{\cos(\varphi)} = \frac{F}{\sqrt{1 - \left(\frac{r}{l} * \sin(\omega t)\right)^2}}$$

$$Fn = F * tg(\varphi)$$

Torque generado por el peso del portacuchillas y sujetador:

$$T_m = F * tg(\varphi) * \left[l - \frac{r^2}{4l} + r \left(\cos(\omega t) + \frac{r}{4l} \cos(2\omega t) \right) \right]$$

Torque generado por la inercia del mecanismo:

$$m_b = 25 \text{ Kg}$$

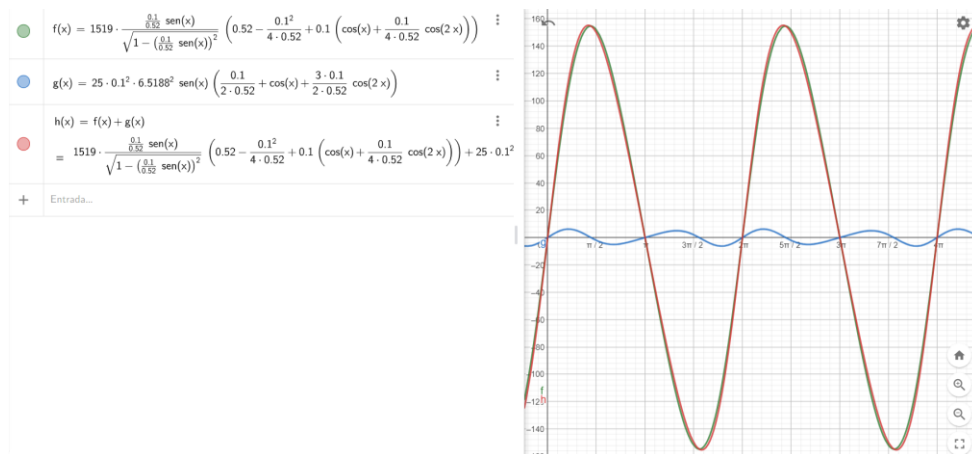
$$T_i = m_b * r^2 * \omega^2 * \sin(\omega t) \left(\frac{r}{2l} + \cos(\omega t) + \frac{3r}{2l} * \cos(2\omega t) \right)$$

Torque generado por el portacuchillas y el mecanismo:

$$T_R = T_m + T_i$$

Figura 93

Gráficas de torque, curva azul (T_i), curva verde (T_m) y curva roja (T_R)

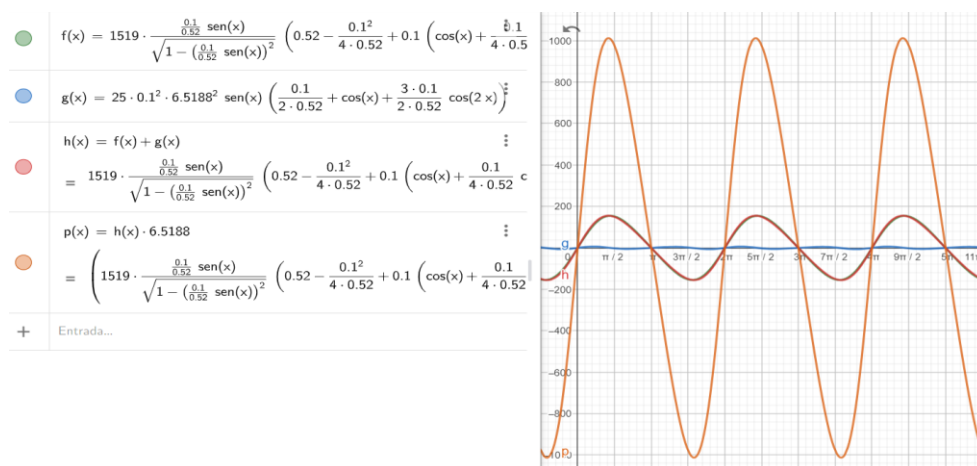


La potencia viene dada por:

$$Pot = T_R * \omega$$

Figura 94

Gráfica de potencia sin disco de inercia en función del ángulo de la manivela



Por lo tanto, el motor tiene la potencia necesaria para mover el mecanismo en vacío, tomando en cuenta la fuerza necesaria para cortar la plancha se tiene la siguiente ecuación:

$$T_c = Fc * tg(\varphi) * \left[l - \frac{r^2}{4l} + r \left(\cos(\omega t) + \frac{r}{4l} \cos(2\omega t) \right) \right]$$

Torque Total sin disco de inercia:

$$T_{Total} = T_m + T_i + T_c$$

Potencia Total sin disco de inercia:

$$P_{Total} = T_{Total} * \omega$$

Al aumentar el volante de inercia los picos de torque se reducen, esto depende del coeficiente de fluctuación de velocidad que se asume como $C_s = 0.07$, debido a que con este valor la potencia que se necesita para efectuar el corte es menor a la potencia que entrega el engrane conducido al mecanismo.

Torque Total con disco de inercia:

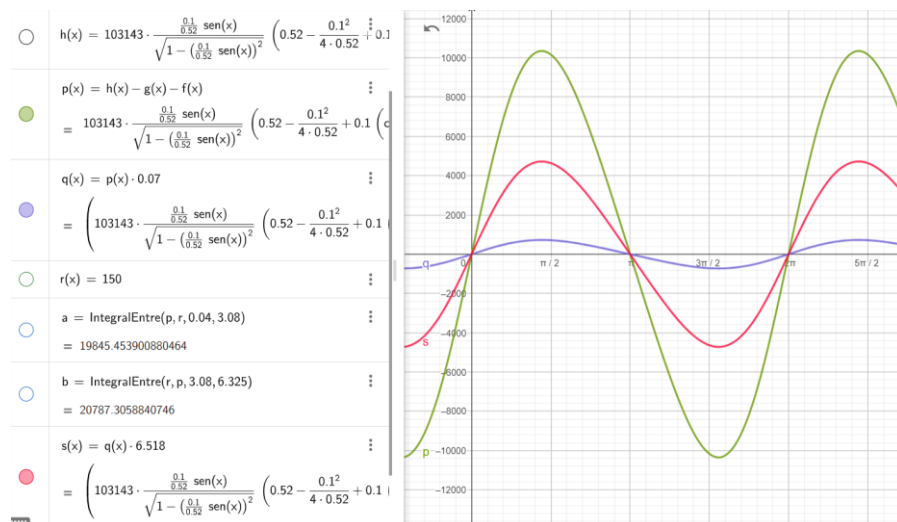
$$T_{VI} = T_{Total} * 0.09$$

Potencia Total con disco de inercia:

$$P_{VI} = T_{VI} * \omega$$

Figura 95

Gráfica de potencia sin disco de inercia en función del ángulo de la manivela



Nota. La función $p(x)$ corresponde al torque total sin disco de inercia, $q(x)$ corresponde al torque con disco de inercia y la función $s(x)$ corresponde a la potencia con disco de inercia.

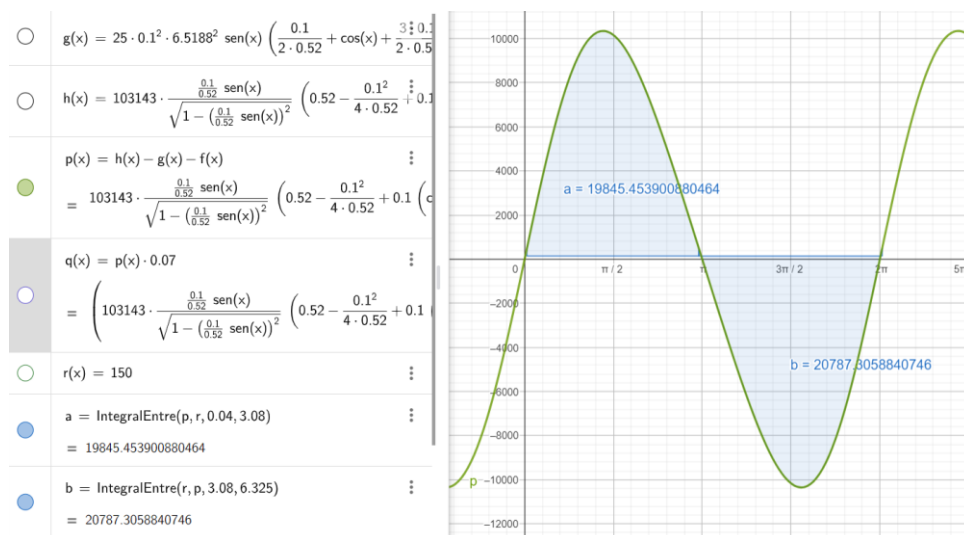
A partir del coeficiente de fluctuación de velocidad se calcula la inercia que debe tener el volante de inercia:

$$I = \frac{|E_2 - E_1|}{C_s * \omega^2}$$

La energía se calcula a partir del área bajo la curva de la gráfica de torque sin volante de inercia.

Figura 96

Energía en el volante de inercia

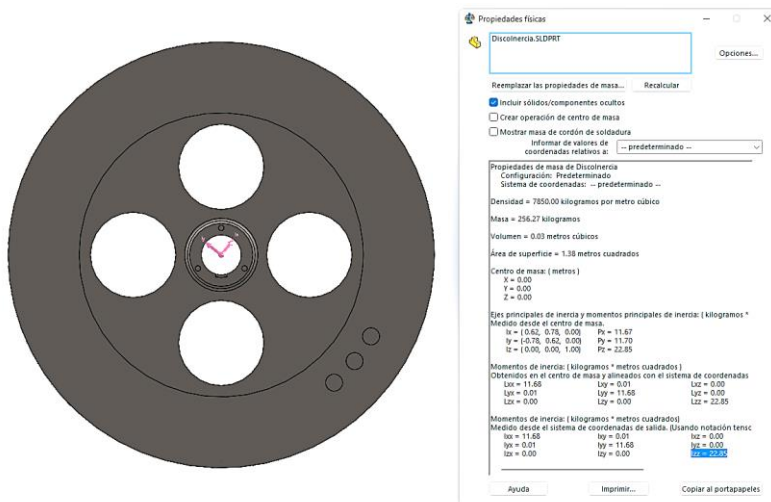


$$I = \frac{|19845.45 - 20787.30| J}{0.07 * \frac{25.65^2 \text{rad}}{\text{sg}}}$$

$$I = 20.45 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Figura 97

Valores de inercia calculados con SolidWorks



Diseño del Pedal

Figura 98

Ensamble entre el pedal y el embrague, vista frontal

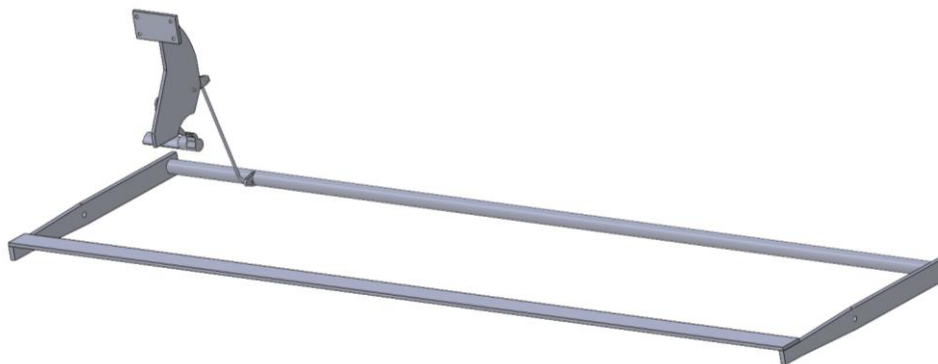


Figura 99

Ensamble entre el pedal y el embrague, vista posterior

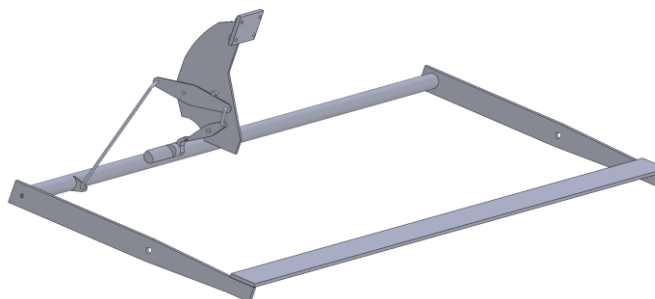
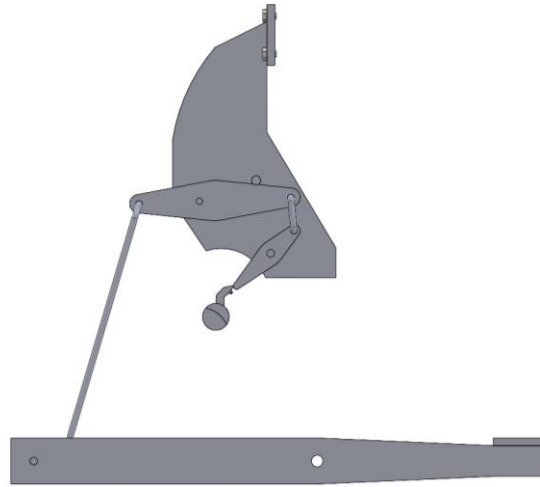
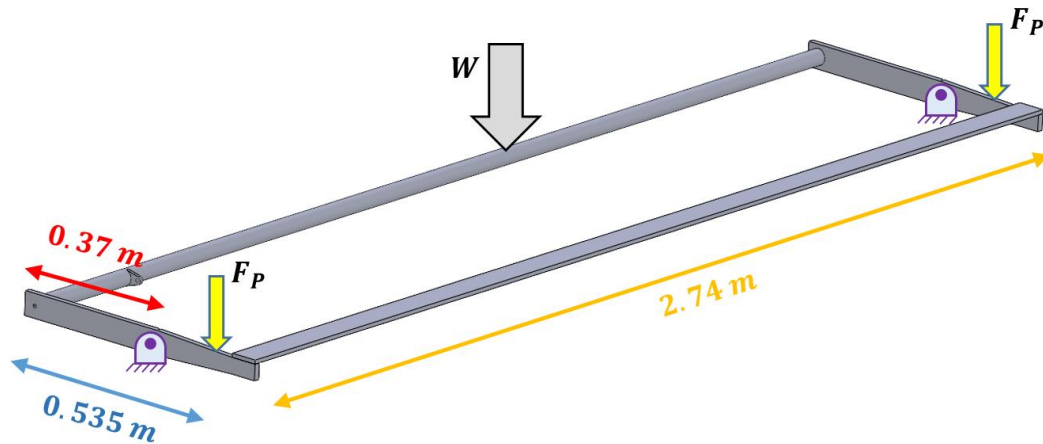


Figura 100*Ensamble entre el pedal y el embrague, vista lateral***Figura 101***Diagrama de cuerpo libre del pedal*

El pedal se mantiene en su posición por el peso del eje (W), para accionar el mecanismo los cilindros neumáticos deben levantar el eje que tiene una masa de 25 Kg.

$$W = 25 \text{ Kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{sg}^2}$$

$$W = 245 \text{ N}$$

Figura 102

Reacciones en los apoyos del eje del pedal

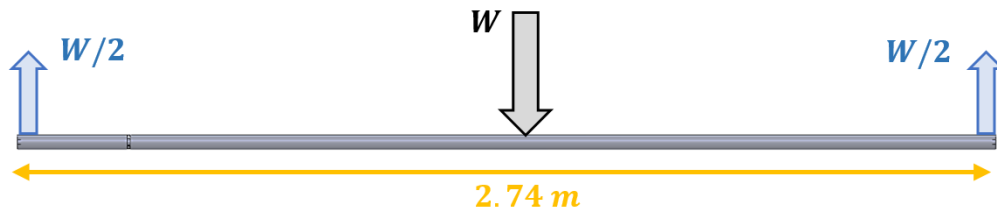
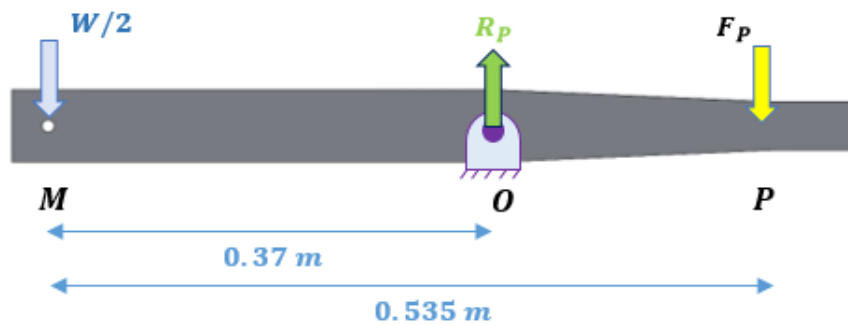


