



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍAS
APLICADAS**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN RACK SEMIAUTOMÁTICO PARA
EL PRECALENTAMIENTO DE HERRAMIENTAS QUE UTILIZAN
INSERTOS DE TUNGSTENO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN
MECATRÓNICA**

CARLA ROCÍO YÉPEZ JIMÉNEZ

DIRECTORA: Msc. VERÓNICA GREFA A.

D.M. QUITO

2015

DECLARACIÓN

Yo CARLA ROCÍO YÉPEZ JIMÉNEZ declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que se ha investigado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Internacional del Ecuador, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por su normativa institucional vigente.



Carla Rocío Yépez Jiménez

CERTIFICACIÓN

El docente de la Escuela de Ciencias Exactas y Tecnologías Aplicadas
Msc. Verónica Grefa A.

CERTIFICA QUE:

El proyecto de investigación “Diseño y Construcción de un rack semiautomático para el precalentamiento de herramientas que utilizan insertos de tungsteno”, fue desarrollado por: Carla Rocío Yépez Jiménez y ha sido debidamente revisado y está en condiciones de ser entregado para que siga lo dispuesto por la escuela de Ciencias Exactas y Tecnologías Aplicadas, correspondiente a la sustentación y defensa del mismo.

Msc. Verónica Grefa A.

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación está dedicado a mis papas, que han sido mi apoyo incondicional no solo en el proceso de este proyecto sino también en todos los momentos de mi vida. Gracias por nunca dejar que me rinda, por nunca dejar de creer en mí y por siempre respaldar todas las decisiones que he tomado. Han podido transmitirme sus conocimientos y me han dado la confianza necesaria para ser la persona que soy hoy.

Pa sin tus enseñanzas no estaría aquí, lista para ser una ingeniera, te dedico esta tesis porque hiciste que me enamore de mi carrera, desde que tengo memoria tú me enseñaste este camino y siempre estaré agradecida por eso. Ma te dedico este proyecto porque eres mi mejor amiga, mi confidente y mi modelo a seguir, me enseñaste a pelear por lo que creo y a nunca darme por vencida gracias a ti soy una persona independiente que sabe lo que quiere y espero algún día ser tan fuerte como tú.

AGRADECIMIENTO

Primero quiero agradecer a mi familia por todo su apoyo y ayuda en el transcurso de este proyecto. Especialmente a mis hermanos por ayudarme siempre que les necesitaba y nunca dejarme sola.

A mi compañera de colegio/universidad/proyectos Paula, gracias por no dejar que me rinda, por ser mi amiga incluso en los días difíciles y por compartir conmigo tantas “historias para contar”. Gracias también a toda la familia Orrico Perez por adoptarme por tantos semestres.

A mis amigos Belen, Pamela y Paul, gracias por todos sus consejos y por su apoyo en el transcurso de estos años. Las experiencias compartidas me servirán por el resto de mi vida.

A mis lol@s, Tefa, Sofy, Danny, Juli y Berni, gracias por siempre sacarme una sonrisa.

A mi abuelita Marujita que sin darse cuenta, solo con un abrazo me daba fuerzas y energía. Gracias por enseñarme como ser una persona de bien y siempre recibirme con los brazos abiertos.

Al decano de la universidad Ramiro Brito por su incansable esfuerzo en hacer que seamos una facultad reconocida y bien preparada.

A mi tutora, gracias por toda su ayuda y no dejar que este proceso se alargue más de lo debido. Muchas gracias por todo el tiempo dedicado.

A todos los docentes que a lo largo de mi vida estudiantil compartieron sus conocimientos que me llevaron a este punto.

Gracias Jaime por permitir que use las herramientas en el taller y por enseñarme a ser una ingeniera que puede estar en la práctica también. Luchito gracias por toda la ayuda prestada en la construcción del proyecto y por enseñarme a pasar los cálculos a la vida real.

Finalmente a toda la gente desconocida (señor de la pijama, mecánicos, estudiantes, etc) que me ayudaron sin pedir nada a cambio, demuestran que aún se puede confiar en la gente.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	XVI
1 GENERALIDADES.....	1
1.1 TEMA DEL PROYECTO	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.4 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.5 OBJETIVOS.....	3
1.5.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.6.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	3
1.6.1.1 Área de electrónica.....	4
1.6.1.2 Área de control	4
1.6.1.3 Sección Mecánica.....	4
1.6.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	5
1.6.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	5
1.7 MARCO DE REFERENCIA.....	5
1.7.1 MÉTODOS DE PRECALENTAMIENTO SIMILARES EN LA INDUSTRIA.....	5
1.7.1.1 Calentamiento por inducción.....	5
1.7.1.2 Casa de calor.....	6
1.7.2 FORMAS DE CONTROLAR LA TEMPERATURA EN AMBIENTES INDUSTRIALES.....	6
1.7.2.1 PLC	7
1.7.2.2 Controladores de Temperatura	7
1.7.3 MECANISMO DE ROTACIÓN.....	7
1.7.3.1.1 Platos de sujeción para piezas tubulares	7
1.7.3.1.2 Garruchas o Ruedas	8
1.7.4 SISTEMA DE ROTACIÓN.....	8
1.7.5 TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO	9
1.7.5.1 Transmisión por cadena-piñón.....	9

1.7.5.2 Reducción de velocidad	9
1.7.6 SENSORES DE TEMPERATURA	9
1.7.6.1 RTD	10
1.7.6.2 Termistores	10
1.7.6.3 Termocupla	10
1.7.6.4 Pirómetro	11
1.7.6.4.1 Pirómetros de radiación	11
1.7.6.4.2 Pirómetros ópticos	11
1.7.7 FORMAS DE CONTROL	11
1.7.7.1 Control ON/OFF	11
1.7.7.2 Control PID	12
1.7.8 FORMAS DE CALENTAR	12
1.7.8.1 Quemador industrial	12
1.7.8.2 Antorcha	12
1.7.9 PROCESOS DE SOLDADURA	12
1.7.9.1 Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW)	12
1.7.9.2 Soldadura por arco con alambre y protección gaseosa (GMAW)	13
1.7.9.3 Soldadura por arco con Alambre Tubular (FCAW)	13
1.7.9.4 Soldadura Oxiacetilénica (OAW)	13
 2 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	 14
2.1 MARCO TEÓRICO	14
2.1.1 PARÁMETROS DE LAS HERRAMIENTAS A SOLDAR	14
2.1.2 ESQUEMA Y FUNCIONAMIENTO	14
2.2 ANÁLISIS DE LA MEJOR ALTERNATIVA	15
2.2.1 TIPOS DE METODOLOGÍAS DE GESTIÓN DE CALIDAD	15
2.2.2 QFD	16
2.2.2.1 Desarrollo de la metodología	16
2.2.2.2 Tabla de segmentación del cliente (TSC)	17
2.2.2.3 Verbalizaciones	18
2.2.2.4 Clasificación de las verbalizaciones	18
2.2.2.5 Estructura de las necesidades del cliente	19
2.2.2.6 Desplegar las necesidades	20