Figura 103

Diagrama de cuerpo libre de la palanca del pedal



$$\curvearrowright + \sum M_p = 0$$

$$-\frac{W}{2}(0.535 \text{ m}) - R_p(0.165 \text{ m}) = 0$$

$$\frac{245 \text{ N}}{2}(0.535 \text{ m}) = R_p(0.165 \text{ m})$$

$$R_p = 397.1969 \text{ N}$$

$$+ \sum F_y = 0$$

$$-\frac{W}{2} + R_p - F_p = 0$$

$$F_p = -\frac{W}{2} + R_p$$

$$F_p = -122.5 \text{ N} + 397.1969 \text{ N}$$

$$F_p = 274.6969 \text{ N}$$

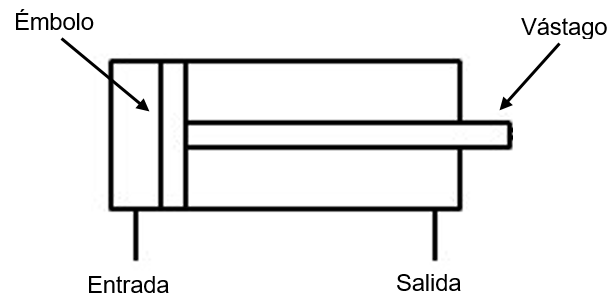
Selección de Cilindro Neumático

F_P : Carga

P_N : Presión de entrada

Figura 104

Cilindro de doble efecto



La mayoría de actuadores y herramientas neumáticas trabajan con una presión de 90 *Psi*, esto equivale a 0.6205 *MPa*, para accionar el pedal se maneja la misma presión en la entrada y salida del cilindro de doble efecto, con estas consideraciones se efectúa el cálculo de los diámetros del émbolo y el vástago.

$$P_N = \frac{F_P}{A}$$

$$A = \frac{F_P}{P_N}$$

$$A = \frac{274.6969 \text{ N}}{0.6205 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$A = 442.70 \text{ mm}^2$$

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

$$d = \sqrt{\frac{4 * 442.70}{\pi}} \text{ mm}$$

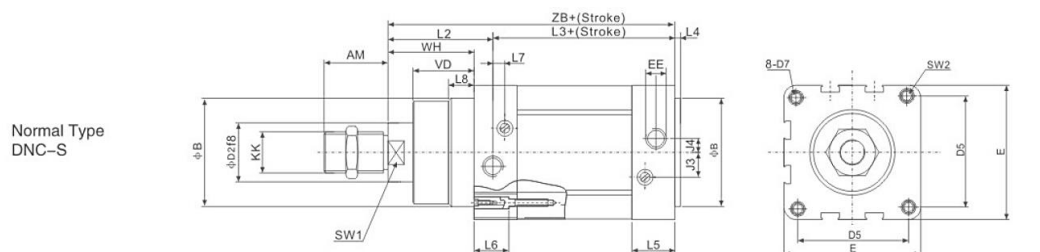
Diámetro del émbolo:

$$d = 23.74 \text{ mm}$$

El área del émbolo y el área efectiva del lado del vástago deben ser mayores al valor calculado, para cilindros neumáticos construidos según la norma ISO 6431 se tienen las siguientes dimensiones comerciales:

Figura 105

DNC Series ISO 6431 cilindros estándar



Dimension Sheet

Bore	AM	B	D2	D5	D7	E	EE(G)	J3	J4	KK	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	SW1	SW2	VD	WH	ZB
32	22	30	12	32.5	M6	45	1/8	6	5.2	M10×1.25	40	80	4	26	22	3.3	8	10	6	16	26	120
40	24	35	16	38	M6	54	1/4	8	6	M12×1.25	46	89	4	29.6	22	3.6	10	13	6	20	30	135
50	32	40	20	46.5	M8	64	1/4	10	8.5	M16×1.5	54	90	4	30	22	5.1	10	17	8	27	37	144
63	32	45	20	56.5	M8	75	3/8	12.4	10	M16×1.5	57	101	4	35.5	22	6.6	10	17	8	27	37	158
80	40	45	25	72	M10	93	3/8	12.5	8	M20×1.5	65	109	4	36	25	10.5	10	22	10	34.5	46	174
100	40	55	25	89	M10	110	1/2	11.8	10	M20×1.5	71	118	4	39	25	8	12.5	22	10	38	51	189
125	54	60	32	110	M12	134	1/2	13	8	M27×2	95	128	6	44.7	30	14	12.5	28	12	46	65	223

Área efectiva del émbolo:

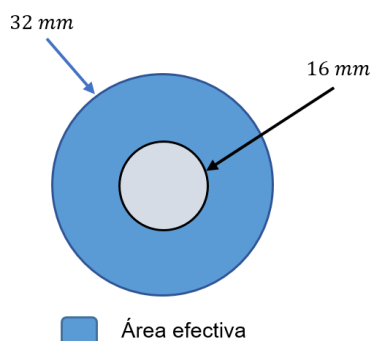
$$A_e = \frac{d_e^2 * \pi}{4}$$

$$A_e = \frac{32^2 * \pi}{4} \text{ mm}^2$$

$$A_e = 804.25 \text{ mm}^2$$

Figura 106

Área efectiva para retorno del vástago



$$A_v = \frac{d_v^2 * \pi}{4}$$

$$A_v = \frac{10^2 * \pi}{4} \text{ mm}^2$$

$$A_v = 78.54 \text{ mm}^2$$

$$A_{ev} = 804.25 \text{ mm}^2 - 78.54 \text{ mm}^2$$

$$A_{ev} = 725.71 \text{ mm}^2$$

Se selecciona el cilindro Serie ISO 6431 DNC 32X50-S

Tabla 6

Especificaciones cilindro DNC 32X50-S

Patrón de Movimiento	Acción doble
Trabajo medio	Aire filtrado
Presión de Compresión	1.5 MPa
Máx. Presión de Trabajo	1.0 MPa
Mín. Presión de Trabajo	0.05 MPa
Velocidad de operación	50 – 800 mm/sg
Magneto	Si

Cálculo del Calibre del Cable para la Instalación Eléctrica del Motor

El calibre del cable se utiliza en base a la corriente:

$$I = \frac{1.25xPN}{\sqrt{3} * V_m * fp}$$

Donde:

PN : Potencia en watts

V_m : Voltios

fp : Factor de potencia

$$I = \frac{1.25 * 5.6 \text{ kW}}{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 0.85}$$

$$I = 21.61 \text{ A}$$

Figura 107

Amperaje que soportan los cables de cobre según la AWG

Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A	18 AWG	10 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A		
6 AWG	55 A	65 A	75 A	16 AWG	13 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A	14 AWG	18 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A	12 AWG	25 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Diseño del eje principal

En función del torque y el peso del portacuchillas que soporta el eje se calcula su diámetro mínimo

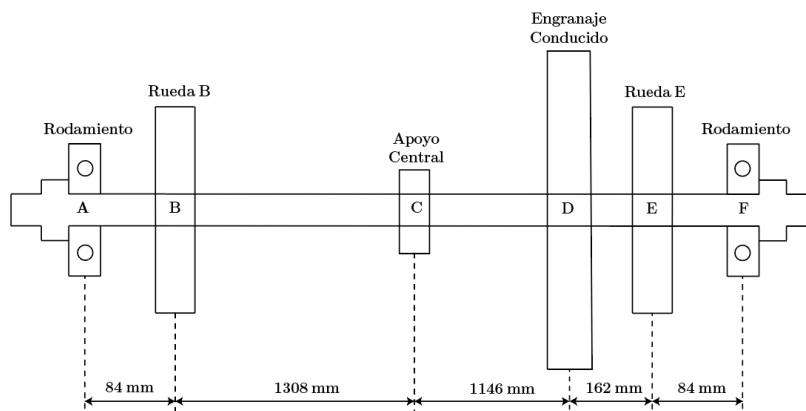
Figura 108

Eje que transmite la potencia del engranaje conducido al portacuchillas



Figura 109

Diagrama de cuerpo libre del eje al accionar el pedal



Potencia en el engranaje conducido:

$$P_D = 5.43 \text{ kW}$$

Torque en el engrane conducido

$$T_D = \frac{P_D}{W_D}$$

$$T_D = \frac{5.43 \text{ kW}}{62.25 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ sg}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}} = 832.974 \text{ Nm}$$

$$F_D = \frac{T_D}{r_D} = \frac{832.974 \text{ Nm}}{0.222 \text{ m}} = 3752.13 \text{ N}$$

El torque se divide en igual medida entre las ruedas excéntricas B y E

$$T_B = T_E \quad y \quad F_B = F_E$$

$$T_B = \frac{832.974 \text{ Nm}}{2} = 416.487 \text{ Nm}$$

$$F_B = \frac{T_B}{r_B}$$

$$F_B = \frac{416.487 \text{ Nm}}{0.105 \text{ m}} = 3966.54 \text{ N}$$

Figura 110

Diagrama de fuerzas y momentos sobre el eje principal

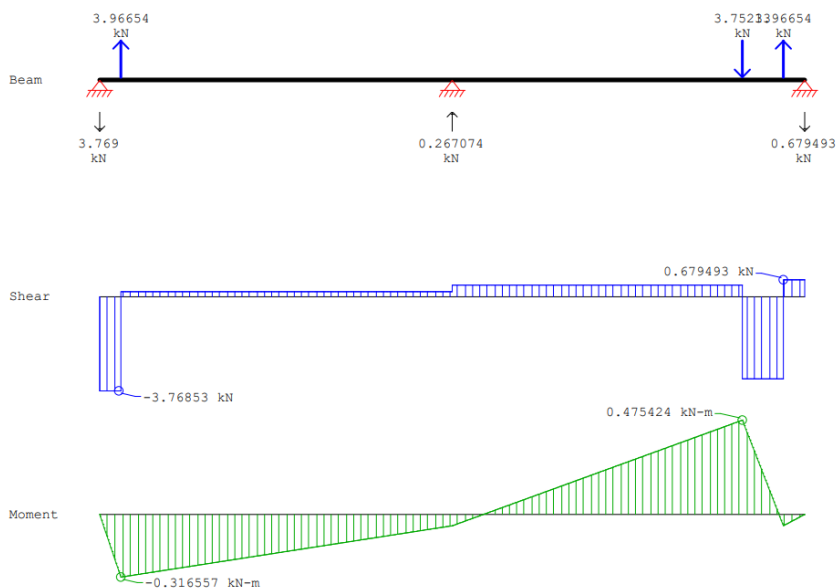
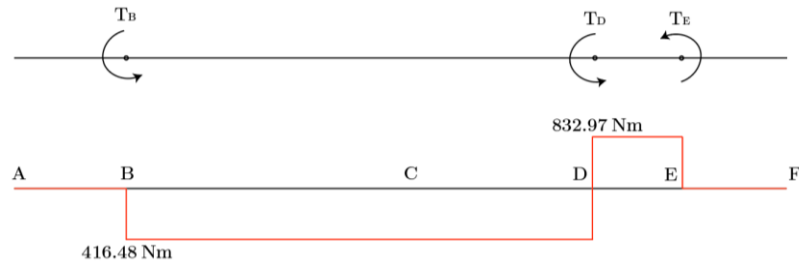


Figura 111

Diagrama de torques en el eje principal



Momento resultante máximo ocurre en el punto E:

$$M_R = \sqrt{(832.97 \text{ Nm})^2 + (475.42 \text{ Nm})^2}$$

$$M_R = 959.09 \text{ Nm}$$

Esfuerzo cortante torsional:

$$\frac{J}{c} = \frac{M}{\tau}$$

Se usa un acero SAE 1045 para el eje

$$S_y = 450 \text{ MPa}$$

El tipo de carga es choque torsional, por lo tanto, el factor de diseño es $N = 6$

El esfuerzo cortante de diseño es:

$$\tau_d = \frac{S_{ys}}{N} = \frac{S_y}{2N}$$

$$\tau_d = \frac{450 \text{ MPa}}{2 * 6} = 37.5 \text{ MPa}$$

Diámetro mínimo del eje:

$$\frac{\pi r^3}{2} = \frac{959094.98 \text{ Nmm}}{37.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{959094.98 \text{ Nmm}}{37.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} * \frac{2}{\pi}} = 25.34 \text{ mm}$$

$$d > 50.69 \text{ mm}$$

Diseño del eje para el disco de inercia

Figura 112

Eje que transmite la potencia del disco de inercia al engrane conductor

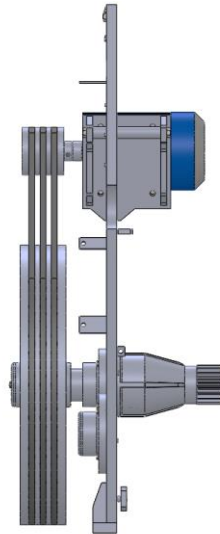
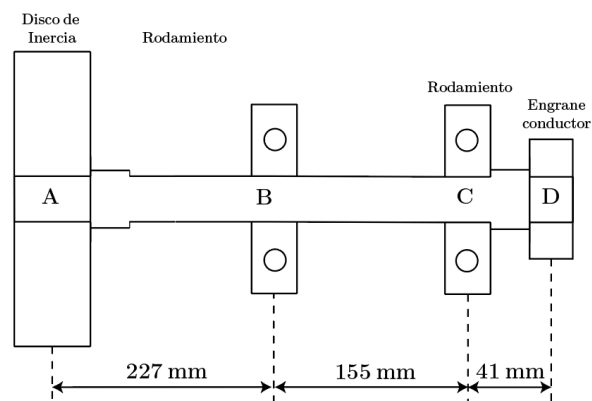


Figura 113

Diagrama de cuerpo libre del eje del disco de inercia



El disco de inercia recibe la potencia del motor integra:

$$P_I = 5.6 \text{ kW}$$

Peso del disco de inercia:

$$P_I = 1960 \text{ N}$$

$$T_A = \frac{P_A}{W_A}$$

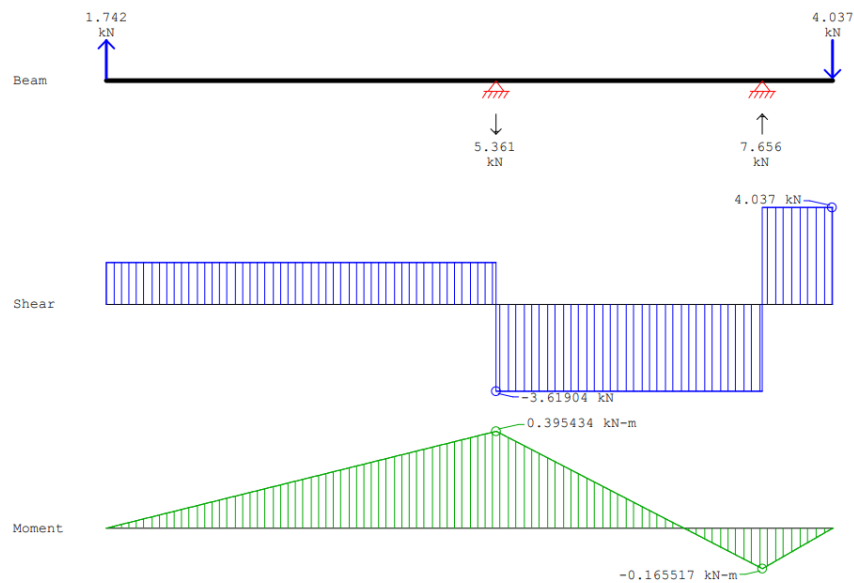
$$T_A = \frac{5.6 \text{ kW}}{245 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ sg}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}}} = 218 \text{ Nm}$$

$$F_A = \frac{T_A}{r_A} = \frac{218 \text{ Nm}}{0.355 \text{ m}} = 614.08 \text{ N}$$

$$F_D = \frac{218 \text{ Nm}}{0.054} = 4037.03 \text{ N}$$

Figura 114

Grafica de fuerzas y momentos sobre el disco de inercia



Momento resultante máximo ocurre en el punto B:

$$M_R = \sqrt{(395.43 \text{ Nm})^2 + (218 \text{ Nm})^2}$$

$$M_R = 451.54 \text{ Nm}$$

Esfuerzo cortante torsional:

$$\frac{J}{c} = \frac{M}{\tau}$$

Se usa un acero SAE 1045 para el eje

$$S_y = 450 \text{ MPa}$$

El tipo de carga es repetida, por lo tanto, el factor de diseño es $N = 4$

El esfuerzo cortante de diseño es:

$$\tau_d = \frac{S_{ys}}{N} = \frac{S_y}{2N}$$

$$\tau_d = \frac{450 \text{ MPa}}{2 * 4} = 56.25 \text{ MPa}$$

Diámetro mínimo del eje:

$$\frac{\pi r^3}{2} = \frac{451540.57 \text{ Nmm}}{56.25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{451540.57 \text{ Nmm}}{56.25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} * \frac{2}{\pi}} = 17.22 \text{ mm}$$

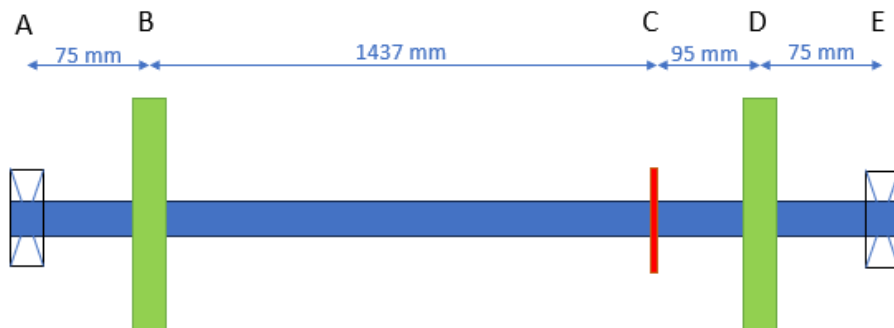
$$d > 34.45 \text{ mm}$$

Diseño del Eje de la Guía para las Planchas

Para realizar el diseño del eje y determinar los esfuerzos a los cuales puede estar sometido. Se conoce que la longitud del eje debe ser de al menos 1682 mm, en AISI 1020 estirado en frío. La Figura 115 muestra gráficamente el planteamiento del diseño del eje y los elementos que se encontrarán en el mismo como engranes y catarina.