2.2.2.7 Priorizar las necesidades	21
2.2.2.8 Análisis de las necesidades	21
2.2.2.9 Casa de la calidad	22
2.2.2.9.1 Resultados de la casa de la calidad	22
2.2.2.10 Diseño conceptual.....	23
2.2.2.10.1 Análisis funcional.....	23
2.2.3 DEFINICIÓN DE MÓDULOS FUNCIONALES.....	24
2.2.3.1 Módulo 1.....	24
2.2.3.2 Módulo 2.....	24
2.2.4 SOLUCIONES DE CADA MÓDULO.....	25
2.2.4.1 Soluciones para el módulo 1.....	25
2.2.4.2 Soluciones para el módulo 2.....	27
2.2.5 MATRIZ MORFOLÓGICA	28
2.2.6 CRITERIO PARA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS: MATRIZ DE RESIDUOS PONDERADOS	29
 3 DISEÑO MECATRÓNICO DEL RACK SEMIAUTOMÁTICO	 31
3.1 DISEÑO MECÁNICO	31
3.1.1 CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA PARA LA SELECCIÓN DEL QUEMADOR INDUSTRIAL	31
3.1.2 DIMENSIONAMIENTO DEL MOTOR	36
3.1.2.1 Velocidad de Giro	36
3.1.2.2 Fuerza de fricción entre las garruchas y la herramienta.....	36
3.1.2.3 Cálculo del Torque requerido en el eje de la garrucha.....	38
3.1.2.4 Potencia requerida en el piñón	39
3.1.2.5 Potencia en el eje motriz.....	40
3.1.2.6 Potencia del motor	41
3.1.3 DISEÑO DE GARRUCHAS (RUEDAS)	41
3.1.3.1 Diámetro de las garruchas.....	42
3.1.3.2 Selección del espesor de la garrucha	43
3.1.4 SELECCIÓN DE LA CADENA.....	44
3.1.5 SELECCIÓN DEL PIÑÓN.....	47
3.1.6 CONFIGURACIÓN DE LA TRANSMISIÓN	48
3.1.7 LONGITUD DE LA CADENA.....	49

3.1.8 DISEÑO DEL EJE DE TRANSMISIÓN.....	51
3.1.8.1 Esquema del eje	52
3.1.8.2 Cálculo del diámetro con el método de energía de distorsión	58
3.1.8.3 Análisis del eje por rigidez	60
3.1.9 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS Y CHUMACERAS.....	62
3.1.9.1 Análisis en el plano X-Y	63
3.1.9.2 Análisis en plano X-Z	64
3.1.9.3 Rodamiento para el punto A	65
3.1.9.4 Rodamiento para el punto B	67
3.1.9.5 Dimensionamiento de la estructura de la mesa	68
3.1.9.6 Selección del perfil estructural para la mesa.....	68
3.1.9.7 Análisis de rigidez de la estructura principal	72
3.2 DISEÑO ELECTRÓNICO	77
3.2.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DC.....	77
3.2.2 CIRCUITO DE CONTROL DEL MOTOR POR PWM	78
3.2.3 SELECCIÓN DEL CABLEADO PARA EL PROYECTO.....	80
3.2.4 DIAGRAMA DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO DEL RACK SEMIAUTOMÁTICO.....	81
3.2.4.1 Diagrama de flujo en modo de precalentamiento.	81
3.2.4.2 Diagrama de flujo en modo de soldar	81
3.2.5 DISPOSITIVOS DE CONTROL Y ACTUADORES A UTILIZAR.....	84
3.2.5.1 Botón de seguridad del quemador y del sensor de temperatura	84
3.2.5.2 Pedal	84
3.2.5.3 Botón de inicio/fin del proceso	85
3.2.5.4 Botón de emergencia.....	85
3.2.5.5 Motor	85
3.2.5.6 PWM.....	85
3.2.5.7 Electroválvula	85
3.2.5.8 Sensor	86
3.2.5.9 Características del PLC	86
3.2.5.10 Características del controlador de temperatura	87
3.2.6 ESTADOS LÓGICOS	89
3.2.6.1 Descripción del subproceso Fin de Proceso	89
3.2.6.2 Descripción del subproceso Modo de Precalentamiento.	89
3.2.6.3 Descripción del subproceso Modo para Soldar	90

3.2.6.4 Descripción del subproceso Paro por Emergencia o Seguridad.....	90
3.2.7 ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC.....	91
3.2.8 DISEÑO DEL CIRCUITO LÓGICO	92
3.3 NOMENCLATURA Y ETIQUETADO.....	93
 4 CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS.....	 95
4.1 CONSTRUCCIÓN.....	95
4.2 PRUEBAS Y FUNCIONAMIENTO	100
4.2.1 PRUEBAS DE TIEMPO DE CALENTAMIENTO.....	100
4.2.2 COSTO FINAL DEL PROYECTO	103
 CONCLUSIONES	 104
 RECOMENDACIONES	 106
 BIBLIOGRAFÍA.....	 107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Rack manual con herramienta a precalentar	2
Figura 1.2: Calentamiento por inducción	6
Figura 1.3: Casa de calor	6
Figura 1.4: Plato de Sujeción en Weatherford	8
Figura 1.5: Garruchas para sujeción y movimiento de herramientas tubulares en Weatherford	8
Figura 2.1: Esquema del rack semiautomático	15
Figura 2.2: Módulo del nivel 0	23
Figura 2.3: Módulos del nivel 1	24
Figura 2.4: RTD [18].....	25
Figura 2.5: Termistor [19].....	25
Figura 2.6: Termocupla [20]	25
Figura 2.7: Pirómetro [10].....	26
Figura 2.8: Control ON/OFF [21]	26
Figura 2.9: Control PID [22].....	26
Figura 2.10: PLC [23]	26
Figura 2.11: Platos de sujeción	27
Figura 2.12: Garruchas	27
Figura 2.13: Quemador industrial automático [24].....	27
Figura 2.14: Antorcha.....	27
Figura 2.15: Matriz morfológica.....	28
Figura 3.1: Cara interior y exterior de la herramienta.	31
Figura 3.2: Antorcha.....	35
Figura 3.3: Diagrama de cuerpo libre	37
Figura 3.4: Esquema de la transmisión	38

Figura 3.5: Simulación de garruchas con diámetro de 80 mm en el Software WorkingModel	42
Figura 3.6: Simulación de garruchas con diámetro 160mm en el software WorkingModel	42
Figura 3.7: Selección de cadenas	46
Figura 3.8: Posición de piñones	48
Figura 3.9: Distribución de piñones para el prototipo dibujado en Inventor2012	49
Figura 3.10: Piñón y cadena	49
Figura 3.11: Cuadro de fallas estáticas	52
Figura 3.12: Distribución de los elementos en el eje.	52
Figura 3.13: Fuerzas del piñón.....	53
Figura 3.14: Diagrama de Fuerzas ejercidas por una persona apoyada.	54
Figura 3.15: Diagramas en el plano X-Y en el software MDSolids 3.5.....	56
Figura 3.16: Diagrama en el plano X-Z en el software MDSolids 3.5.....	57
Figura 3.17: Análisis del eje por rigidez en el plano X-Y en el software Inventor 2012	61
Figura 3.18: Análisis del eje por rigidez en el plano X-Z en el software Inventor 2012.	61
Figura 3.19: Diagrama de fuerzas que actúan sobre el eje dibujado en el software Inventor 2012	63
Figura 3.20: Diagrama de fuerzas plano X-Y	63
Figura 3.21: Diagrama de fuerzas plano X-Z.....	64
Figura 3.22: Estructura de la mesa	68
Figura 3.23: Diagramas del perfil principal en el software ForceEffect	71
Figura 3.24: DLC del perfil con corte imaginario.....	73
Figura 3.25: Gráfico del análisis analítico de la deflexión de la viga.	75
Figura 3.26: Análisis de la viga por rigidez en Inventor 2012.....	76