Figura 115

Diagrama de elementos sobre el eje de guía



En la Figura 115 se observan los elementos que se encontrarán en el eje de la guía de material, es así, que en los puntos B y D se encuentran engranajes rectos que transmitirán el movimiento circular a una cremallera; el punto C es una catarina que recibirá la potencia de un

motor mediante cadena y los puntos de apoyo A y E corresponden a la sujeción del eje a las cajas de engranajes.

El diseño del eje presentaría los siguientes datos adicionales a los que ya se indicaron: Los engranajes rectos en B y D poseen un diámetro 99.75 mm, con un ángulo de presión de 20° . El eje es impulsado mediante un motor eléctrico que provee 100 W de potencia y gira a 3450 rpm.

Determinación de la Velocidad de Giro del Eje: Mediante la ecuación de relación de velocidad del eje y el motor impulsor se calcula la velocidad a la cual podrá girar el eje con el motor mediante la Catarina en el punto C. Las catarinas que se encuentran ubicadas sobre el eje que posee el mismo diámetro que el eje del motor eléctrico de 45 mm.

$$N_1 * D_1 = N_2 * D_2$$

Despejando N_2 de la ecuación se obtiene que la velocidad del motor es:

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

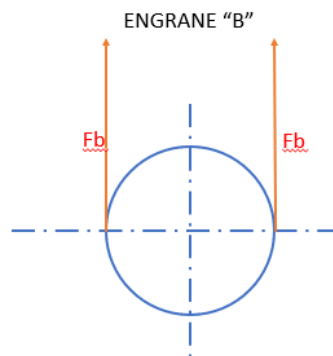
$$N_2 = \frac{3450 * 45}{45}$$

$$N_2 = 3450 \text{ rpm}$$

Cálculo de Torques y Fuerzas

Figura 116

Diagrama de cuerpo libre del engranaje en el punto B



Las fuerzas que se producen en el punto B del eje debido al engranaje recto pueden ser consideradas iguales a las que se producen en el punto D, dado que ambos engranes poseen las mismas características físicas y mecánicas.

Fórmula de torque en engranaje recto

$$Tb = 974 \frac{kW}{N_2}$$

Fórmula de fuerza tangencial y fuerza radial en el engranaje recto

$$Ft = \frac{T}{D}$$

$$Fr = Ft * \tan \theta$$

$$Tb = 974 * \frac{0.05}{3450}$$

$$Ft = \frac{\frac{0.014}{0.09975}}{2}$$

$$Ft = 0.28N$$

$$Fr = 0.28 * \tan(20^\circ)$$

$$Fr = 0.102N$$

De los valores obtenidos en las fuerzas y torque en el engranaje recto en el punto B se determina que en el plano XZ actúa la fuerza radial y en el plano XY actúa la fuerza tangencial, esto debido a que no existe una desviación angular entre el engranaje rector y la cremallera encargada de acoplar el movimiento a la guía de la cortadora. También es importante recalcar que gracias a que el engranaje en D posee las mismas características mecánicas y geométricas las fuerzas de este serán iguales a las que se producen en B.

$$Fb = Fd$$

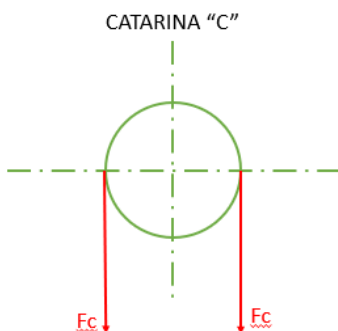
$$Tb = Td$$

$$Ft_b = Ft_d$$

$$Fr_b = Fr_d$$

Figura 117

Diagrama de cuerpo libre de la Catarina en el punto C



$$Tc = 974 * \frac{0.1}{3450}$$

$$Tc = 0.028Nm$$

$$Fc = \frac{0.028}{\frac{0.045}{2}}$$

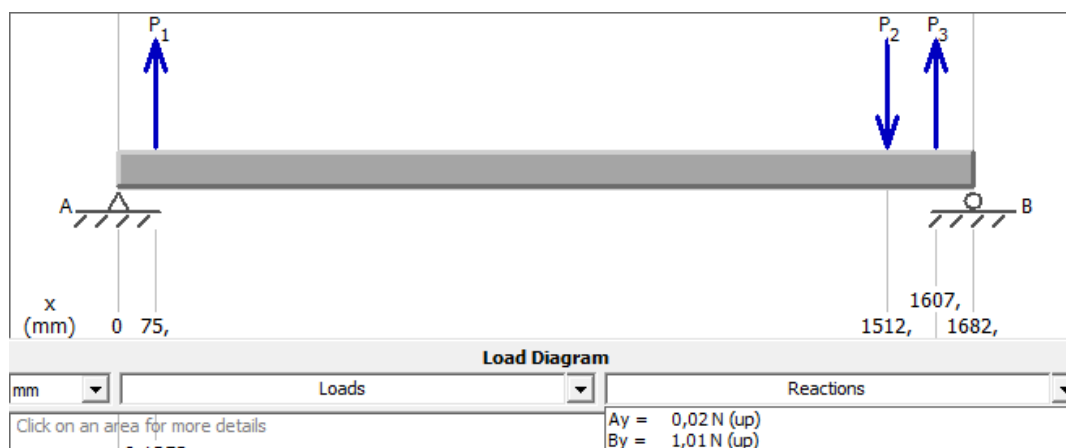
$$Fc = 1.24N$$

Cálculo de Reacciones en los Puntos de Apoyo: A continuación, mediante el software Md-Solid se realizará el cálculo de fuerzas cortantes y momentos sobre el eje en todos los puntos de apoyo y en los planos XY y XZ.

Reacciones por parte de los rodamientos en el Plano XY.

Figura 118

Reacciones en los rodamientos del eje en el plano XY



$$A_y = 0.02N$$

$$E_y = 1.01N$$

Figura 119

Fuerzas cortantes y momentos en el plano XY

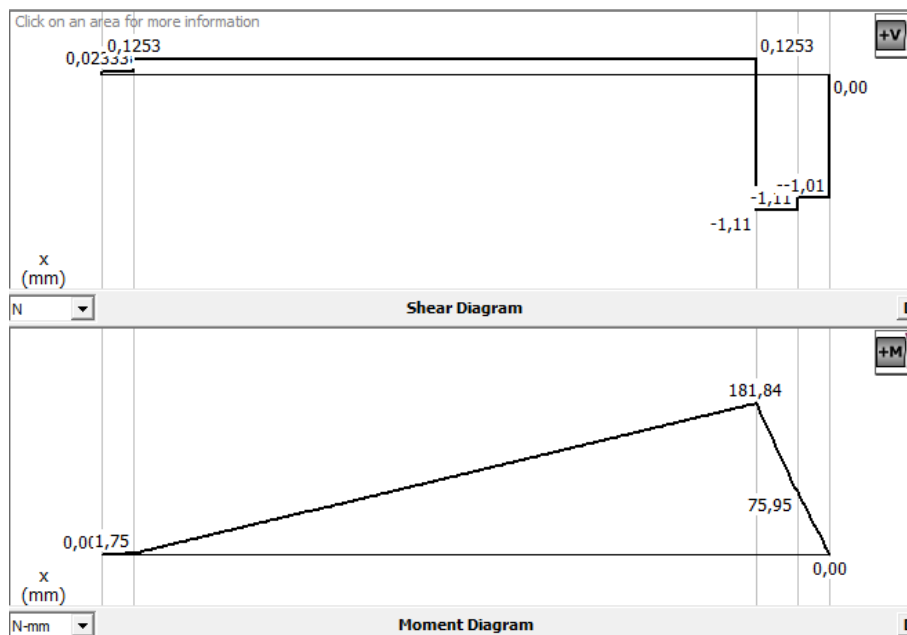
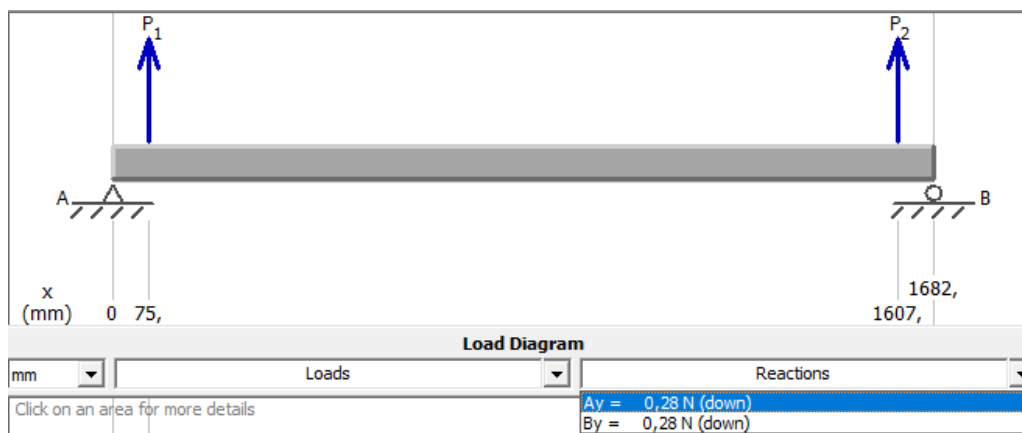


Figura 120

Reacciones en los rodamientos del eje en el plano XZ

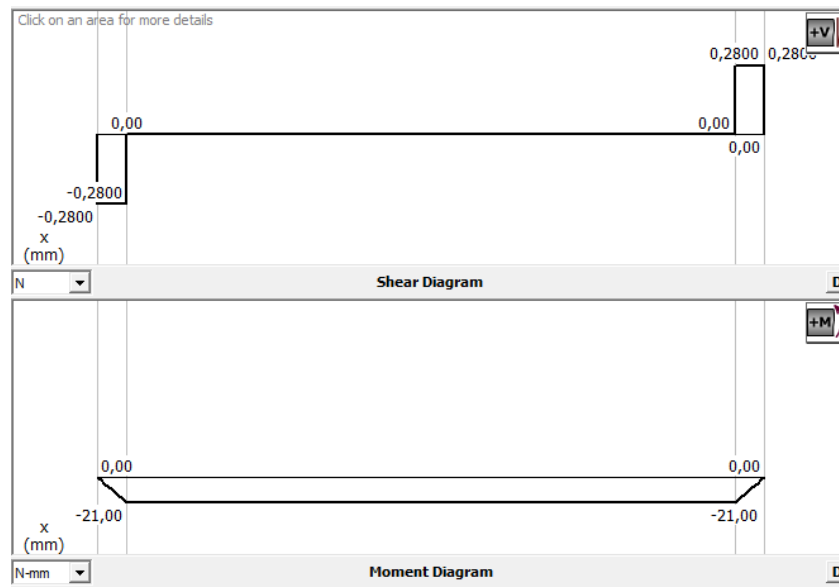


$$A_z = 0.28N$$

$$E_z = 0.28N$$

Figura 121

Fuerzas cortantes y momentos en el plano XZ



Momentos en el punto A:

$$M_A = \sqrt{(M_{A_z})^2 + (M_{A_y})^2}$$

$$M_A = \sqrt{0 + 0} = 0$$

Momentos en el punto B:

$$M_B = \sqrt{(M_{B_z})^2 + (M_{B_y})^2}$$

$$M_B = \sqrt{(-0,21)^2 + (1,75)^2}$$

$$M_B = 0,02107 Nm$$

Momentos en el punto C:

$$M_C = \sqrt{(M_{C_z})^2 + (M_{C_y})^2}$$

$$M_C = \sqrt{(0)^2 + (181,84)^2}$$

$$M_C = 0,1818 Nm$$

Momentos en el punto D:

$$M_D = \sqrt{(M_{Dz})^2 + (M_{Dy})^2}$$

$$M_D = \sqrt{(-21)^2 + (75.95)^2}$$

$$M_D = 0.07879Nm$$

Momentos en el punto E:

$$M_E = \sqrt{(M_{Ez})^2 + (M_{Ey})^2}$$

$$M_E = 0$$

Cálculo del Diámetro del Eje: Dado que se obtuvo el momento máximo y fuerzas cortantes sobre el eje, es posible determinar el diámetro que éste deberá tener. De la Tabla 7-1 del libro de “Diseño en ingeniería Mecánica de Shigley” (Budynas & Nisbett, 2015), se seleccionan los factores de concentración de esfuerzo a flexión y torsión, con un filete de hombro agudo:

$$\frac{r}{D} = 0.02$$

$$K_t = 2.7$$

$$K_{ts} = 2.2$$

De igual forma se determinan los valores de sensibilidad de la muesca “ q ” usando las Figuras 6-20 y Figura 6-21 del libro de Shigley mediante la resistencia a la tensión de 470 MPa, dando que:

$$q = 0.8$$

$$q_s = 0.9$$

Con estos datos es posible determinar el factor de concentración de esfuerzo a la fatiga.

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

Factor de concentración del esfuerzo a la fatiga

$$K_f = 1 + 0.8(2.7 - 1)$$

$$K_f = 2.4$$

Para determinar el factor geométrico de la concentración de esfuerzo se emplea

$$K_{fs} = 1 + q_s(K_{ts} - 1)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.9(2.2 - 1)$$

$$K_{fs} = 2.1$$

Utilizando la teoría de Von Mises se determina el valor del diámetro

$$d = \left(\frac{16 * n}{\pi * S_y} \left((4K_f M)^2 + 3(K_{fs} T)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = \left(\frac{16 * (2.5)}{\pi * 420} \left((4 * 2.4 * 0.1818)^2 + 3(2.1 * 0.028)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0.024856m$$

$$d = 24.856mm$$

Del cálculo anterior se determina que el eje debe medir 25 mm de diámetro de manera estándar y garantizando un factor de seguridad de 2.5 como lo menciona (Budynas & Nisbett, 2015) para diseños de ejes; así el eje será capaz de soportar las cargas que se aplicarán por los engranajes rectos y la catarina.

Cálculo de Esfuerzos en el Eje: Una vez determinado el diámetro del eje es posible calcular qué esfuerzos se hacen presentes, como el alternante y el esfuerzo cortante alternante al que estará sometido.