Figura 3.27: Análisis de la estructura por rigidez en Inventor 2012	76
Figura 3.28: Circuito PWM	78
Figura 3.29: Mosfet IRFZ44n	78
Figura 3.30: Onda de salida del Mosfet.....	79
Figura 3.31: Diagrama de flujo en modo de precalentamiento	82
Figura 3.32: Diagrama de flujo en modo de Soldadura	83
Figura 3.33: Funcionamiento pedal.	85
Figura 3.34: PLC LOGO! 230RC.....	86
Figura 3.35: Circuito para control de temperatura	87
Figura 3.36: Controlador de temperatura Powerlink	88
Figura 3.37: Diagrama de conexión del controlador de temperatura	88
Figura 3.38: Ingreso a modo de precalentamiento.	90
Figura 3.39: Ingreso a modo de soldadura.	90
Figura 3.40: Circuito booleano para la salida del motor.....	92
Figura 3.41: Circuito booleano para la salida de la electroválvula.	92
Figura 3.42: Circuito booleano para la salida de las alarmas	92
Figura 4.1: Diagrama de flujo del proceso de construcción el prototipo.....	95
Figura 4.3: Deformación de la punta del eje	96
Figura 4.4: Ruedas o garruchas mecanizadas	96
Figura 4.5: Rueda moleteada.....	97
Figura 4.6: Chavetero en el eje	97
Figura 4.7: Eje principal del movimiento.....	98
Figura 4.8: Riel mecánicas.....	99
Figura 4.9: Panel de control	99
Figura 4.10: Gráfico de pruebas de calentamiento	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Clasificación de las termocuplas	10
Tabla 2.1: Tabla 5W1H	17
Tabla 2.2: Tabla de verbalizaciones	18
Tabla 2.3: Clasificación de las verbalizaciones	18
Tabla 2.4: Estructura de las necesidades del cliente.....	19
Tabla 2.5: Tabla de necesidades	20
Tabla 2.6: Necesidades priorizadas	21
Tabla 2.7: Especificaciones de las soluciones para el módulo 1	25
Tabla 2.8: Especificaciones de las soluciones para el módulo 2	27
Tabla 2.9: Evaluación del peso específico de cada criterio	29
Tabla 2.10: Evaluación de pesos específicos para las diferentes alternativas con el criterio de Menor contacto de los operadores en el proceso	29
Tabla 2.11: Evaluación de pesos específicos para las diferentes alternativas con el criterio de Dimensiones.....	30
Tabla 2.12: Evaluación de pesos específicos para las diferentes alternativas con el criterio de Precisión.....	30
Tabla 2.13: Evaluación de pesos específicos para las diferentes alternativas con el criterio de Número de partes.....	30
Tabla 2.14: Tabla final dependiendo de cada criterio	30
Tabla 3.1: Datos de la herramienta	32
Tabla 3.2: Tipos de quemadores en el mercado	33
Tabla 3.3: Factor de servicio	39
Tabla 3.4: Valores medios de la eficiencia de algunas transmisiones.	40
Tabla 3.5: Características del motor.....	41
Tabla 3.6: Tabla de simulación con diferentes diámetros para las garruchas.....	43

Tabla 3.7: Especificaciones requeridas de la garrucha	44
Tabla 3.8: Especificaciones Garruchas	44
Tabla 3.9: Tabla de factor de seguridad para selección de cadenas	45
Tabla 3.10: Características de cadenas tipo 12B	47
Tabla 3.11: Características del Piñón.....	47
Tabla 3.12: Factor de seguridad para materiales dúctiles	59
Tabla 3.13: Características del acero AISI 1045	60
Tabla 3.14: Criterio de flecha máxima.....	62
Tabla 3.15: Valores de factor de velocidad	66
Tabla 3.16: Valores de factor de esfuerzo dinámico.....	66
Tabla 3.17: Características del Rodamiento para el punto A.....	67
Tabla 3.18: Características del rodamiento para el punto B	67
Tabla 3.19: Tabla de rodamientos de bolas rígidas NTN.....	68
Tabla 3.20: Tubo estructural rectangular.....	72
Tabla 3.21: Resultado de diferentes valores para x	75
Tabla 3.22: Tabla de calibre de cables de AWG	80
Tabla 3.23: Tabla de dispositivos de control y actuadores	84
Tabla 3.24: Características de la electroválvula	86
Tabla 3.25: Características del PLC LOGO! 230RC SIEMENS.....	87
Tabla 3.26: Características del Controlador de temperatura	88
Tabla 3.27: Subprocesos principales	89
Tabla 3.28: Tabla de entradas y salidas del PLC	91
Tabla 3.29: Nomenclatura y Etiquetado	93
Tabla 4.1: Tabla pruebas de funcionamiento	100
Tabla 4.2: Pruebas en el prototipo	101
Tabla 4.3: Tabla de costos del proyecto.....	103

ABREVIATURAS

PWM: Modulador de ancho de pulso

PLC: Controlador lógico programable

RTD: Detector de temperatura resistivo

QFD: Despliegue de la función de calidad

PID: Proporcional integral derivativo (control)

AISI: Instituto americano del hierro y el acero.

ASTM: Asociación para pruebas y materiales.

GMAW: Gas inerte de metal

K: Grado Kelvin

K: Conductividad térmica

KN: Kilo-Newton

KJ: Kilo-Joules

Nm: Newton-metro

Mpa: Mega-pascales

rpm: revoluciones por minuto

KW: Kilo-watio

c : Calor específico.

MS: Machine Shop

RESUMEN

La línea de “Fishing” de Weatherford se encarga de recuperar o liberar los pozos cuando instrumentos de perforación o medición se quedan atrapados, si no se logra extraerlos es necesario molerlos, para moler se usan herramientas especiales, que consisten en tubos con insertos de tungsteno soldados en la punta con forma de broca o en alas que van en el medio de la herramienta.

Fishing tiene una sublínea llamada Machine Shop, es aquí donde se sueldan los insertos de tungsteno en las herramientas moledoras, cada proceso que se hace en esta sublínea tiene sus requerimientos para realizar un trabajo de calidad.

El precalentamiento de las superficies es primordial para el proceso de soldadura de insertos de tungsteno, ya que esto garantiza que los insertos no sean dañados o no se adhieran correctamente.

Actualmente este tipo de errores ocurren ya que el precalentamiento es realizado manualmente por los operadores. Si ellos dejan calentar la superficie demasiado tiempo bajo la llama, los insertos no se adhieren adecuadamente y se pueden caer en cualquier momento, si por el contrario la superficie no llega a la temperatura requerida los insertos se queman al momento de ser soldados.

La máquina construida realiza dos funciones. La primera es el precalentamiento de forma automática, donde la herramienta gira a una velocidad constante para calentar el tubo homogéneamente. El prototipo es capaz de calentar la herramienta hasta que su superficie llegue a una temperatura de 100°C con una precisión de $\pm 10^{\circ}\text{C}$; de esta manera se evitan los daños explicados anteriormente. La siguiente función es ayudar en el proceso de soldadura. Aquí el operador puede girar la herramienta a su gusto para evitar discontinuidad en la soldadura de los insertos de tungsteno.

ABSTRACT

The department of “Fishing” from Weatherford is in charge of the process of removal equipment that has become stuck or lost in the wellbore. When fishing becomes a problem and is not possible to extract the equipment a milling process is implemented. This special process consists of tubes with tungsten welded on the top or wings that are in the middle of the tube.

Fishing has a sub department called Machine Shop; it is here where the tungsten inserts are welded with the milling tools, each process has its own requirements to obtain a quality product.

The preheating of the surfaces is essential for the welding process. This guarantees each insert will not be damaged and will be able to stick correctly over the surface.

Currently this kind of mistakes happens because the preheating is done by the operator manually. If the operator leaves the surface too long under the flame, the inserts will not be able to stick properly and they will fall during the milling process, if by the contrary the surface is not in the correct temperature when the inserts are being welded they will burn.

This machine has two functions. The first one is an automatic preheating of the tool. It rotates at a constant speed heating it equally. The prototype is able to heat the tool's surface until it reaches a temperature of 100°C with a precision of $\pm 10^{\circ}\text{C}$. This is a way to prevent the mistakes explained earlier. The other function is to help the welding process. The operators are able to rotate the tool at their convenience to avoid unnecessary stops during the welding procedure.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 TEMA DEL PROYECTO

Diseño y Construcción de un rack semiautomático para el precalentamiento de herramientas que utilizan insertos de tungsteno.

1.2 ANTECEDENTES

Las empresas que brindan servicios petroleros tienen varias líneas, las cuales realizan diferentes actividades para poder ejecutar de principio a fin la extracción de petróleo.