Esfuerzo alternante:

$$\sigma_a = K_f \frac{32M}{\pi d^3}$$

Esfuerzo medio:

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16T}{\pi d^3}$$

Utilizando las ecuaciones anteriores se determinan los esfuerzos alternantes y medios en el eje, utilizando los factores de concentración antes determinados.

$$\sigma_a = 2.4 * \frac{32 * 0.1818}{\pi(0.025)^3}$$

$$\sigma_a = 284.43MPa$$

$$\tau_a = 2.1 * \frac{16 * 0.028}{\pi(0.025)^3}$$

$$\tau_a = 19165.82MPa$$

Diseño de los Engranajes Rectos

Con el diámetro definido de los engranajes que estarán colocados sobre el eje de la guía se realiza el análisis para su posterior fabricación, para ello se cuentan con la siguiente información sobre el diseño de los mismos: la potencia que deben transmitir es 50 W, la velocidad a la que girará el engranaje es de 3450 rpm, el número de dientes será 18 y se optará por un ángulo de presión estándar de 20°.

Para realizar el diseño del engranaje recto, se hará uso del libro “Diseño de elementos de máquinas” de (Mott, 2006), es así que la geometría de diseño final del engranaje será:

Módulo de la rueda o engranaje

$$m = \frac{Dr}{Nr}$$

$$m = \frac{99.75}{18}$$

$$m = 5.54$$

Diámetro exterior del engranaje

$$de = m(Nr + 2)$$

$$de = 5.5(18 + 2)$$

$$de = 110 \text{ mm}$$

Paso circular del engranaje

$$P_c = \pi * m$$

$$P_c = \pi * 5.5$$

$$P_c = 17.27 \text{ mm}$$

Espesor del diente

$$e = \frac{P_c}{2}$$

$$e = \frac{17.27}{2}$$

$$e = 8.63 \text{ mm}$$

$$h = 2.25 m$$

Altura del diente

$$h = 2.25 * 5.5$$

$$h = 12.37 \text{ mm}$$

Adendum del engranaje

$$a_c = m$$

$$a_c = 5.5 \text{ mm}$$

Dedendum del engranaje

$$a_p = 1.25 m$$

$$a_p = 1.25 * 5.5$$

$$a_p = 6.87 \text{ mm}$$

Ancho de cara del engranaje

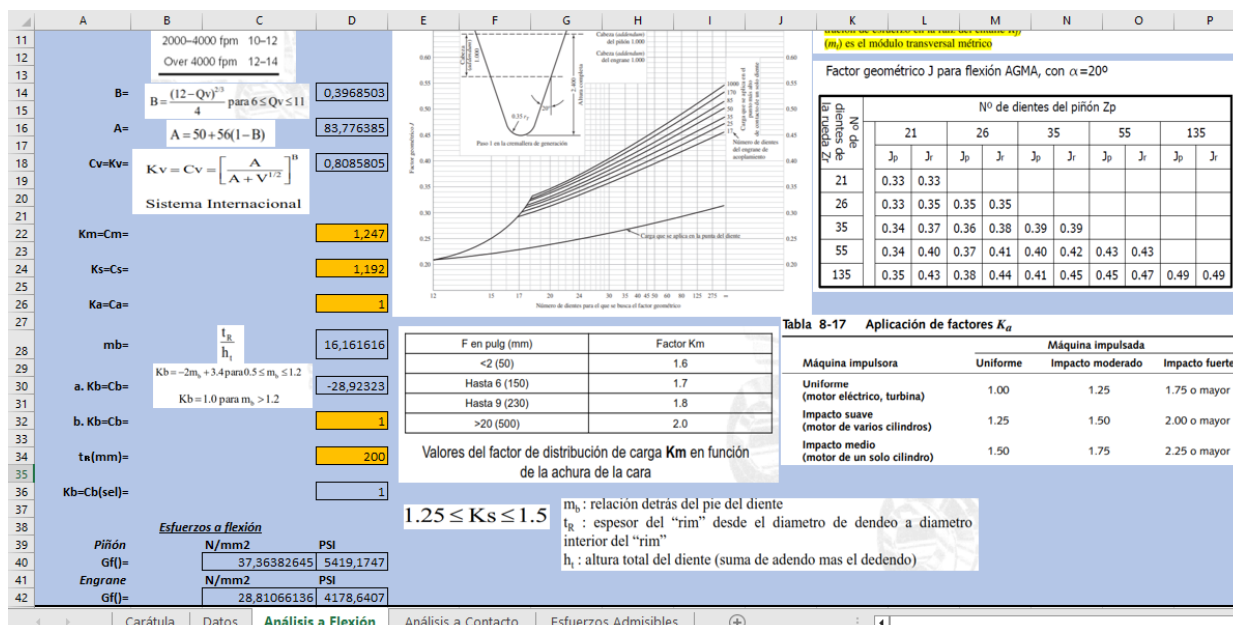
$$F = 38 \text{ mm}$$

Cálculo de Esfuerzos de Flexión y Admisibles: Con los datos de la geometría base del engranaje se procede a realizar los demás cálculos necesarios para obtener el análisis de flexión y esfuerzos al contacto.

Para ello luego de un proceso de cálculo y utilizando las herramientas que provee el libro “Diseño de elementos de máquinas” de (Mott, 2006) y una calculadora programada en el software Excel para cálculos de engranajes rectos, la misma que fue realizada por los autores de este proyecto, con el propósito de simplificar el cálculo matemático como se observa en la Figura 122 se obtiene la siguiente información.

Figura 122

Calculadora de engranajes rectos en el software Excel



Ecuación del esfuerzo a flexión de un engranaje recto

$$\sigma = W_t * K_0 * K_v * K_s * \frac{1}{Fm} * \frac{K_H * K_v}{J}$$

$$\sigma = 0.28 * 1 * 1 * 1.192 * \frac{1}{38 * 5.5} * \frac{1.247 * 0.808}{0.415}$$

$$\sigma = 28.81MPa$$

Ecuación del esfuerzo al contacto

$$\sigma_c = C_p \sqrt{W_t * K_0 * K_v * K_s * \frac{K_H * C_v}{d_p * F * I_g}}$$

$$\sigma_c = 187.02 \sqrt{0.28 * 1 * 0.808 * 1.192 * \frac{1.07}{99 * 38 * 0.12}}$$

$$\sigma_c = 455.39MPa$$

Sistema de Control de la Máquina de Corte Automática

El proceso de corte en la cizalladora automática se llevará a cabo a través de un proceso simple, el cual será controlado a través de un HMI que se podrá visualizar en una pantalla Nextion, esto debido a que la mayoría de cortadoras automáticas en el mercado poseen una pantalla ya sea táctil o con botones de interacción física.

Por otro lado, el HMI deberá contar con un “Inicio de Sesión” al cual solo podrá ingresar el personal autorizado para posteriormente modificar los parámetros de operación como longitud de corte, encendido, apagado del motor principal y número de cortes a realizar, también contará con un indicador visual del estado de operación. Para simplificar el proceso de operación y corte se establece el diagrama de flujo en donde se detalla a breves rasgos como deberá funcionar la cizalladora automática para planchas de metal.

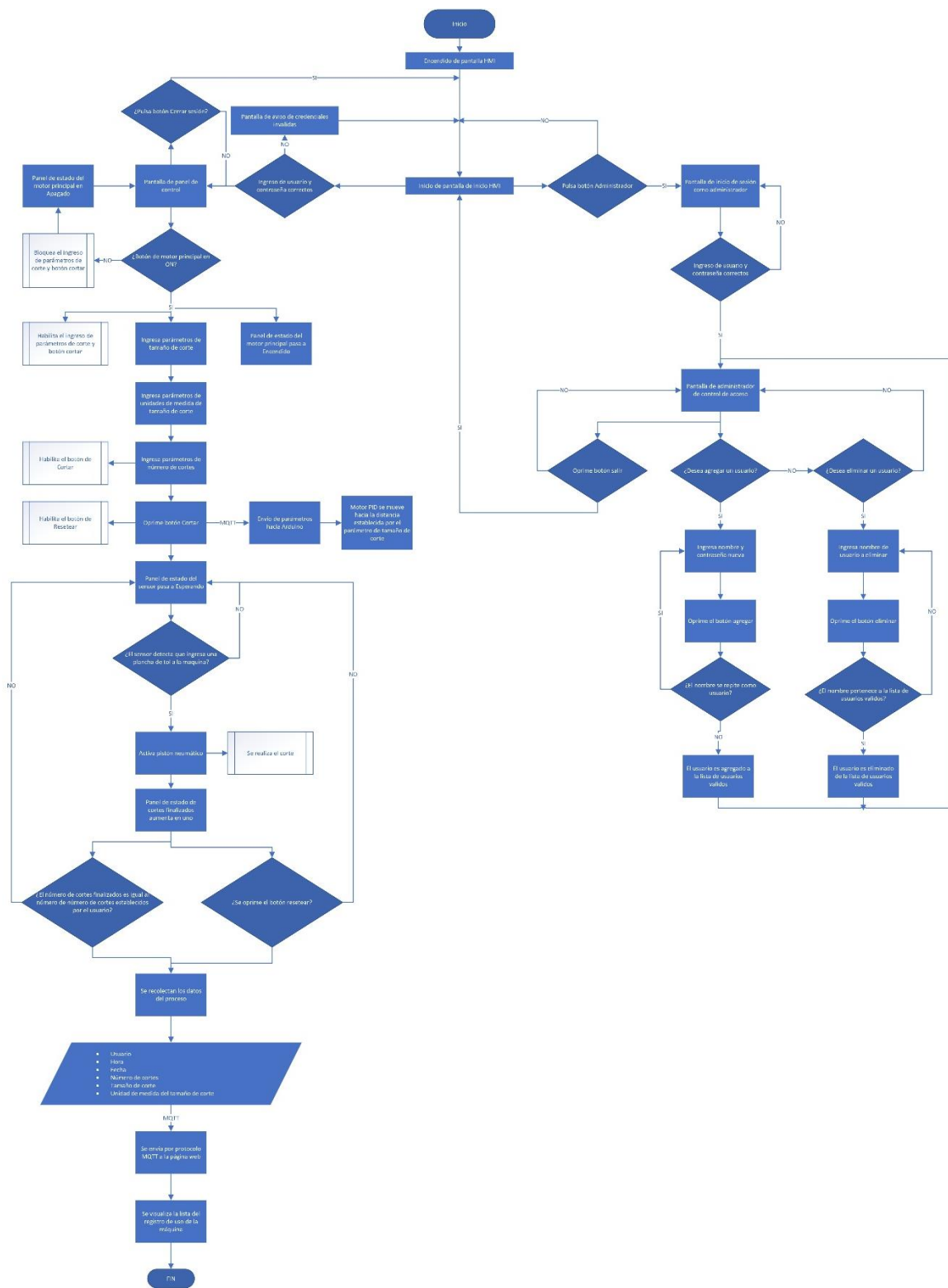
Selección de Componentes

En esta sección se realizará la selección de los componentes electrónicos, eléctricos, neumáticos y los elementos que intervienen en el interfaz humano máquina que participarán en el proceso de automatización del corte en la cizalla y mejorarán la seguridad del operario.

Esta selección se realizará en base a la investigación realizada en el capítulo anterior, así como el mercado de cortadoras automáticas, considerando los parámetros de diseño establecidos por la empresa INDUCTESA, los cuales se reflejan en la matriz QFD y su análisis.

Figura 123

Diagrama de flujo cortadora automática



Selección de Pantalla

En este apartado se compararán algunas opciones para la pantalla que cumplirá con el papel de HMI, mostrará datos importantes sobre el proceso de corte y permitirá operar la cortadora; este implemento es importante ya que se sabe que en el mercado las mejores cortadoras automáticas hacen uso de una pantalla para la visualización y/o control de la máquina. Para evaluar las pantallas se utilizarán los siguientes criterios: si la característica es favorable "+", si son negativas "-" y si no tienen mayor trascendencia "0".

Tabla 7

Opciones de pantalla

Nº	Dispositivo	Resolución		Memoria RAM		Memoria de almacenamiento		Precio	
		Valor	Criterio de selección	Valor	Criterio de selección	Valor	Criterio de selección	Valor	Criterio de selección
1	NX4832T035	480 x 320 píxeles	-	1 Kbyte	-	16 MB	+	65 USD	+
2	NX8048T070	800 x 480 píxeles	+	2 Kbyte	+	16 MB	+	113.90 USD	-
3	NX3224K024	3200 x 240	-	3584bytes	0	16 MB	+	55 USD	+

Nota. La tabla muestra las características de evaluación que se deben considerar para determinar la mejor pantalla para el HMI de la cortadora.

Tabla 8

Matriz de selección de pantalla

Criterio de selección	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Suma +	2	3	2
Suma 0	0	0	1
Suma -	2	1	1
Evaluación neta	0	2	1
¿Continuar?	No	Si	No

Nota. Mejor opción de pantalla para visualizar la información de la máquina de corte.

Selección de la Tarjeta de Procesamiento

Para poder detectar que una plancha de metal haya sido colocada en la mesa de trabajo se utiliza un final de carrera el cual enviará la señal a la tarjeta de control para activar los actuadores (motores); es necesario analizar las tarjetas de procesamiento que ofrece el mercado que funcionen adecuadamente con la máquina. Para evaluar dichas tarjetas se utilizarán los siguientes criterios: si la característica es favorable "+", si son negativas "-" y si no tienen mayor trascendencia "0".

Tabla 9

Opciones de tarjeta de procesamiento

Nº	Dispositivo	Salida de video		Memoria RAM		Velocidad del procesador		Precio	
		Valor	Criterio de selección	Valor	Criterio de selección	Valor	Criterio de selección	Valor	Criterio de selección
1	Raspberry Pi 3	HDMI/RCA/SPIDF	+	512 MB	-	700 MHz	+	68.99 USD	-
2	ASUS Tinker Board	HDMI	-	4 GB	+	800 MHz	+	159 USD	-
3	ESP8266	WiFi	+	64 KB (instrucciones) 96 KB (datos)	+	160MHz	+	20 USD	+

Tabla 10

Matriz de selección de la tarjeta de procesamiento

Criterio de selección	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Suma +	2	2	4
Suma 0	0	0	0
Suma -	2	2	0
Evaluación neta	0	0	4
¿Continuar?	No	No	Si

Nota. La mejor es la opción 4, la tarjeta más adecuada para ejecutar las tareas que le corresponden a la cortadora es la ESP8266.

Selección de Módulo Relé

En esta sección, se procede a analizar las opciones de módulos relé, este permitirá la activación de los motores encargados del desplazamiento de la guía para el ancho de corte y el giro del engranaje que transmitirá el retorno de la cuchilla los cuales deben trabajar con voltajes y amperajes altos que podrían dañar la tarjeta de control y procesamiento; además, deberá enviar la señal para que el pistón neumático active la cuchilla y se realice el corte. Si la característica es favorable "+", si son negativas "-" y si no tienen mayor trascendencia "0".

Tabla 11

Opciones de módulo relé

Nº	Dispositivo	Voltaje de operación		Corriente máxima		Tipo de acción		Precio	
		Valor	Criterio de selección	Valor	Criterio de selección	Valor	Criterio de selección	Valor	Criterio de selección
1	Módulo Relay 8 canales	5VDC	0	10 A (NO), 5A (NC)	+	10ms/5ms	+	11 USD	+
2	Relé sólido 8 canales	5VDC	0	2A	+	10ms/5ms	+	25 USD	-
3	MÓDULO RELAY 1CH	5VDC	0	10 A (NO), 5A (NC)	0	10 ms	-	15 USD	0

Tabla 12

Matriz de selección de módulos relé

Criterio de selección	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Suma +	3	2	0
Suma 0	1	1	3
Suma -	0	1	1
Evaluación neta	3	1	-1
¿Continuar?	Si	No	No

Nota. En la Tabla 12 se determina que la opción 1 es la mejor para trabajar en la máquina cortadora.

Diseño Interfaz HMI

Para el diseño de la Interfaz se hará uso de la norma ISA 101 HMI, la cual establece las normas y prácticas recomendadas para la ubicación y formato de los distintos elementos que componen un HMI y así garantizar un proceso de operación eficaz y eficiente durante el funcionamiento de la cortadora automática.

La norma pretende incluir las jerarquías necesarias para menús, paneles de control, colores utilizados para cada uno de los parámetros, pantallas emergentes entre otros campos de interés. Partiendo de esta premisa se inicia el diseño de la interfaz, para la visualización e interacción con la cortadora automática se realizará la programación en “EventCode”, el cual es el lenguaje propio para la pantalla Nextion NX8048T070 que, al estar conectada a la ESP8266, podrá enviar las señales necesarias para el control del motor principal, la lectura del final de carrera, la activación de los pistones neumáticos y del motor del calibre.

Además de esto, el HMI indicará el estado del proceso de corte y también generará continuamente un registro de actividad y operación de la cortadora.

Figura 124

Arquitectura de la interfaz humano máquina



Para generar la base de datos de las operaciones realizadas sobre la cortadora automática, se utilizará “Node RED”, es una herramienta de programación para conectar dispositivos, APIs y servicios en línea a manera de programación por bloques. Estos bloques poseen una gran gama de nodos con los cuales se puede crear protocolos de comunicación, botones y como en este caso utilizarla junto a “MySQL” para crear una base de datos que registre nombre (usuario), fecha, hora, número de cortes y tamaño de corte, como se puede observar en la Figura 125.

Figura 125

Base de datos del registro de operación de la cortadora automática

HISTORIAL OPERATIVO DE MAQUINA CORTADORA

LISTA DE USUARIOS

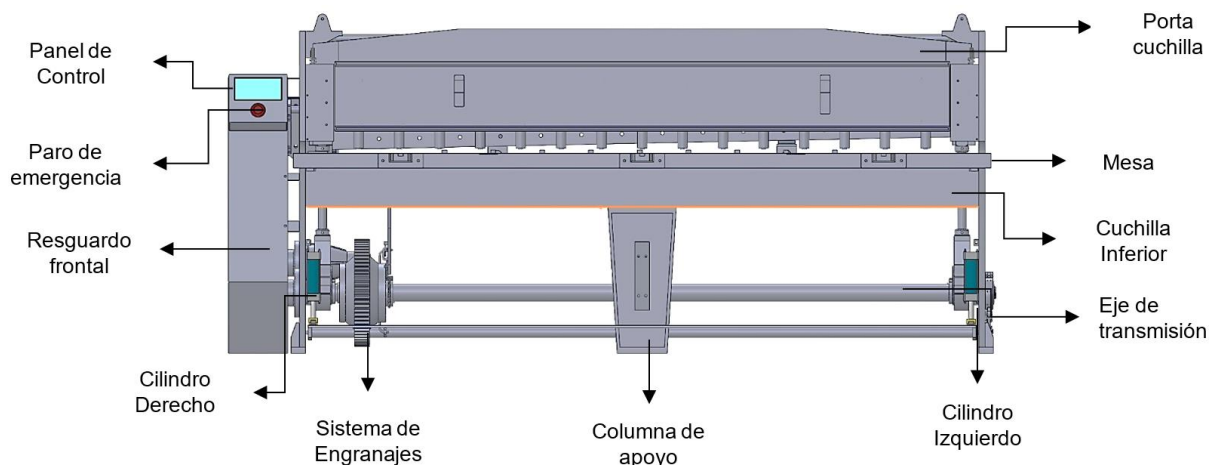
ACTUALIZAR

Imprimir Descargar

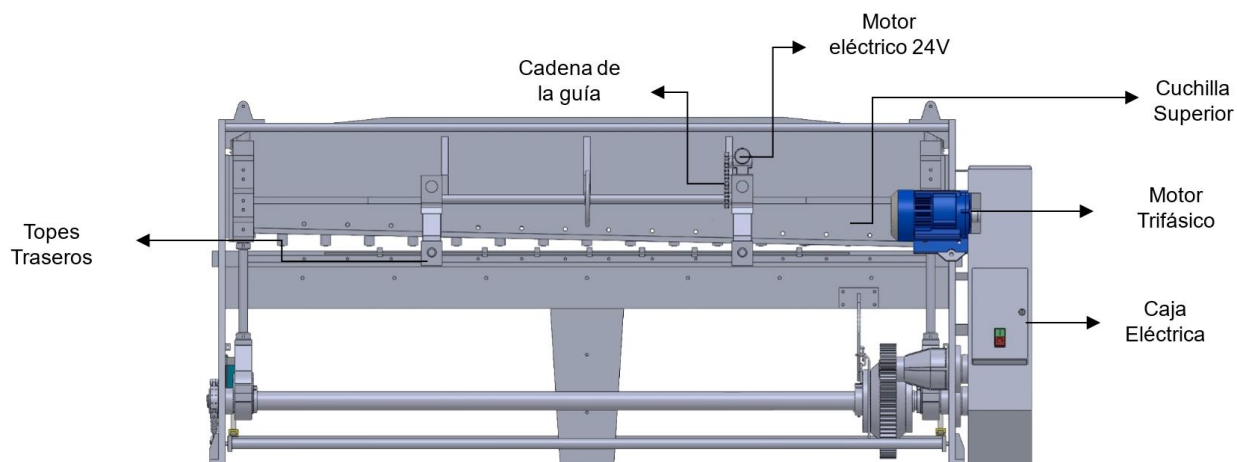
Usuario	Fecha	Hora	Número de cortes	Tamaño de cortes
Ivan	Jueves, 29 Jun, 2023	15:28	5	3 in
Juan	Jueves, 29 Jun, 2023	16:09	5	3 in
Pedro	Jueves, 29 Jun, 2023	17:28	5	3 in
Santiago	Miercoles, 5 Jul, 2023	13:53	3	5 cm
Juan	Miercoles, 5 Jul, 2023	13:55	1	51 in
Diego	Viernes, 7 Jul, 2023	14:07	5	8 cm
Karol	Viernes, 7 Jul, 2023	19:43	3	3 in

Diseño Integral del Sistema

Partiendo de la investigación realizada en el capítulo anterior y luego de haber analizado algunas propuestas de diseño con la empresa INDUCTESA, se plantea construir una cortadora automática que contará en la parte frontal de un panel de control, un paro de emergencia, el porta cuchilla, la mesa de trabajo, la cuchilla inferior, el eje de transmisión, el sistema de engranajes entre otros componentes, como lo indica la Figura 126.

Figura 126*Vista frontal de la cortadora automática*

Por otro lado, en la vista posterior de la máquina se puede observar donde estarán ubicados los motores, tanto el motor trifásico principal, así como el motor que controlará la guía o calibre que determina el tamaño de corte a realizarse sobre la plancha de metal; también estará ubicada la caja eléctrica, donde se realizarán las conexiones necesarias para la automatización, la Figura 127 muestra lo antes descrito.

Figura 127*Vista posterior de la cortadora automática*

Capítulo IV

Implementación de la Cortadora Automática

En esta sección se describe el proceso de implementación del HMI, el control PID del motor encargado del desplazamiento del calibre posterior y el ensamble completo de la máquina de corte automatizada.

Ensamble de la Cizalla

Para elaborar la mayoría de los elementos del sistema de transmisión se necesitó una fresadora CNC, los elementos fueron manufacturados por otra empresa y entregados en el taller, en la siguiente imagen se visualiza una de las proformas manejadas.

Figura 128

Proforma manufactura rueda excéntrica

CANT	DESCRIPCION	V. UNIT	V.TOTAL
1	Construcción de pieza en acero negro según especificaciones de plano	250.00	250.00
			
Condiciones comerciales: <ul style="list-style-type: none"> - 50 % del valor total al inicio, 50 % del valor total contra entrega - Valor total puede variar si existe pedido por parte del cliente de cambios significativos en cuanto a medidas de la pieza cotizada. 		SUBTOTAL	250.00
		IVA 12%	30.00
		TOTAL	280.00



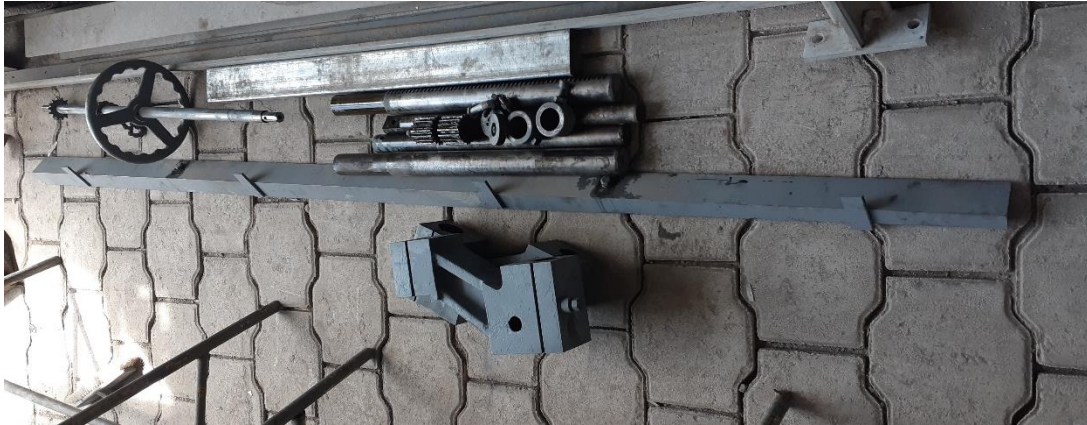
DIA- MES - AÑO
12 - diciembre - 2022
PROFORMA # 2653

Procesos MECANICOS
Dirección: Gualaquiza Oe4-12B y Av. de la Prensa Telf. : 2293081 – 0996519119

CLIENTE: ERIKA CENTENO
TELEFONO :
ATENCION :

Figura 129

Piezas mecanizadas



Debido a su peso el apoyo central y el sistema de transmisión fueron montados con ayuda del equipo de trabajo de la empresa, obteniendo el siguiente resultado:

Figura 130

Ensamble del mecanismo de transmisión de potencia



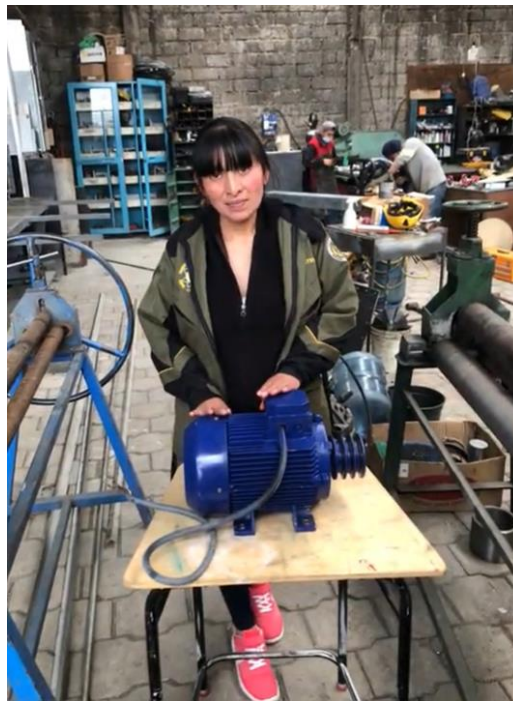
Como se observa también se reemplazó la polea dañada colocando una polea de 71 cm de diámetro y de 3 canales para bandas de transmisión que enviará el movimiento del motor trifásico hacia el engranaje recto y permitirá el desplazamiento de la cuchilla superior.

Figura 131

Colocación de la polea de 71 cm en la máquina de corte

**Figura 132**

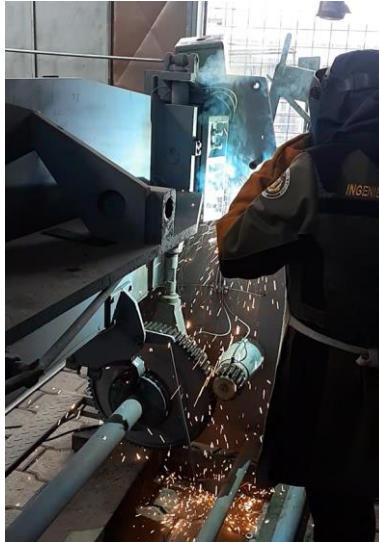
Entrega del motor de 7.5 HP



Antes de colocar el motor es preciso soldar su soporte al bastidor.

Figura 133

Reparación por soldadura SMAW



Ya colocada la polea encargada de transmitir el movimiento circular, se instala el motor principal, es un motor trifásico que pesa 32.6 Kg, colocando de tal forma que las 3 bandas queden estiradas adecuadamente para que puedan transmitir toda la velocidad y la potencia del motor, una vez colocado se verifica las conexiones de la red eléctrica.

Figura 134

Colocación del motor principal sobre la máquina



Figura 135

Revisión de la instalación eléctrica en el motor principal

**Figura 136**

Conexión eléctrica del motor trifásico



Dado que ya se realizó el acoplamiento del motor a la máquina y a la polea de transmisión, es hora de realizar los ajustes necesarios en el engranaje principal y el eje de transmisión de movimiento, estos permitirán acoplar el motor al engranaje y por ende el desplazamiento de la cuchilla superior para realizar el corte.

Figura 137*Acoplamiento del motor al engranaje principal*

Se verifica que la transmisión del motor mediante las poleas y el acoplamiento de los engranajes se realice de forma adecuada para el proceso de corte.

Figura 138*Acoplamiento de engranajes*

Una vez que se realizan las pruebas de funcionamiento del motor principal, se procede a ensamblar la parte posterior de la máquina cortadora, en donde se ubicará el eje para el calibre posterior, mediante el sistema de engranajes y el motor DC podrá girar de tal forma que

entregue el ancho de corte que el operario ingrese. Las partes mecánicas que se involucran en este aspecto se pueden observar en la Figura 139 y Figura 140.

Figura 139

Eje de guía para el calibre y engranajes



Figura 140

Motor DC acoplado al eje del calibre mediante catarina



Dentro del sistema de engranajes para el calibre se encuentran engranajes rectos de 99.75 mm de diámetro, los cuales cambian el movimiento giratorio a desplazamiento lineal a través de una cremallera cilíndrica como se observa en la Figura 141 y Figura 142.

Figura 141

Cremallera cilíndrica



Figura 142

Sistema de transmisión del eje guía para el tamaño de corte



Ya que la máquina está ensamblada mecánicamente, es hora de incorporar y posicionar el pistón neumático que trabajará a 90 PSI para poder empujar el pedal que acciona la cuchilla superior, por tal motivo se lo coloca en la parte frontal de la máquina como se puede ver en la Figura 143.

Figura 143

Colocación del pistón neumático



Con todos los elementos mecánicos y neumáticos colocados en su debido lugar, es momento de realizar las conexiones eléctricas y electrónicas explicadas en los apartados anteriores, se conecta el motor DC y haciendo uso de una cadena de protección se conducen los cables hacia la caja eléctrica, que está ubicada en la parte posterior de la cortadora. Así lo indican la Figura 144 y Figura 145.

Figura 144

Conexión y cableado del motor DC



Figura 145

Colocación de la caja eléctrica



Ya con la caja eléctrica ubicada se procede a realizar las conexiones electrónicas dentro del panel de control, donde se encuentran la pantalla Nextion, el microcontrolador ESP8266, el módulo relé y la placa electrónica con el circuito de control del motor DC, también se realiza la conexión del paro de emergencia debidamente señalado.

Figura 146

Conexiones electrónicas en el panel de control



Finalmente, con las conexiones realizadas se procede a ubicar el panel de control en la parte frontal de la máquina y se verifica el funcionamiento general de la misma para posteriormente ensamblar las placas de resguardo frontal, las placas de resguardo posterior y finalmente llevar a cabo las pruebas de funcionamiento.

Figura 147

Colocación del panel de control



Figura 148

Vista posterior de la máquina cortadora automática ensamblada totalmente



Figura 149

Vista frontal de la máquina cortadora automática ensamblada totalmente



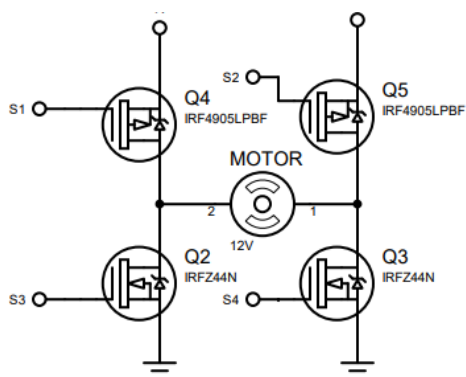
Implementación del Control de Tamaño de Corte

Como se mencionó en el capítulo anterior, el control de ancho o tamaño de corte se configura a través de un motor DC de 12V, el mismo que al recibir la señal de la ESP8266 a través de un puente H elaborado a base de mosfets de potencia y un encoder, se establece el número de giros del motor para definir un ancho de corte sobre la plancha de metal.