Dentro de Weatherford existen varias líneas de servicios, una de ellas es Fishing, encargada especialmente de recuperar herramientas atrapadas o de moler a dichas herramientas para poder seguir trabajando en el pozo. El mantenimiento de las herramientas moledoras se realiza en Machine Shop, otra línea de Weatherford. Esta es una línea de soporte para Fishing, ya que aquí se realiza la reparación de sus herramientas. En este caso se encarga de soldar insertos de tungsteno en las herramientas tipo tubulares utilizadas para moler cualquier tubo o herramienta que se ha quedado atrapado en el pozo. Para que los insertos estén bien soldados, es decir que no se desprendan cuando estén en el proceso de moler, es obligatorio preparar la superficie donde va a ser soldado el inserto de tungsteno realizando un precalentamiento de esta.

Actualmente para el proceso de precalentamiento de dichas herramientas se utiliza un rack, o estructura de soporte, como se muestra en la Figura 1.1, donde los operadores están en contacto directo con la herramienta mientras se realiza el precalentamiento. El primer paso es encender el mechero (3). El operador también es el encargado de realizar el movimiento rotatorio (4) a la herramienta (1), con las manos sin ninguna clase de protección, y cada rotación se la realiza de acuerdo a lo que la experiencia aconseja; es decir, no tienen un tiempo fijo ni un proceso determinado que les indique cuando realizar cada rotación.

Tampoco se hace un seguimiento apropiado para conocer si la sección a calentar (2) ya alcanzó la temperatura necesaria. Esto también depende de la experiencia del operador.

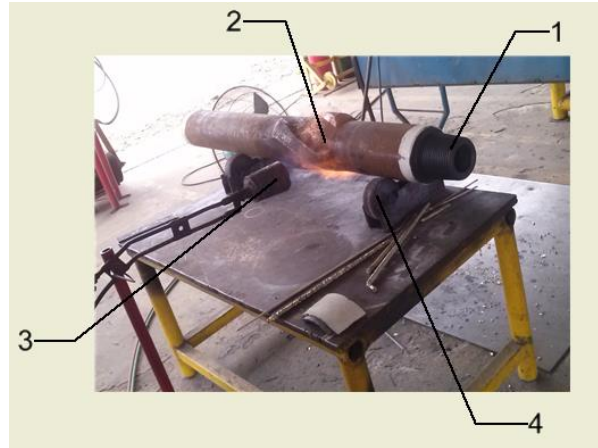


Figura 1.1: Rack manual con herramienta a precalentar

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema se centra en la forma que se realiza el proceso de precalentamiento, ya que tiene varios inconvenientes como:

- Inexactitud en el precalentamiento. Esto conlleva al desperdicio de material ya que si la temperatura está por debajo de los rangos establecidos no se pueden aplicar los insertos de tungsteno y estos no son reutilizables.
- Desperdicio de tiempo. El intervalo de precalentamiento no es constante debido a que está sujeto a la experiencia de cada operador.
- La seguridad de los operadores no está garantizada. Estos están involucrados directamente con el proceso lo que lleva a errores y posibles accidentes como quemaduras, fuga de gas, etc.

1.4 FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Cuáles son las ventajas de implementar un rack semiautomático al proceso de reparación de herramientas?
- ¿Podría la implementación de esta máquina mejorar los tiempos de reparación de herramientas?
- ¿La seguridad de los operadores mejorará al introducir la máquina al taller?
- ¿Los operadores aceptarán la implementación de la máquina en el taller?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir un rack semiautomático para el precalentamiento de herramientas que utilizan insertos de tungsteno.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis con los operadores del taller para establecer los requerimientos de la máquina.
- Diseñar una máquina con dos modos de operación: modo de precalentamiento y modo de soldadura.
- Diseñar un mecanismo que realice el precalentamiento automáticamente, de tal manera que la velocidad de rotación de las herramientas cilíndricas, con diámetros desde 8.89 cm (3 ½") hasta 24.13 cm (9 ½"), permita un calentamiento homogéneo.
- Realizar una máquina que ayude al operador a soldar la herramienta cilíndrica sin interrupciones para girarla.
- Realizar una interfaz amigable para que los operadores puedan manipular el rack semiautomático; donde se pueda introducir la temperatura requerida para la herramienta, y escoger el modo de operación entre precalentamiento y soldadura.
- Diseñar el circuito electrónico para el control y monitoreo de temperatura, permitiendo asignar los límites de precalentamiento e integrando una alarma sonora y visible cuando la herramienta llegue a los rangos de temperatura establecidos por el operador.

1.6 JUSTIFICACIÓN

1.6.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Debido a la falta de procedimientos controlados en el taller de Machine Shop, existe la necesidad de implementar una máquina para mejorar el proceso.

Los beneficios de implementar máquinas en el proceso de soldadura son:

- Exactitud al medir la temperatura de la herramienta.
- Reducción de tiempo al precalentar.
- Ahorro de materiales.

- Seguridad del operador.

El diseño de este prototipo contempla las áreas de mecánica, electrónica y control como se ve a continuación.

1.6.1.1 Área de electrónica

El área de electrónica consiste en:

- Interfaz entre el operador y máquina
- Módulo de alimentación para los motores y para el control
- Recibir, enviar, y acondicionar señales. (Sensores, alarmas, micro controladores, etc.)
- Planos eléctricos y electrónicos

Para esto se aplicarán los conocimientos de electrónica digital y programación aprendidos durante la carrera.

1.6.1.2 Área de control

El operador establecerá el rango de temperatura al cual la herramienta deberá ser calentada, iniciando el calentamiento y movimiento rotatorio de la misma. Utilizando un control ON/OFF sobre el proceso de calentamiento se monitoreará cuando la temperatura alcance los límites establecidos y se realizarán las siguientes acciones:

- Encendido de alarma visual
- Interrupción del movimiento rotatorio.
- Apagado de la fuente de calor.
- Encendido de alarma sonora.

Para lograr esto se utilizará principalmente las materias de control e instrumentación.

1.6.1.3 Sección Mecánica

Este proyecto consta de un motor para el movimiento rotacional de las herramientas, y una estructura que soporta el peso y el movimiento de las mismas.

Las características de las herramientas, sobre las que se tendrá que diseñar la máquina son:

- Longitud máxima: 0.91 m (3 pies)
- Peso máximo aproximado: 90.7 kg (200 lb)

- Diámetro externo máximo: 24.13 cm (9 ½ pulgadas)
- Diámetro mínimo: 9.1 cm (3 ½ pulgadas)
- Espesor de la herramienta: 1.27 cm (½ pulgada)
- Material de las herramientas: Acero al carbono

Utilizando estos datos se aplicarán los conocimientos aprendidos en diseño de mecanismos y mecánica.

1.6.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Se buscará máquinas similares con el fin de comparar estructura y control, para tener diferentes posibilidades de sensores, métodos de control y ergonomía. También se podrá tener un criterio para saber escoger los mejores elementos a usar de acuerdo a su funcionalidad. Otro factor que se evaluará será el precio, y así se tendrá una idea más clara del costo de los elementos en el mercado.

1.6.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

El diseño y construcción de esta máquina ayudará a mejorar la calidad del trabajo en la línea de Machine Shop e incentivará a automatizar diferentes áreas en el taller que ayudarán a mejorar la producción de la línea.

1.7 MARCO DE REFERENCIA

1.7.1 MÉTODOS DE PRECALENTAMIENTO SIMILARES EN LA INDUSTRIA

Las empresas que existen en la industria de soldadura emplean diferentes formas para el precalentamiento del área que van a soldar, en esta sección solo se refiere a máquinas o formas de precalentamiento para herramientas cilíndricas.

1.7.1.1 Calentamiento por inducción

Esta forma es usada como precalentamiento o para soldar directamente una pieza. Consiste en crear un campo magnético por medio de una bobina que va alrededor a la herramienta por donde circula corriente alterna, que es controlada por el operador. En la Figura 1.2 [1] se puede observar el calentamiento por inducción en una pieza de trabajo. [1]



Figura 1.2: Calentamiento por inducción

1.7.1.2 Casa de calor

Esta forma de precalentamiento funciona cubriendo el área que se desea calentar con una “casa” de metal y encendiendo una antorcha. El calor circula por toda la “casa” por conducción y esta transmite el calor por convección como se ve en la Figura 1.3: Casa de calor



Figura 1.3: Casa de calor

1.7.2 FORMAS DE CONTROLAR LA TEMPERATURA EN AMBIENTES INDUSTRIALES

Ya que el presente proyecto está diseñado para un ambiente industrial esta sección de control de temperatura se enfoca en elementos que cumplan con las condiciones necesarias para resistir un ambiente hostil.