La electrónica utilizada para el control del motor trabaja en base a un control PID programado en la ESP8266, el control se aplica con un circuito electrónico previamente simulado en el software “Proteus” para su posterior implementación, en la Figura 150 se puede observar el puente H que permite invertir el giro.

Figura 150

Puente H con mosfet para el control de motor 12 VDC



Cabe aclarar que este control se activará cuando en el HMI se ingrese el parámetro de tamaño de corte, ya sea en “cm” o “in”, también es importante señalar que debido al voltaje de operación del motor DC y el voltaje con el que trabaja el microcontrolador ESP8266, se utilizaron optoacopladores PC817, para evitar picos de voltajes en la etapa de control y separar la parte de potencia, que en este caso es el voltaje de 24 VDC, de este modo se protegen tanto la pantalla Nextion como el microcontrolador.

Figura 151

Separación mediante optoacopladores PC 817 del control y voltaje de alimentación del motor

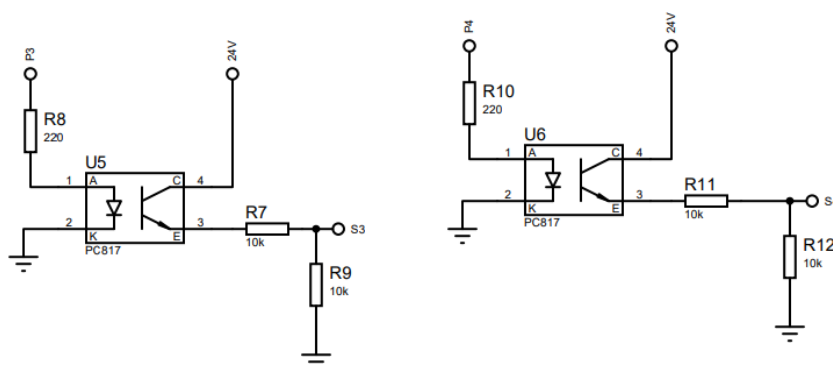


Figura 152

Fragmento de la programación para el motor del calibre

```

25 uint8_t index;
26
27
28 PID_v2 myPID(Kp, Ki, Kd, PID::Direct);
29 bool start=false;
30 bool encera=false;
31
32
33 void setup() {
34
35   attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(A), contadorfuncion, RISING );
36   Serial.begin(9600);
37   pinMode(led,OUTPUT);
38   pinMode(led2,OUTPUT);
39   pinMode(SW,INPUT_PULLUP);
40   pinMode(SW_ENCERA,INPUT_PULLUP);
41   pinMode(SW_STOP,INPUT_PULLUP);
42   pinMode(MH1_pwm,OUTPUT);
43   pinMode(ML1,OUTPUT);
44
45   pinMode(MH2_pwm,OUTPUT);
46   pinMode(ML2,OUTPUT);
47
48   pinMode(A,INPUT_PULLUP);
49   pinMode(B,INPUT_PULLUP);
50   t0=millis();
51
52   myPID.Start(contador, // input
53              0, // current output
54              sp): // setpoint

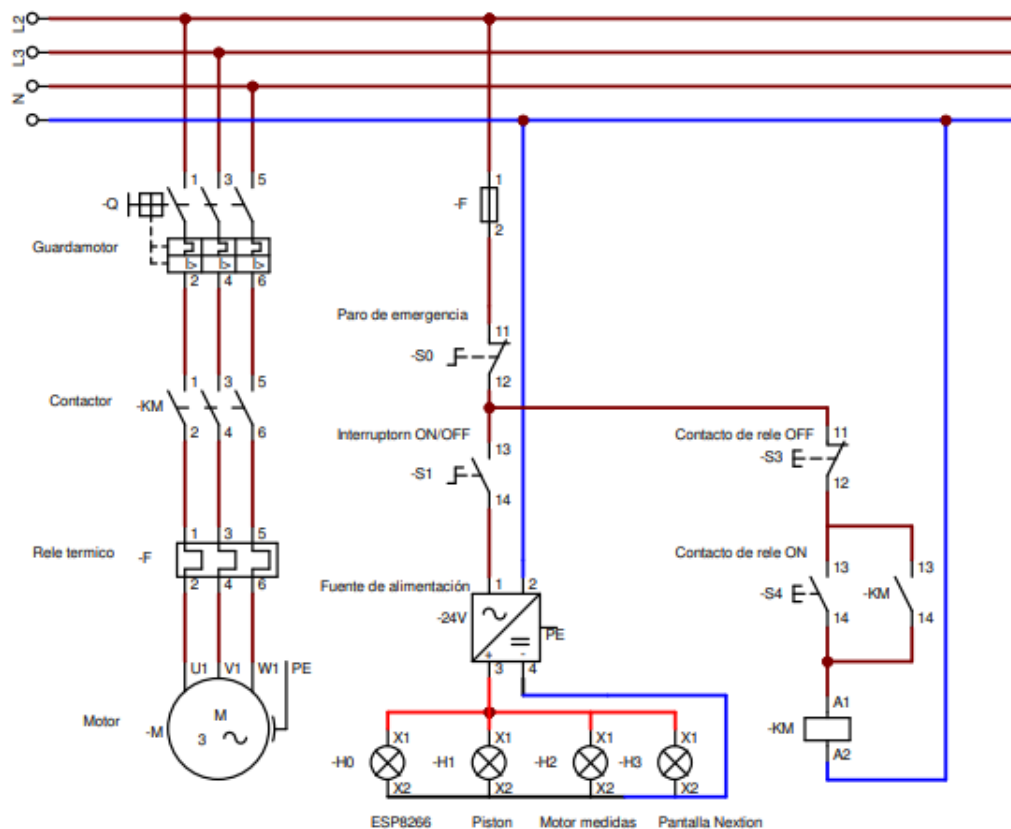
```

Implementación del Control Eléctrico

El motor trifásico y el pistón neumático se controlan a partir de la conexión eléctrica mostrada en la Figura 153.

Figura 153

Esquema eléctrico del sistema de automatización



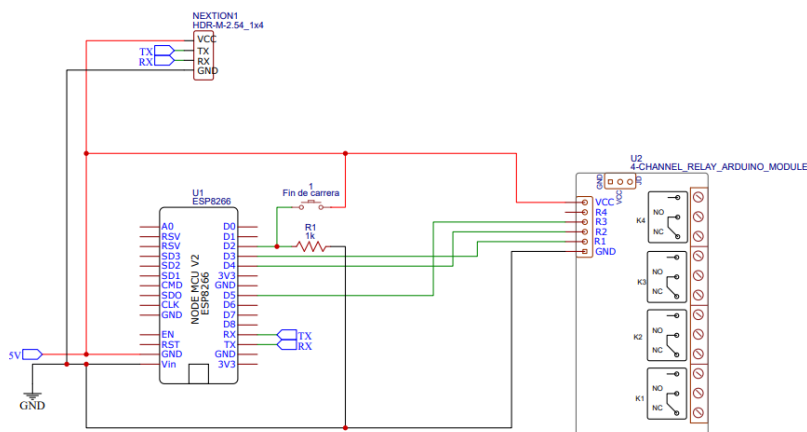
Como se observa en la Figura 153, el pistón, el motor DC y la pantalla necesitan ser energizados con 24 VDC, para lo cual se utiliza una fuente de regulación de voltaje, a la que ingresa 110 VAC y en la salida se obtiene 24 VDC máximo a 5 A, que es suficiente para energizar y garantizar el adecuado funcionamiento de dichos implementos y sus circuitos de control.

También se puede observar la conexión eléctrica del motor principal, se conecta a 220 VAC con su respectivo contactor de arranque LS Industrial 32 y el relé térmico LS 22-32 que protege al motor de los picos de corriente que se generan durante el arranque y durante el corte de las planchas metálicas. Se aprecian las conexiones realizadas para la protección del sistema en general, como es el caso de la conexión del paro de emergencia y el encendido general del sistema.

Ya que se explicaron las conexiones realizadas en la caja eléctrica de la cortadora, es preciso detallar la conexión electrónica para la activación y desactivación del microcontrolador ESP8266 que será alimentado con una fuente de voltaje de 5 VDC a 3 A que energizará tanto a la placa mencionada y el módulo relé de 4 salidas.

Figura 154

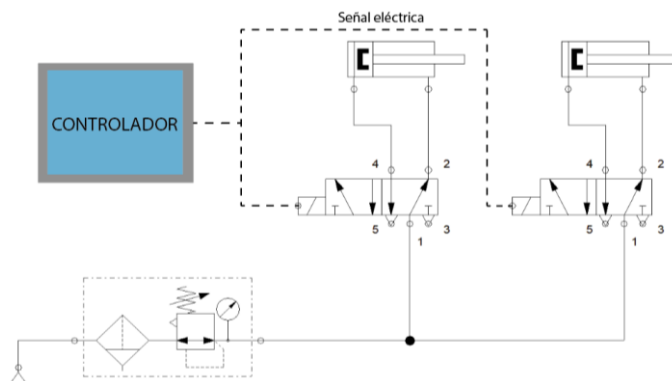
Conexión electrónica al microcontrolador ESP8266



Como se muestra en la Figura 154, las salidas digitales D3, D4 y D5 están destinadas a enviar la señal para activar el motor principal, activar el motor DC para ajustar el tamaño de corte y activar el pistón neumático encargado de liberar la cuchilla superior para realizar el corte; el pin digital D2 en cambio recibirá la señal del fin de carrera que detecta cuándo una plancha de metal está ubicada de forma correcta.

Figura 155

Diagrama neumático cilindros doble efecto



Todas estas señales serán mostradas en la pantalla Nextion mediante comunicación serial a través de la ESP8266 que a su vez se conecta por medio de WiFi a la página web en donde registra la información de los sensores y la configuración de cada proceso de corte.

Implementación del HMI

Inicio

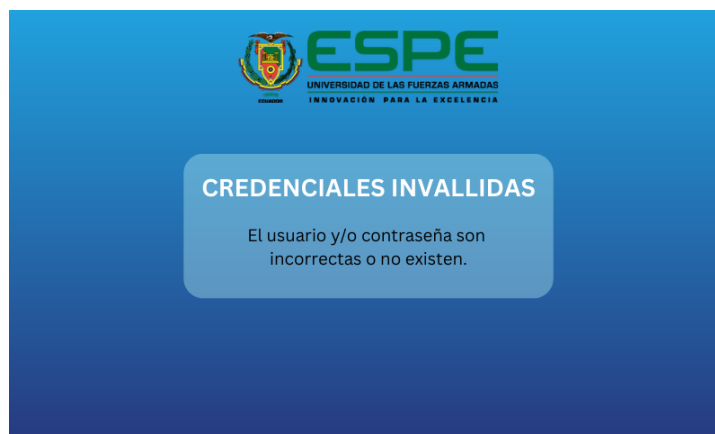
En la pantalla inicial de la interfaz HMI se aprecian varios elementos, la sección más importante es la de "Login o inicio de sesión" para los usuarios. En esta sección hay campos de texto donde se ingresa el nombre de usuario y la contraseña correspondiente. Estos campos de texto proporcionan una forma de autenticación que garantiza que solo los usuarios autorizados tengan acceso al sistema, además, cuenta con un botón de "ingresar" o "enter". Al hacer clic en este botón, se verifica la información de inicio de sesión ingresada en los campos de texto. Si los datos son válidos permite al usuario acceder a la siguiente página o función del sistema.

Figura 156

Pantalla inicial



Si las credenciales ingresadas son inválidas, es decir, el nombre de usuario y/o la contraseña son incorrectos, el HMI mostrará una pantalla de error durante 1.5 segundos como se muestra en la Figura 157. Después de ese período, la pantalla volverá a la página de inicio de sesión de usuario, permitiendo que se ingresen nuevas credenciales.

Figura 157*Pantalla emergente de credenciales inválidas***Panel de Control****Figura 158***Pantalla de panel de control*

En el panel de control se distinguen 5 secciones que permitirán al usuario el manejo de la máquina y también del control de usuarios.

1. Usuario activo: En la parte superior derecha de la pantalla se muestra el nombre del usuario que inició sesión, al terminar un proceso esta información se registrará en la base de datos.

2. Botón de cierre de sesión: En caso de que el usuario termine de usar la máquina, este deberá oprimir el botón de cerrar sesión para que otro usuario pueda ingresar. Esto con el fin de tener un control y registro de quien usa la máquina y bajo qué parámetros.
3. Sección de Motor principal: En esta sección se encuentra únicamente un botón de dos estados que permite encender o apagar el motor principal de la máquina.

Figura 159

Estados del botón de control del motor principal

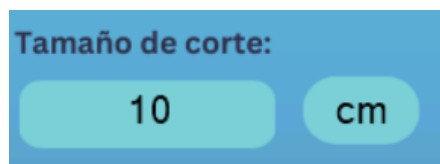


Si el motor principal no está encendido no se podrá ingresar parámetros de corte y el botón cortar no se podrá usar, ya que estos apartados permanecerán bloqueados para evitar un mal funcionamiento del sistema.

4. Sección de parámetros de corte: En esta sección, el usuario podrá ingresar los parámetros deseados para sus cortes:
 - Tamaño de corte: Al oprimir en el espacio designado se mostrará un teclado numérico con el cual se podrá ingresar el tamaño del corte deseado.

Figura 160

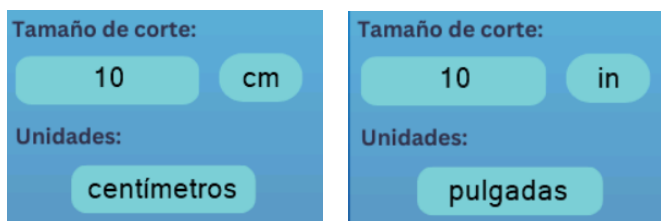
Parámetro de tamaño de corte



- Unidades: Este es un botón que permite cambiar las unidades del tamaño de corte entre centímetros y pulgadas, al momento de oprimir.

Figura 161

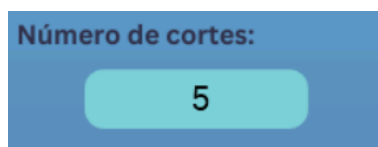
Parámetro de unidades y sus posibles cambios



- Número de cortes: Al igual que el tamaño de corte, aquí se mostrará un teclado numérico que permitirá ingresar el número de cortes deseados.

Figura 162

Parámetro de número de cortes



Si alguno de los parámetros está vacío, el botón "Cortar" no se podrá pulsar, caso contrario, el botón podrá ser activado y los parámetros se enviarán para que empiece el proceso. Cuando se oprime el botón de cortar, este nuevamente se deshabilita y muestra la leyenda de "Cortando", como se ve en la Figura 163.

Figura 163

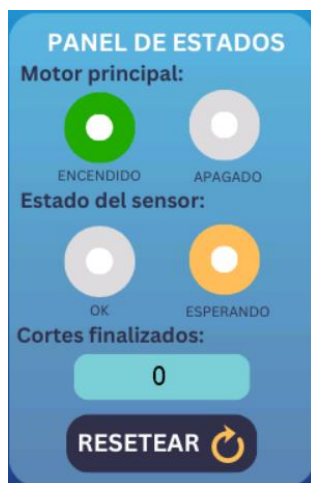
Parámetros de corte completos y estados del botón "Cortar"



5. Panel de estados: El panel de estados permite al usuario obtener información de la situación de la máquina en ese momento.

Figura 164

Panel de estado



Esta sección tiene 4 apartados:

- Motor principal: Muestra el estado del motor principal, es decir, si se encuentra encendido o apagado. Esta sección funciona en conjunto con el botón del motor principal, cuando el botón del motor principal se active se encenderá el círculo verde y cuando el motor principal se desactive se mostrará el círculo rojo, como se observa en la Figura 165.

Figura 165

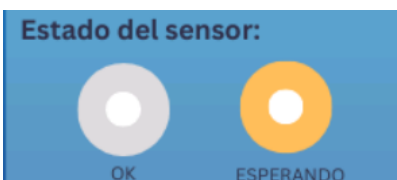
Funcionamiento de panel de estado del motor principal



- Estado del sensor: Una vez que los parámetros de corte fueron ingresados y que el botón de cortar fue activado, el panel del sensor se encenderá en amarillo, indicando que se encuentra esperando que una plancha de tol sea detectada, como se ve en la Figura 166.

Figura 166

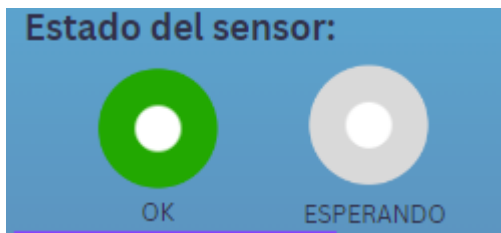
Estado "Esperando" del fin de sensor



Una vez que el sensor detecta que una plancha está en posición se activa el mecanismo de corte y hace que el estado del sensor pase a OK y se ponga de color verde, confirmando que el corte fue realizado.

Figura 167

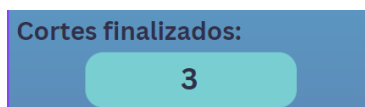
Estado "OK" del sensor



- Cortes finalizados: Cada vez que el estado del sensor se enciende de color verde significa que se cumplió con un corte. De esta manera se contabilizan los cortes que se han realizado y se muestran en pantalla.

Figura 168

Estado de cortes finalizados



Cuando el número de cortes realizados llegue a ser igual a los que el usuario indicó, el proceso finalizará automáticamente y se abrirá una pantalla de aviso.

Figura 169

Pantalla de fin de proceso



- Botón de reset: En caso de que el usuario requiera terminar el proceso antes de que el contador haya llegado al número de cortes establecidos, puede oprimir el botón "Resetear". Esto hará que el proceso termine y se envíe a la base de datos únicamente los cortes que fueron completados.

Figura 170

Botón reset



Administrador

En caso de que se desee ingresar al área de administración de usuarios de la máquina, se debe oprimir el botón Administrador que se muestra en la parte superior derecha de la pantalla inicial. Este botón llevará a la pantalla de Login del administrador, en donde deberá ingresar usuario y contraseña, por lo cual, únicamente el administrador de la máquina podrá ingresar.

Figura 171

Pantalla de inicio de sesión como administrador



En caso de querer regresar a la página inicial, en la parte inferior se encuentra un botón con el icono de una casa. El administrador deberá colocar sus credenciales correctamente, caso contrario aparecerá la pantalla emergente de credenciales inválidas.

Una vez que el administrador ingresa, se mostrará la pantalla de administrador de control de acceso. En la pantalla que se observa en la Figura 172 se muestran 4 secciones:

Figura 172

Pantalla de administrador de control de acceso



1. Sección de usuarios: En esta sección se muestran todos los usuarios que tienen permitido usar la máquina.

Figura 173

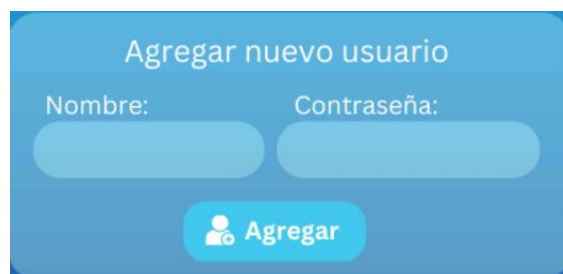
Lista de usuarios válidos



2. Agregar nuevo usuario: Para agregar un nuevo usuario será necesario llenar los campos que aparecen en esta sección, como son, usuario y contraseña. Estos campos serán llenados por el administrador y posteriormente se entregarán únicamente al nuevo usuario.

Figura 174

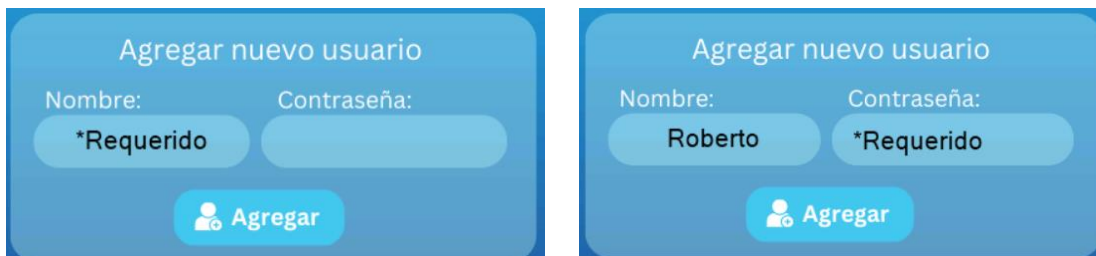
Sección de agregar nuevo usuario



En caso de que alguno de los dos campos no haya sido llenado y se oprima el botón de agregar, se mostrará un texto, indicando los campos que son requeridos para realizar la acción.

Figura 175

Avisos para cuando los campos "Nombre" o "Contraseña" están vacíos



En caso de que los campos estén completos, se oprime el botón de Agregar y el nuevo usuario pasa a formar parte de la lista de usuarios válidos.

Figura 176

Ingreso de un nuevo usuario



The screenshot displays a user management interface with three panels. The left panel, titled 'Usuarios', lists the current users: Jorge, Juan, Pedro, and Karol. The middle panel, titled 'Agregar nuevo usuario', contains a form with two input fields: 'Nombre:' with the value 'Roberto' and 'Contraseña:' with the value '*****'. Below these fields is a blue button with a person icon and the text 'Agregar'. The right panel, also titled 'Usuarios', shows the updated list of users: Jorge, Juan, Pedro, Karol, and Roberto.

3. Eliminar usuario: En caso de que se desee eliminar un usuario, únicamente habrá que ingresar el nombre del usuario y oprimir el botón de Eliminar.

Capítulo V

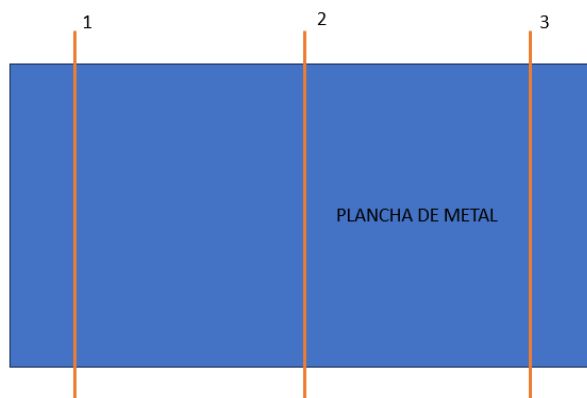
Pruebas y Análisis de Resultados

En este capítulo se presentan las pruebas de corte hechas para verificar el funcionamiento de la cortadora automática, se realizarán cortes en tres materiales diferentes, hierro negro, planchas de tol galvanizado y finalmente en acero inoxidable, los cortes se harán en diferentes espesores para cada una de las planchas.

Es importante detallar que la medida tomada del corte será aquella que presente mayor error respecto al tamaño de corte deseado, pues, al realizar este tipo de trabajo la plancha cortada suele ser medida en tres puntos a lo largo del corte realizado, esas medidas se muestran en la siguiente figura. Se toma la medida con mayor error para verificar si el sistema automático cumple con mejorar la precisión de corte y la optimización de recursos.

Figura 177

Puntos de medida para el corte



Cortes en Hierro Negro

Las primeras pruebas de corte de la máquina se hicieron en hierro negro, en tres diferentes espesores: 0.9 mm, 2 mm y 3 mm. Por otro lado, los anchos de corte serán de 8 cm hasta los 50 cm, esto debido al desplazamiento máximo que permiten las cremalleras cilíndricas (Ver Figura 141) colocadas para la guía. En la Tabla 13 se pueden observar los resultados obtenidos al hacer los cortes de forma manual y automática en cada uno de los

espesores antes indicados, cabe aclarar que los cortes tanto en manual como en automático fueron ejecutados por un solo operario para apreciar mejor los resultados que se obtienen al automatizar la máquina, en modo manual las medidas para planchas largas se deben tomar entre dos personas, para evitar que la plancha se descuadre, debido a su precio no se dispone de planchas completas para hacer todas las pruebas, en la mayoría de casos se usaron sobrantes de longitud menor a un metro, al ser un parámetro de interés se usa el siguiente código de colores:

Figura 178

Código de color de longitud de las planchas

- Longitud entre 30 y 50 cm
- Longitud entre 50 y 80 cm
- Longitud entre 80 y 120 cm

Tabla 13

Resultados de corte en hierro negro en forma manual y automática

Tamaño de corte (cm)	Corte manual			Corte automático		
	Espesor 0,9 mm	Espesor 2 mm	Espesor 3 mm	Espesor 0,9 mm	Espesor 2 mm	Espesor 3 mm
8	8,1	7,7	7,8	8,0	7,9	7,8
16	15,9	15,7	15,4	15,9	16,0	15,8
32	32,2	31,7	32,5	32,0	31,8	31,7
40	39,4	40,5	38,9	40,0	40,0	40,1
50	50,3	48,8	48,7	50,0	50,1	49,7

Nota. Los resultados muestran que en corte manual se incrementa el error para longitudes mayores a 80 cm, esto se debe a la dificultad al manipular la plancha.

A partir de las medidas realizadas en cada uno de los cortes, se muestra el error existente en el proceso, de igual forma se analizan en ambos modos de operación, corte manual (E1) y corte automático (E2), el error en modo automático es menor en todos los casos.

Tabla 14

Error absoluto y porcentual en planchas de hierro negro

Ancho de corte (cm)	Error Absoluto		Error Porcentual	
	E1 (cm)	E2 (cm)	E1 (%)	E2 (%)
8	0.155	0.066	1.977	0.843
16	0.177	0.066	1.134	0.419
32	0.288	0.111	0.899	0.349
40	0.600	0.044	1.515	0.111
50	0.688	0.155	1.398	0.311

Nota. Los resultados muestran que el corte automático posee mayor precisión que el corte manual y que para espesores de 3 mm el error se incrementa en ambos casos.

El error porcentual máximo de forma manual es 1.977% y mínimo de 0.899%. Por el contrario, los errores por corte automático (E2) no sobrepasan el 0.843%, incluso en cortes de gran longitud de hasta 3 mm de espesor y el error porcentual mínimo es 0.111%

Cortes en Tol Galvanizado

Al igual que el apartado anterior, en este caso se hicieron cortes sobre planchas de tol galvanizadas en los siguientes espesores: 0.9 mm, 1.4 mm y 3 mm; todas existen en el mercado y de igual forma se realizaron cortes en los dos modos de operación, manual y automático, con el fin de tener un precedente de la mejora realizada en la máquina cortadora. Los cortes a realizarse serán regidos a los mismos tamaños antes realizados, es decir, a partir de 8 cm hasta los 50 cm que permite el recorrido del eje guía en la parte posterior de la máquina automática de corte.

Tabla 15

Resultados de corte en tol galvanizado en modo manual y automático

Tamaño de corte (cm)	Corte manual			Corte automático		
	Espesor 0,9 mm	Espesor 1,4 mm	Espesor 3 mm	Espesor 0,9 mm	Espesor 1,4 mm	Espesor 3 mm
8	8,1	7,3	7,5	8,0	8,1	7,9
16	15,8	15,9	15,4	16,2	15,8	16,0
32	31,5	32,0	32,4	32,1	32,0	32,0
40	40,3	39,6	38,5	40,0	39,9	40,2
50	50,2	48,5	48,7	49,9	50,0	49,8

Nota. La Tabla 15 muestra los resultados de los cortes realizados en planchas galvanizadas de diferente espesor y longitud en modo manual y automático.

Los resultados de la Tabla 15 indican los errores que se pueden producir en los cortes de forma manual, donde se ve la pérdida de material en valores de hasta 1.5 cm, lo que representa no solo pérdida de material sino de capital y tiempo, en cambio, cuando se realizaron los cortes con el sistema automático, el mayor error existente fue de 0.2 cm, lo que significa una gran mejora en la máquina para la empresa INDUCTESA.

Tabla 16

Error absoluto y porcentual en planchas de tol galvanizado

Ancho de corte (cm)	Error Absoluto		Error Porcentual	
	E1 (cm)	E2 (cm)	E1 (%)	E2 (%)
8	0.311	0.066	4.075	0.833
16	0.200	0.133	1.273	0.833
32	0.311	0.044	0.973	0.138
40	0.644	0.111	1.632	0.277
50	0.711	0.066	1.447	0.133

Nota. La Tabla 16 muestra los errores relativo y porcentual de los cortes realizados sobre las planchas de tol galvanizado en los dos modos de operación de la máquina, dando como resultado que el sistema automático mejora la precisión de la máquina.

El error porcentual máximo que se obtiene en los cortes manuales va de 0.973 % hasta un máximo de 4.075 %, por otro lado, los cortes en forma automática no exceden el 0.833% de error y los resultados que se obtienen son más uniformes, independientemente del ancho y longitud de corte.

Cortes en Acero Inoxidable

Como última prueba a realizar se tomarán planchas de acero inoxidable, el material más difícil para realizar cortes con la cizalla, para esta prueba se toman los espesores: 1 mm, 2 mm y 3 mm. La Tabla 17 muestra los resultados obtenidos en los diferentes cortes realizados, donde está claro que la máquina cortadora logra cortar las planchas de acero inoxidable pero con un error ligeramente más grande que en los materiales cortados anteriormente, esto debido a las propiedades mecánicas del material.

Tabla 17

Resultados de corte en acero inoxidable en modo manual y automático

Tamaño de corte (cm)	Corte manual			Corte automático		
	Espesor 1 mm	Espesor 2 mm	Espesor 3 mm	Espesor 1 mm	Espesor 2 mm	Espesor 3 mm
8	8.4	8.1	8.0	8.0	8.1	7,8
16	15,8	16,2	16,1	16,0	15,9	16,1
32	30,9	31,6	32,2	32,1	32,0	32,3
40	40.5	39,9	40,3	39,9	39,7	39,8
50	49,7	50.2	49,2	50,1	50,3	50,2

La Tabla 17 muestra que el error obtenido en cortes utilizando el sistema automático no excede los 0.4 cm; que es menor que al operar la máquina de forma manual, donde existen errores de corte de casi 1 cm respecto a la medida deseada debido a la dificultad que se presenta al manipular las planchas de 3 mm de espesor cuando tienen una longitud considerable.

La Tabla 18 muestra los errores obtenidos para ambos modos de operación, se observa que existen errores absolutos que sobrepasan los 4 mm en los cortes manuales; en contraste, el sistema automatizado reduce el error que como mucho es de 1.11 mm.

Tabla 18

Error absoluto y porcentual en planchas de acero inoxidable

Ancho de corte (cm)	Error Absoluto		Error Porcentual	
	E1 (cm)	E2 (cm)	E1 (%)	E2 (%)
8	0.155	0.111	1.904	1.394
16	0.155	0.066	0.970	0.416
32	0.444	0.111	1.407	0.345
40	0.222	0.088	0.552	0.223
50	0.333	0.066	0.670	0.132

Validación de Hipótesis

El presente proyecto establece como hipótesis: ¿La construcción de una máquina automática para el corte de láminas de tol galvanizado, acero inoxidable y hierro negro con espesor de hasta 3 mm aumentará la capacidad de producción de la empresa y mejorará la seguridad en su manejo? La validación de esta hipótesis será analizada a partir de las pruebas realizadas en los diferentes materiales cortados para cuantificar analíticamente los aspectos más importantes.

Validación del Tiempo de Operación

Para poder analizar qué tiempo se ocupa para efectuar los cortes en cada modo se elaboró la Tabla 19, indica el tiempo de operación en minutos que se empleó para los cortes utilizados para validar la precisión de la máquina y se separan dependiendo del modo de operación, se observa claramente que el sistema automático beneficia en grandes rasgos a la optimización de tiempo en la actividad de corte, sobre todo a la hora de tomar las medidas, el tiempo necesario para colocar la plancha sobre la cama es el mismo para ambos modos.

Tabla 19*Tiempo de operación en modo manual y automático*

Material	Tamaño de corte (cm)	Tiempo de operación (min)	
		T. manual	T. automático
Acero negro	8	5,58	1,46
	16	5,59	1,30
	32	5,92	1,60
	40	5,78	1,87
	50	5,54	1,38
Tol galvanizado	8	5,60	1,68
	16	5,90	1,41
	32	5,60	1,43
	40	5,09	1,08
	50	5,97	1,94
Acero inoxidable	8	5,45	1,35
	16	5,83	1,20
	32	5,48	1,86
	40	5,39	1,03
	50	5,37	1,87

A partir de los datos obtenidos en la Tabla 19 se procede a realizar la validación del tiempo utilizado en operar la máquina de corte en el modo manual y automático, para lo cual se plantean las siguientes hipótesis:

(Hi): La utilización del sistema automático de corte implementado optimiza el tiempo de operación de la máquina de corte.