1.7.2.1 PLC

Un PLC es un microprocesador programable enfocado a la industria; es decir, es un sistema más robusto con resistencia a ruidos y vibraciones. Un PLC de gama baja y media necesita más tiempo de procesamiento que un microcontrolador. [2]

Actualmente existen tres tipos de lenguajes de programación de PLCs, los más difundidos a nivel mundial son:

- Lenguaje de contactos o Ladder
- Lenguaje Booleano (Lista de instrucciones)
- Diagrama de funciones

Una manera de controlar la temperatura es que el PLC reciba directamente la señal análoga que el sensor envía, y por programación convertirla en una señal discreta, para esto se necesitan dispositivos que acepten entradas análogas.

1.7.2.2 Controladores de Temperatura

Los controladores proporcionan una transformación eficiente de la señal análoga y una respuesta rápida. El operador puede especificar una temperatura de set point para que el controlador envíe una señal a su salida tipo relé y a su vez al actuador a utilizar. [3]

1.7.3 MECANISMO DE ROTACIÓN

Para garantizar la seguridad de los operadores se necesita automatizar el movimiento giratorio manual realizado por estos, con este propósito es preciso encontrar diferentes mecanismos que puedan realizar esta actividad sin necesidad de la interacción directa del operador.

1.7.3.1.1 Platos de sujeción para piezas tubulares

Como muestra la Figura 1.4 , el plato de sujeción, consiste en tres mordazas que se cierran o se abren por medio de una llave de ajuste. Este sistema permite sostener piezas tubulares de cualquier diámetro; y al mismo tiempo realizar el movimiento de rotación. [4]



Figura 1.4: Plato de Sujeción en Weatherford

1.7.3.1.2 Garruchas o Ruedas

Para este sistema se necesitarían dos ruedas o tubos cortos para cargas pesadas, mostrados en la Figura 1.5, de esta forma se podría limitar los diámetros máximos y mínimos de las herramientas a utilizar.



Figura 1.5: Garruchas para sujeción y movimiento de herramientas tubulares en Weatherford

1.7.4 SISTEMA DE ROTACIÓN

Para este proyecto se utiliza un motor DC con caja reductora para el movimiento de rotación.

Los motores DC funcionan cuando el rotor recibe corriente por el contacto entre las escobillas y el conmutador, este gira siguiendo el movimiento del rotor y las escobillas se mantienen fija. Cuando la corriente llega al devanado del rotor sus palos son atraído y repelidos por los polos del estator. [5]

1.7.5 TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

1.7.5.1 Transmisión por cadena-piñón

Este sistema permite transmitir un movimiento giratorio entre dos ejes paralelos, donde se puede modificar la velocidad pero no el sentido de giro. Los eslabones de la cadena engranan con los piñones permitiendo el movimiento de los ejes del mecanismo a mover. [6]

1.7.5.2 Reducción de velocidad

Para reducir la velocidad entre piñón y cadena se debe tener una diferencia en el número de dientes entre el piñón conducido y el piñón conductor. A continuación se observa la ecuación de relación de velocidades (1.1)

$$i = \frac{N_2}{N_1} = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (1.1)$$

Donde:

i = Relación de velocidades

N_1 = Velocidad de giro del piñón conductor [rpm]

N_2 = Velocidad de giro del piñón conducido [rpm]

Z_1 = Número de dientes del piñón conductor

Z_2 = Número de dientes del piñón conducido

1.7.6 SENSORES DE TEMPERATURA

Dispositivo que convierte, energía térmica en energía eléctrica con el fin de realizar mediciones sobre superficies o en el ambiente para conocer su temperatura y si las especificaciones lo indican, realizar acciones que permitan mantener el proceso estable.

Con la finalidad de mejorar la exactitud en la medición y control de la temperatura en el proceso de precalentamiento de las herramientas de Fishing, se ve la necesidad de utilizar sensores térmicos.

En el mercado se pueden encontrar una gran variedad de sensores de temperatura los cuales difieren en la forma de transformar la señal térmica en eléctrica.

1.7.6.1 RTD

Es un sensor que mide la variación de resistencia en función de la variación de la temperatura en determinado material. Los metales comúnmente utilizados para su fabricación pueden ser: platino, níquel, cobre.

Las ventajas de este tipo de sensores son: la respuesta lineal, alto tiempo de respuesta y alta exactitud

La principal desventaja es su corta vida útil si son sometidos a vibraciones y excesos mecánicos. [7]

1.7.6.2 Termistores

Estos sensores están basados en semiconductores y utilizan como variable su resistencia para encontrar variaciones en la temperatura.

Tiene una alta precisión y su rango de medición es de -40 a 150 °C. [8]

1.7.6.3 Termocupla

Está conformado por dos metales diferentes conectados en dos juntas. Utilizan el efecto Seebeck, es decir cuando dos metales están a diferentes temperaturas circula una pequeña corriente a través de estos. [9]

Las termocuplas tienen un alto rango de temperatura y baja sensibilidad en su medición.

En la Tabla 1.1 modificada de [9], se muestra la clasificación de termocuplas.

Tabla 1.1: Clasificación de las termocuplas

Termocuplas metálicas			
TIPO ANSI-ISA	Combinación de metales	Sensibilidad (μV)	Rangos de temperatura (°C)
J	Hierro/ Constantan	56	-40 a +750
K	Cromel/ Alumel	36	-40 a +1200
T	Cobre /Constantan	45	-50 a +400
E	Cromel/Constantan	79	-40 a +900

1.7.6.4 Pirómetro

Instrumento utilizado para medir elevadas temperaturas por encima del alcance de cualquier otro dispositivo. Existen dos tipos:

1.7.6.4.1 Pirómetros de radiación

No necesitan estar en contacto con el objeto a sensor ya que miden la radiación electromagnética (EM) emitida por este, puede sensor desde la radiación ultravioleta con longitud de onda de $0.1\mu\text{m}$ hasta la mitad del infrarrojo $100\mu\text{m}$.

Su principio de funcionamiento está basado en la ley de Stephen-Boltzman de energía radiante (1.2), la cual especifica que: la intensidad de radiación emitida por un cuerpo es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. [10]

$$\varphi = \sigma \cdot T^4 \quad (1.2)$$

Donde:

φ : Intensidad de radiación

σ : Constante de Stephen-Boltzman = $4.92 \times 10^{-8} \text{ [Kcal/m}^2\text{]}$

T: Temperatura absoluta [$^{\circ}\text{K}$]

1.7.6.4.2 Pirómetros ópticos

Se basan en la medición de la radiación luminosa que el cuerpo emite. Su funcionamiento consiste en la comparación visual de la luminosidad del cuerpo radiante con la de un filamento de una lámpara incandescente. Se utiliza para mediciones menores a 700°C [10]

1.7.7 FORMAS DE CONTROL

Se necesita un tipo de control para monitorear la temperatura de la herramienta de forma efectiva.

1.7.7.1 Control ON/OFF

Esta forma es la más simple de realizar; necesita una señal de referencia y una vez que esta llega al nivel de referencia se enciende o se apaga un actuador, 4s decir solo puede variar entre dos valores. La señal de salida no influye sobre la señal de entrada. La precisión de este control depende de la calibración de los sensores. [11]

1.7.7.2 Control PID

Este control aprovecha las características de tres reguladores (proporcional, integral y derivativo), de forma, que si la señal de error varía paulatinamente, predomina la acción proporcional e integral y si la señal de error varía precipitadamente, predomina la acción derivativa.

La ventaja es que tiene una respuesta rápida y una inmediata compensación de la señal de error en el caso de perturbaciones. Se caracteriza por realizar tres acciones durante el proceso de control y es el más usado industrialmente. [12]

1.7.8 FORMAS DE CALENTAR

1.7.8.1 Quemador industrial

Se clasifican en manuales, semiautomáticos y totalmente automáticos. Pero también depende de combustible que puede ser gas, diésel, petróleo, gasóleo o combustóleo. Las funciones de estos quemadores industriales son: fundir o calentar todo tipo de metales como aluminio, cobre, acero, plata, etc. Su eficiencia depende totalmente de su diseño. [13]

1.7.8.2 Antorcha

Se enciende manualmente, por medio de un chispero. Tienen un regulador de flujo para la entrada de GLP, por medio de este se puede controlar el tamaño de la llama. Su potencia depende de la cantidad de flujo de salida del cilindro de GLP.

1.7.9 PROCESOS DE SOLDADURA

De acuerdo con la AWS una soldadura es, “una coalescencia localizada de metales o no metales producida tanto por calentamiento de los metales a la temperatura de soldadura, con o sin la aplicación de presión, o por la aplicación de presión solamente y con o sin el uso de materiales de aporte” [14]

1.7.9.1 Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW)

Este proceso consiste en generar suficiente calor para unir metales, la temperatura aumenta por medio de un arco eléctrico que se produce entre el metal y un electrodo de metal recubierto.

Este proceso es usado por la mayoría de las empresas en la industria para numerosas aplicaciones a excepción de algunas aleaciones más exóticas. [14]

1.7.9.2 Soldadura por arco con alambre y protección gaseosa (GMAW)

Comúnmente conocida como soldadura MIG, la característica principal es que la protección para la soldadura es dada por una atmósfera de gas que es suministrado por la pistola de soldadura al igual que el electrodo. [14]

1.7.9.3 Soldadura por arco con Alambre Tubular (FCAW)

Este proceso es similar al GMAW excepto que el electrodo es tubular con un fundente granular en lugar de un alambre sólido. En este tipo de soldadura puede haber o no protección gaseosa. Esta soldadura es usada en muchas industrias donde los materiales predominantes son ferrosos. [14]

1.7.9.4 Soldadura Oxiacetilénica (OAW)

También conocida como soldadura por oxigas. El calor es producido por la combustión de los gases oxígeno-acetileno. El acetileno es el único gas combustible capaz de producir temperaturas suficientemente altas para una soldadura efectiva. La protección para la soldadura es creada por la reacción química de combustión.

La proporción de estos gases puede ser ajustada para diferentes tipos de llama; llama neutra que se usa para soldar aceros al carbono, mayor cantidad de oxígeno crea una llama oxidante usada para soldadura de cobre y sus aleaciones, y una llama carburante se produce por mayor cantidad de acetileno, se usa para bronce, latones y aceros sin material de aporte. [14]

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 PARÁMETROS DE LAS HERRAMIENTAS A SOLDAR

A continuación se muestra las características de las herramientas que se pueden precalentar en el rack:

- Longitud máxima: 0.91 m (3 pies)
- Peso máximo aproximado: 90.7 kg (200 lb)
- Diámetro externo máximo: 24.13 cm (9 ½ pulgadas)
- Material: Acero
- Temperatura máxima que tiene que alcanzar la herramienta: 593°K (320°C)
- Temperatura mínima a la que puede llegar la herramienta: 523°K (250°C)

2.1.2 ESQUEMA Y FUNCIONAMIENTO

La Figura 2.1 muestra un esquema del rack semiautomático para el precalentamiento de herramientas que utilizan insertos de tungsteno, este consta de las siguientes partes:

- 1) Mecanismo giratorio: Es el sistema que realiza el movimiento del tubo, está compuesto por: garruchas, ejes, piñones, cadena y motor.
- 2) Sistema de control: El PLC realiza el control del proceso por medio del sensor de temperatura, activando o desactivando los actuadores dependiendo del modo de operación que se escoja. También se encarga de mostrar las pantallas indicando el estado en el que se encuentra el proceso.
- 3) Sistema de calentamiento: Consiste en la antorcha y la electroválvula, estas solo son encendidas cuando se escoge el modo de precalentamiento.

Su funcionamiento se basa en realizar un movimiento giratorio a la herramienta a soldar mientras se enciende un quemador industrial y así obtener una temperatura homogénea por toda la superficie de la herramienta.

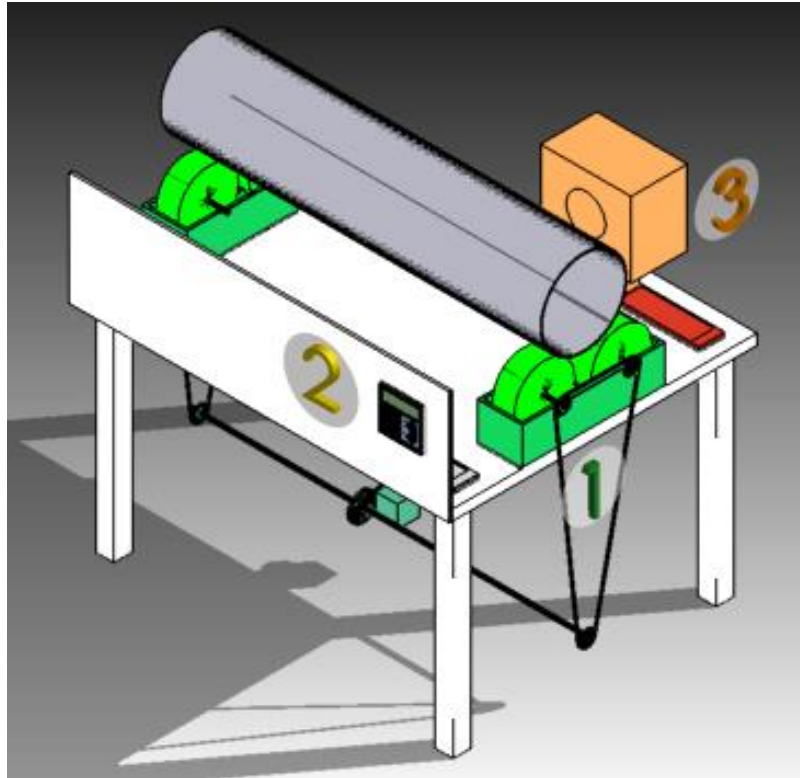


Figura 2.1: Esquema del rack semiautomático

Una vez la herramienta llegue a la temperatura predeterminada, el sensor envía una señal para detener el quemador y también encenderá una alarma para avisar al operador que la herramienta está lista para ser soldada.

2.2 ANÁLISIS DE LA MEJOR ALTERNATIVA

En esta etapa se considera los requerimientos de calidad desde la etapa de diseño.

Hay varios métodos para realizar una buena gestión de calidad, estos están basados en las necesidades del usuario y las diferentes opciones con las que se puede llegar a la satisfacción del cliente.

2.2.1 TIPOS DE METODOLOGÍAS DE GESTIÓN DE CALIDAD

A continuación se describe las técnicas o metodologías más usadas, que inciden en la gestión de calidad y del producto.

- **Gestión de Calidad total (TQM):** Es una herramienta enfocada al mejoramiento de los productos, servicios y procesos que tendrán un efecto en la productividad, satisfacción del cliente y utilidades.

- **Six Sigma:** Tiene una estrategia de negocios que se enfoca en el cliente, en un manejo eficiente de datos y metodologías y diseños robustos, permitiendo eliminar la variabilidad en los procesos y minimizar los defectos.
- **Ruta de Calidad:** Presenta los elementos conceptuales y prácticos sobre la metodología para la solución de problemas, esta herramienta permite identificar problemas o desviaciones que existan en la organización y convertirlos en proyectos de mejora.
- **QFD (Despliegue Funcional de la Calidad):** “Es una metodología que permite identificar y trasladar la información obtenida del cliente y convertirla en requisito del producto” [15]

QFD es la metodología que se utilizará en el presente proyecto, ya que las necesidades del cliente o usuario representan un factor importante al momento de diseñar la máquina.