(Ho): La utilización del sistema automático de corte implementado no optimiza el tiempo de operación de la máquina de corte.

Como se observa en modo manual los valores rodean los 6 minutos, tomando este valor como referencia para validar la hipótesis, se tiene que en promedio en modo manual el operario ocupa el 93.43 % del tiempo destinado a la operación (tiempo de referencia), mientras que en modo automático ocupa apenas el 24.95 %, en todos los casos se realizaron las tres mediciones de ancho de corte especificadas anteriormente para el modo manual.

Tabla 20

Validación de optimización de tiempo

% de optimización de tiempo		
	Hi	Ho
	75,05 %	6.57 %
Hi>Ho	Si	No

De la Tabla 20 se puede deducir que el sistema automático implementado en la máquina de corte si optimiza el tiempo destinado a la medición de la plancha y ejecución de corte hasta en un 75.05%, cabe recalcar que el tiempo de referencia máximo para las pruebas fue de 6 minutos para cada modo, del resultado obtenido se valida la hipótesis alternativa (Hi).

Validación Precisión de Corte

De la Tabla 14, Tabla 16 y Tabla 18 se conocen los diferentes valores del error obtenidos en los cortes en los modos de operación manual y automático, dejando así la base necesaria para analizar la precisión de la máquina; por tal motivo, se plantean las siguientes hipótesis:

(Hi): El sistema automático de corte aumenta la precisión y exactitud de corte en planchas de diferente material y distintos parámetros de corte como longitud, ancho y espesor.

(Ho): El sistema automático de corte no aumenta la precisión ni la exactitud de corte en planchas de diferente material y distintos parámetros de corte como longitud, ancho y espesor.

A partir del promedio del error porcentual y del promedio del error absoluto tanto del modo manual como del modo automático se tiene:

Modo manual:

$$\text{Error absoluto promedio} = 0.36 \text{ cm}$$

Error porcentual promedio = 1.45 %

Modo automático:

Error absoluto promedio = 0.08 cm

Error porcentual promedio = 0.45 %

Tabla 21

Validación de precisión y exactitud en el corte

Error absoluto promedio		
	Hi	Ho
	0.36 cm	0.08 cm
Hi<Ho	Si	No
Error porcentual promedio		
	Hi	Ho
	1.45 %	0.45 %
Hi<Ho	Si	No

La máquina es más exacta en el modo automático ya que los valores se acercan más al valor deseado como indica el error absoluto promedio y también es más precisa por que los valores son más cercanos entre sí como indica el error porcentual promedio, independientemente de la longitud de la plancha y el ancho de corte, el espesor incrementa el error en ambos modos, pero en modo automático no sobrepasa los 3 mm de error en ningún ensayo mientras que para el modo manual cuando un operario no tiene el apoyo suficiente los cortes presentan errores de hasta 1 centímetro, por lo que se valida la hipótesis alternativa (Hi).

Validación de Seguridad

En el capítulo de implementación, mediante el diseño del HMI se garantizó que el uso de la cizalladora automática estará regido únicamente por un administrador designado por la empresa INDUCTESA, quien puede agregar a los empleados que estén capacitados para operar la máquina automatizada bajo las normas de seguridad y uso de la misma.

Luego de implementar la máquina en la empresa y que solo los empleados autorizados puedan manipularla se plantean las siguientes hipótesis:

(Hi): La máquina de corte puede ser operada únicamente por el administrador y operadores capacitados por la empresa.

(Ho): La máquina de corte no puede ser operada únicamente por el administrador y operadores capacitados por la empresa.

Tabla 22

Validación de seguridad de operación de la cizalladora automática

% personal capacitado con acceso a la máquina		
	Hi	Ho
	100%	0%
Hi>Ho	Si	No

De la Tabla 22 se determina que no cualquier persona que se encuentre o desee utilizar la cizalladora automática de la empresa INDUCTESA podrá hacerlo, ya que la misma solo funciona con las personas previamente capacitadas en cuestiones de seguridad, por lo que se valida la hipótesis alternativa (Hi). Obteniendo los siguientes resultados:

- Gracias al sistema de corte automático la empresa INDUCTESA podrá emplear alrededor de 2 minutos para cada corte que se realice, lo que representa una optimización importante del tiempo de operación de la cizalladora.
- El tiempo optimizado gracias al sistema de corte automático en la cizalladora es alrededor del 75%, lo que significa que, si al operario le llevaba 20 minutos cortar una plancha entera de cualquier material analizado en este proyecto, actualmente se demora alrededor de 5 minutos en realizar la misma acción.
- El sistema de corte automatizado permite incrementar la precisión de la cizalladora, pues, al controlar el tamaño de corte de forma automática no es necesario realizar ninguna medición extra de forma manual y gracias al fin de carrera encargado de detectar el material se produce el corte de forma segura e inmediata.

- El error porcentual presente en el corte gracias al sistema de corte automatizado en la cizalladora es de alrededor del 0.45%, que se diferencia respecto al modo manual, el cual, presenta un error de hasta 1.45%.
- El error absoluto en modo manual es de 0.36 cm, mientras que en modo automático es de 0.08 cm.
- La interfaz humano máquina garantiza que la cizalladora pueda ser operada únicamente por el administrador de la empresa INDUCTESA o por algún operador que cuente con los permisos correspondientes y conste en el registro del panel de control.

Finalmente, a través del método cuantitativo empleado en la obtención de los resultados alcanzados, se acepta la hipótesis planteada para el presente proyecto de investigación, pues, los valores porcentuales en la optimización del tiempo de operación de la cizalladora y la precisión de corte en diferentes metales con distintas dimensiones, indican que el corte automático presenta un ahorro de material e incremento en la seguridad de operación, por lo tanto la máquina de corte automático implementada en la empresa INDUCTESA cumple con todos los parámetros de diseño y operatividad impuestos.

Análisis de costos

Para la elaboración e implementación de la cizalla, la mayoría de componentes de la máquina fueron facilitados por la empresa, como son la cuchilla, la bancada y los elementos del sistema de transmisión que tuvieron que ser fabricados, la empresa corrió con los gastos únicamente hasta la implementación del modo manual, los costos de la elaboración de las placas electrónicas y demás componentes necesarios para la automatización de la cizalla fueron asumidos por los autores del presente proyecto. Es así que la Tabla 23 y Tabla 24 muestran a detalle los costos asumidos tanto por la empresa como los autores del proyecto.

Tabla 23*Costos asumidos por la empresa*

Proporcionado por la empresa INDUCTESA				
Insumo	Detalle	Cantidad	Valor Unitario USD	Valor Total USD
Cuchilla	AISI D3 marca Bohler modelo k100 2.40 m	1	500	500
Motor	Marca Siemens de 7.5 Hp y de 1740 rpm	1	180	180
Rueda Excéntrica	Hierro Negro	2	280	560
Cierre de Forma	Hierro Negro	2	250	500
Eje Principal	SAE 1045	1	724	724
Bancada	Hierro Negro	1	450	450
Total				2914

Tabla 24*Costos asumidos por los autores del proyecto*

Proporcionado por las estudiantes				
Insumo	Detalle	Cantidad	Valor Unitario USD	Valor Total USD
Eje de transmisión	24,85 mm de diámetro	1	28	28
Planchas	Acero negro	2	50	100
Disco de inercia	Hierro negro de 71 cm de diámetro	1	60	60
Polea motriz	100 mm de diámetro	1	26	26
Correas	Sección tipo A de 2680 mm	3	10	30
Engranajes rectos	99,75 mm de diámetro en acero	2	35	70
Pantalla Táctil	NX8048T070 de 800x480	1	100	100
Microcontrolador	ESP8266 WIFI de 64 Kb	2	20	40
Módulo Relé	Relay de 8 canales 5 V-10 A	1	11	11
Relé térmico	LS 2232	1	35	35
Motor DC	24 VDC 100 W 3450 RPMs	1	60	60
Fuente de regulación	Controla el voltaje	1	20	20
Electroválvula	5 vías 2 posiciones	2	34	68
Cilindro doble efecto	Cilindro DNC 50X100-S	1	95	95
Total				743

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se diseñó y se construyó una cortadora automática para láminas de tol galvanizado, acero inoxidable y hierro negro con espesor de hasta 3 mm con lo que se mejoró la productividad y la seguridad del manejo del material en la empresa INDUCTESA.

Se diseñó una máquina capaz de soportar las cargas debido a las fuerzas de corte gracias a las propiedades mecánicas de cada uno de los materiales utilizados, así como los componentes que se involucran en el proceso de operación como engranajes, cilindros, ejes, bandas, motores, entre otros.

Se determinó la fuerza de corte en la cuchilla cuyo valor es 103 kN, con lo que se garantiza el corte en planchas de acero inoxidable de hasta 3 mm y en consecuencia de tol galvanizado y hierro negro; también gracias a esta fuerza y la investigación realizada en el capítulo dos, se opta por utilizar un motor trifásico de 5.6 KW como elemento principal para poder transmitir el movimiento de corte a la cuchilla.

Se diseñó un eje para el calibre posterior de 25 mm diámetro, que es capaz de soportar los engranajes rectos que transmiten una fuerza de 1.24 N cada uno mediante un motor DC que trabaja a una potencia de 100 W, esto garantiza el movimiento preciso del calibre a la hora de fijar un tamaño de corte.

El panel de control cuenta con circuitos electrónicos que son comandados por una ESP8266, que envía y recibe las señales para activar y desactivar el pistón neumático que a su vez acciona el pedal encargado del descenso de la cuchilla, paralelamente sube los datos a una página web mediante WIFI, de este modo registra en una base de datos las operaciones llevadas a cabo.

Se programó una interfaz humano máquina mediante el lenguaje "EventCode", mismo que es propio para la pantalla Nextion NX8048T070, donde además de crear el panel de

control se estableció una base de datos con ayuda de “Node Red”, para así tener un registro de operación de la máquina con detalles como número de cortes, fecha, hora de operación y el nombre del operador.

El panel de control desarrollado garantiza la seguridad durante la operación de la máquina, cuenta con un registro de permisos para el administrador y los operadores que cuenten con la autorización para utilizar la cizalla, con esto no solo se asegura al sistema de posibles fallas por terceros sino también, garantiza la seguridad de los empleados en cuanto al manejo de una máquina a la cual no están preparados y/o aptos para utilizar.

La cizalla con sistema automático permite realizar cortes con gran precisión, donde el error actualmente no sobrepasa el 1.45% en cualquier corte en espesores de hasta 3 mm, lo que quiere decir que existe un error de 3 mm máximo.

Se construyó una máquina de corte automática que optimiza el tiempo de operación hasta un 75%, lo que quiere decir que el operador actualmente se demora máximo 2 minutos por corte, a comparación del modo manual en el que cada corte le podía llevar al operario más de 5 minutos y con resultados menos precisos.

Recomendaciones

Para lograr un mejor resultado a la hora de realizar cortes es importante dejar cargar el compresor de aire que alimenta al pistón neumático por un tiempo adecuado y verificar que no existan fugas de aire en las mangueras que conectan al compresor, pistón y electroválvula.

Es recomendable mantener una lubricación adecuada en los ejes de transmisión de potencia, también los engranajes principales y demás elementos móviles; también es importante revisar periódicamente los elementos sometidos a esfuerzos para evitar daños en la cuchilla y/o máquina.

Revisar la conexión a 220 VAC de la empresa antes de intentar manipular las conexiones realizadas en la caja eléctrica de la máquina, ya que contiene las conexiones a los demás componentes del sistema.

Establecer la conexión WiFi del microcontrolador ESP8266 para mantener la base de datos actualizada cada vez que se realice una operación de corte en la cizalla automática.

Revisar diariamente el registro de operación de la cizalla para evitar daños y de ser el caso poder encontrar el motivo de falla de la misma.

Evitar ubicarse en la parte trasera de la máquina durante el proceso de corte, pues, el pedazo cortado puede representar un peligro potencial si llegará a caer en los pies de cualquier persona.

Bibliografía

Acesco. (2022). *Acero Recubierto*. <https://www.acesco.com.co/descargas/fichastecnicas/ficha-tecnica-acero-recubierto.pdf>

Arquis Decoración. (2016, June). *Tipos de máquinas*.

https://www.arqhys.com/decoracion/tipos_de_maquinas.html

Bonnet. (n.d.). *Clasificación de los aceros inoxidables*. Retrieved May 31, 2023, from

<https://www.bonnet.es/clasificacionacerinox.pdf>

Budynas, R., & Nisbett, K. (2015). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (MC Graw Hill, Vol. 9).

Dismetal. (2015). *Planchas Galvanizadas*.

Euroinox. (n.d.). *¿Qué es el acero inoxidable?* Retrieved May 15, 2023, from

https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/What_is_Stainless_Steel_SP.pdf

Fanser. (2023, February 22). *¿Qué es la maquinaria industrial y cómo se clasifican?*

<https://fanser.com/maquinaria-industrial-y-como-se-clasifica/>

Feysama. (2018). *Guillotina hidráulica industrial*. <https://www.feysama.com/guillotina-hidraulica-chapa/>

García, F. (2020). *Diseño y construcción de una cortadora de láminas de acero, tipo guillotina hidráulica, de hasta 1.4 mm de espesor, para la empresa ingeniería del acero y matricería de la ciudad de Ambato* [Proyecto de Investigación, Universidad Técnica de Cotopaxi].

<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30938>

García Moreno, E. (1999). *Automatización de procesos industriales* (A. Hervás & R. Villanueva, Eds.). Byprint Percom. www.lalibreria.upv.es

<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30938>

Gymasa. (2020). *GALVANIZADO*. <https://www.gymasa.cl/img/catalogo/Galvanizadps.pdf>

- Iza, E. (2017). *Diseño y construcción de máquina rotativa de corte longitudinal de planchas de acero galvanizado de 1 mm de espesor en la empresa carrocerías "IBIMCO S.A."* [Proyecto de Investigación, Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25129>
- Maploca. (2020). *Láminas hn*. <https://maploca.com/wp-content/uploads/2020/07/L%c3%81MINAS-HIERRO-NEGRO.pdf>
- Morcillo, M. (2019, July 1). *¿Qué es una guillotina de corte de lámina?* Láminas y Aceros.
<https://blog.laminasyaceros.com/blog/qu%C3%A9-es-una-guillotina-de-corte-de-lamina>
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de Máquinas* (S. Helbs & D. Yarnell, Eds.; Pearson Educación, Vol. 4).
- Nargesa. (2022). *Cizalla Hidráulica C3006 CNC*. <div class="csl-entry">Nargesa. (2022).
Cizalla Hidráulica C3006 CNC.</div>
- ProAgrin CA. (n.d.). *Lámina Negra o de Hierro Negro*. Retrieved June 2, 2023, from
http://www.proagrinca.com/especificaciones/lamina_estriada.pdf
- Reiproacero. (2020). *Plancha acero inoxidable*. <https://reiproacero.ec/m/producto/plancha-acero-inoxidable/>
- Revista de Robots. (2021, December 27). *Automatización industrial. ¿Qué es la automatización industrial y cómo funciona?* <https://revistaderobots.com/industria/automatizacion-industrial/?cn-reloaded=1>
- Ruedas, C. (2008). *Automatización industrial áreas de aplicación para ingeniería*.
https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin10/URL_10_MEC01.pdf
- Schvab, L. (2011). Máquinas y herramientas. In *Guía didáctica*.
<http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL007249.pdf>
- Serrano, A., & López, O. (2015). *Diseño de una cizalla industrial para el corte de láminas de acero al silicio utilizadas en transformadores secos de energía eléctrica* [Proyecto de grado, Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://hdl.handle.net/11059/5709>

Wood, P. (2007). *Optimizing the Shear Slitting Process Summary*.

<https://www.tappi.org/content/events/07place/papers/wood.pdf>

Intermec. (2018). *Poleas en "V" productos mecánicos de transmisión de potencia*. Bogotá,
Colombia

Dunlop. (2020). *Correas de transmisión industrial*. Buenos Aires, Argentina: Bella Vista.

Anexos