2.2.2 QFD

Esta herramienta se enfoca en tomar en cuenta las necesidades del usuario o cliente y convertirlos en objetivos de diseño del proyecto.

Entre sus beneficios se encuentra:

- Integración de las demandas del cliente
- Satisfacción del cliente
- Las actividades de planificación y desarrollo están más ligadas a la expectativa.

2.2.2.1 Desarrollo de la metodología

Esta herramienta emplea como instrumento matrices que permiten visualizar el proceso de identificación de las necesidades del cliente y las traduce a un lenguaje técnico. Esta técnica especifica que calidad se ha de generar.

El primer paso para aplicar QFD es encontrar que se va a mejorar, en el caso de este proyecto lo que se va a mejorar es un proceso; el de precalentamiento de herramientas.

2.2.2.2 Tabla de segmentación del cliente (TSC)

Esta herramienta es de mucha utilidad se planea observaciones del cliente para detectar necesidades no explícitas. El método de 5w1h (preguntas quién, qué, cuándo, dónde, por qué y cómo) sirve para crear la tabla de segmentas del cliente. [16]. En la Tabla 2.1 se puede ver el método 5W1H representado en una tabla.

Tabla 2.1: Tabla 5W1H

¿Quién?	¿Qué?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Por qué?	¿Cómo?
Operadores	Observando	7am – 5pm	Taller MS	Seguridad	Tener poco contacto con la máquina. Encender el mechero y escoger el modo de operación.
Soldadores	Soldando	7am – 5pm	Taller MS	Facilidad	Soldar la herramienta cilíndrica, y girarla por medio del pedal. Soldar de una manera continua
Supervisor de MS	Esperando	7am – 5pm	Oficinas de MS	Ahorro de materiales	Asegurar que el personal que va a utilizar la máquina este correctamente preparado para usar la máquina.

La columna ¿Quién? Se llena preguntando el tipo de cliente que va a usar la máquina para realizar el proceso a mejorar.

Para la sección ¿Qué? Se refiere a que va a hacer el cliente con la máquina.

La columna de ¿Cuándo? Se refiere al tiempo (horas, días, temporada) que el cliente puede usar la máquina.

Para ¿Dónde? es el lugar donde el cliente va a usar la máquina

¿Por qué? Tiene que ver con la motivación del cliente, cual es la causa para que el cliente necesite usar la máquina.

La columna ¿Cómo? explica cómo usaría el cliente la máquina.

2.2.2.3 Verbalizaciones

La Tabla 2.2 muestra los requerimientos que el cliente solicita para la máquina. En este caso el cliente se divide en operadores (personal que trabaja directamente con las herramientas y maquinas en el taller) y Supervisor de MS (es la persona a cargo del taller de MS)

Tabla 2.2: Tabla de verbalizaciones

Operadores	Supervisor MS
Que la herramienta se caliente sola	Que los operadores no intervengan en el proceso de precalentamiento
Que la máquina avise cuando alcanza la temperatura establecida	Que sea económica
La máquina tiene que conocer la temperatura de la herramienta	Que sea de fácil desmontaje para su mantenimiento
Que sea fácil de usar	Que los operadores no necesiten un entrenamiento demasiado extenso para aprender a usar la máquina
Que se pueda calentar en cualquier parte de la herramienta	
Que al finalizar el proceso de calentamiento a herramienta esté lista para iniciar el proceso de soldadura sin ninguna falla	

2.2.2.4 Clasificación de las verbalizaciones

En esta etapa se ordenarán las verbalizaciones por temas parecidos como se ve en la Tabla 2.3

Tabla 2.3: Clasificación de las verbalizaciones

Nº	Verbalización
1	Que la herramienta se caliente sola
	Que los operadores no intervengan en el proceso de precalentamiento
2	Que la máquina avise cuando alcanza la temperatura establecida

3	Que al finalizar el proceso de calentamiento a herramienta esté lista para iniciar el proceso de soldadura sin ninguna falla
4	Que sea fácil de usar
	Que los operadores no necesiten un entrenamiento demasiado extenso para aprender a usar la máquina
5	Que se pueda calentar en cualquier parte de la herramienta
6	Que sea económica
	Que sea de fácil desmontaje para su mantenimiento

2.2.2.5 Estructura de las necesidades del cliente

En esta etapa se extrae las necesidades cliente, explicando más detallado lo que este requiere, como se observa en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Estructura de las necesidades del cliente

Nº	Verbalización	Necesidades
1	Que la herramienta se caliente sola	Necesito que el proceso de calentamiento sea automático; es decir que inicie y termine sin intervención del operador
	Que los operadores no intervengan en el proceso de precalentamiento	
2	Que la máquina avise cuando alcanza la temperatura establecida	Necesito que exista un aviso para el operador cuando la herramienta está lista para ser soldada
3	Que al finalizar el proceso de calentamiento a herramienta esté lista para iniciar el proceso de soldadura sin ninguna falla	Necesito que el calentamiento sea homogéneo a lo largo de la herramienta
		Necesito exista una medición constante de la temperatura
4	Que sea fácil de usar	Necesito que sea fácil de usar
	Que los operadores no necesiten un entrenamiento demasiado extenso para aprender a usar la máquina	
5	Que se pueda calentar en cualquier	Necesito que el calentamiento sea a lo

	parte de la herramienta	largo de la herramienta
6	Que sea económica	Necesito que sea económica
7	Que sea de fácil desmontaje para su mantenimiento	Necesito que sea fácil su mantenimiento

2.2.2.6 Desplegar las necesidades

En esta fase se identifica los parámetros de cada necesidad y se expone en términos técnicos, como en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5: Tabla de necesidades

Nº	Necesidades	
	Voz del usuario	Voz del ingeniero
1	Necesito que el proceso de calentamiento sea automático; es decir que inicie y termine sin intervención del operador	Que el operador no interactúe una vez el proceso de precalentamiento inicie
2	Necesito que exista un aviso para el operador cuando la herramienta está lista para ser soldada	Que tenga un sistema de alarma
3	Necesito que el calentamiento sea homogéneo a lo largo de la herramienta	Que la herramienta tenga un giro constante mientras esta se calienta.
4	Necesito que exista una medición constante de la temperatura	Que utilice un sensor que pueda medir la temperatura sin interrupciones
5	Necesito que sea fácil de usar	Que tenga una interfaz amigable con el usuario
6	Necesito que el calentamiento sea a lo largo de la herramienta	Que se pueda ubicar el quemador y el sensor en cualquier posición de la herramienta
7	Necesito que sea económica	Que utilice elementos disponibles en el mercado
8	Necesito que su mantenimiento sea fácil	Que la máquina sea modular

2.2.2.7 Priorizar las necesidades

Una vez explicadas las necesidades en términos de ingeniería, se procede a priorizar las necesidades de acuerdo a las exigencias del cliente (Tabla 2.6).

Tabla 2.6: Necesidades priorizadas

Nº	Necesidades
1	Que el operador no interactúe una vez el proceso de precalentamiento inicie
2	Que la herramienta tenga un giro constante mientras esta se calienta.
3	Que tenga un sistema de alarma
4	Que tenga una interfaz amigable con el usuario
5	Que utilice un sensor que pueda medir la temperatura sin interrupciones
6	Que se pueda ubicar el quemador y el sensor en cualquier posición de la herramienta
7	Que utilice elementos disponibles en el mercado

2.2.2.8 Análisis de las necesidades

La necesidad más importante es que el operador no interactúe una vez el proceso de precalentamiento inicie, es decir que el proceso sea automático.

Es importante que la superficie de la herramienta va a ser calentada homogéneamente y así evitar desperdicio de material.

La tercera prioridad es que pueda avisar al operador cuando la herramienta haya alcanzado la temperatura deseada para que este pueda empezar el proceso de soldadura (cambiando el modo de operación de la máquina).

Es necesario que la máquina sea amigable con el usuario para que todos los operadores puedan utilizarla.

2.2.2.9 Casa de la calidad

Es un método globalizador cuyo objetivo principal es asegurar que en la definición de un producto o servicio se han considerado las necesidades y requerimientos de los usuarios (o, la voz del usuario), a la vez que también constituye una herramienta para la planificación de la calidad durante el ciclo de vida. Consiste en un proceso estructurado que permite traducir los requerimientos y deseos de los usuarios en requerimientos técnicos de ingeniería en cada fase del diseño y de la fabricación.

Este es el método que se usará en el presente proyecto, ya que es el más utilizado.

En el ANEXO A se encuentra la casa de calidad adaptada, para este proyecto, del formato presentado en [16].

2.2.2.9.1 Resultados de la casa de la calidad

En el ANEXO A se puede observar la meta para cada necesidad, aquí se analizara si se llegó a la meta con el prototipo.

Que el operador no interactúe una vez el proceso sea iniciado: la meta dice que no se tenga interacción alguna, en el prototipo por cuestiones económicas se usa un mechero manual lo que causa que el operador tenga una interacción en el proceso.

Que tenga un sistema de alarma: la meta pide por lo menos un tipo de alarma que avise al operador cuando la herramienta esta lista para ser soldada, la máquina consta con una alarma sonora/visual para avisar al operador.

Que utilice un sensor que pueda medir la temperatura sin interrupciones: el sensor que se utiliza en este proyecto puede medir constantemente la temperatura de la herramienta, es decir con 0 interrupciones como indica la meta.

Que tenga una interfaz amigable con el usuario: La máquina cuenta con 4 pantallas diferentes para que el operador sepa el estado del proceso (Pantalla de inicio, Modo de soldadura, Modo de precalentamiento, y Alarma encendida), la meta pide que mínimo sean 3 pantallas.

Que se pueda ubicar el quemador y el sensor en cualquier posición de la herramienta: el sensor y el quemador pueden moverse a lo largo de toda la herramienta.

Que utilice elementos disponibles en el mercado: Todos los elementos utilizados en el prototipo existen en el mercado, y su construcción fue de tal manera que se los pueda reemplazar en cualquier momento.

2.2.2.10 Diseño conceptual

A continuación se estudiarán las diferentes opciones para la construcción del proyecto y se escogerá la mejor según los parámetros especificados.

2.2.2.10.1 Análisis funcional

Esta etapa establece la estructura modular del proyecto, con el despliegue de las diferentes funciones y de los flujos que las interconectan. [17]

La estructura funcional se puede desplegar en diferentes niveles, el nivel 0, como se ve en el Figura 2.2, representa la tarea global que debe realizar el producto final. Una vez definido el nivel 0 se crean los siguientes niveles, desplegando las funciones y creando nuevos módulos, como se puede ver en la Figura 2.3.

Nivel 0

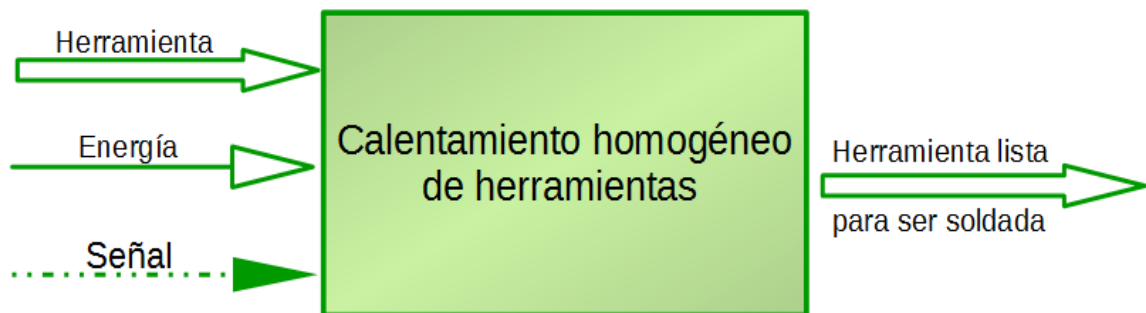


Figura 2.2: Módulo del nivel 0

Nivel 1

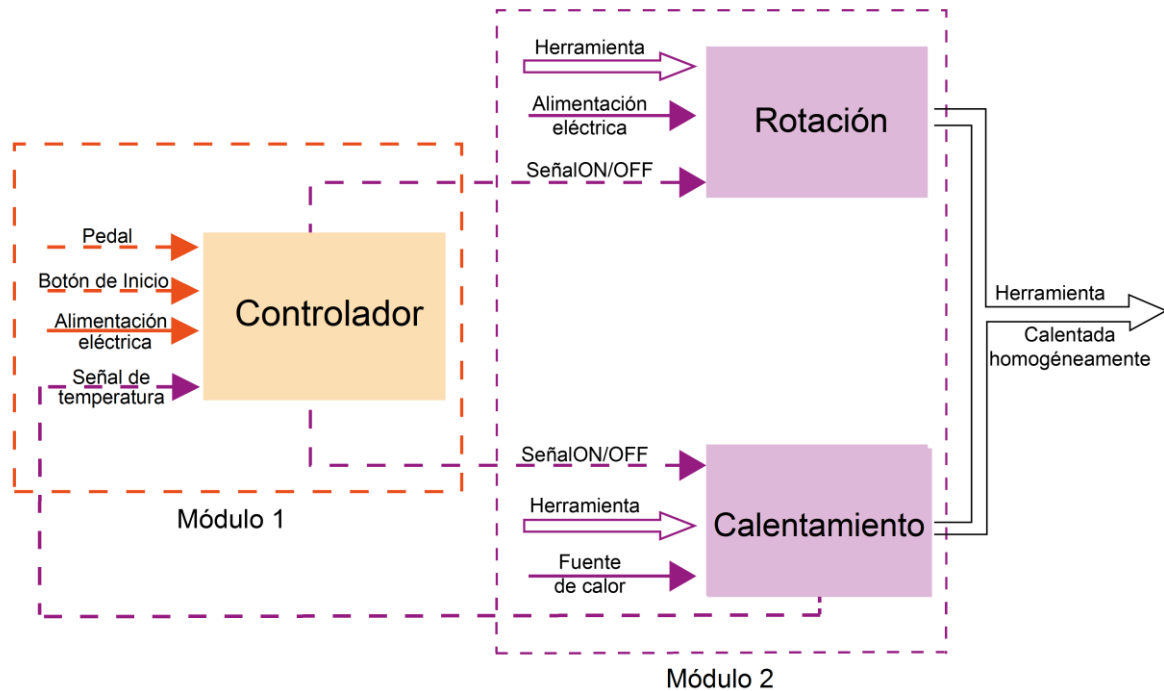


Figura 2.3: Módulos del nivel 1

2.2.3 DEFINICIÓN DE MÓDULOS FUNCIONALES

La estructura modular ayuda a especificar cada función y los pasos para llegar a la función global del proyecto.

2.2.3.1 Módulo 1

El módulo 1 se basa en el movimiento y el control de calentamiento dependiendo de la selección del modo de operación. Se tienen las siguientes actividades:

- Selección de modo de operación (modo de Precalentamiento y modo de Soldar)
- Medir la temperatura de la herramienta (Sensor de temperatura).
- Controlar el encendido y apagado de los actuadores (motor y electroválvula).

2.2.3.2 Módulo 2

La función del módulo 2 es la acción de llegar a una temperatura determinada de manera homogéneamente a la herramienta, y tiene las siguientes funciones:

- Calentar la herramienta a la temperatura seteada.

- Rotar la herramienta, para los dos modos; el de calentamiento donde no hay interacción por parte del operador, y el modo de soldadura donde el operador puede rotar la herramienta por medio de un pedal.

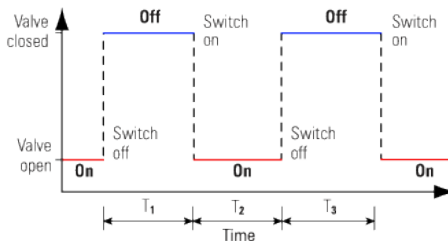
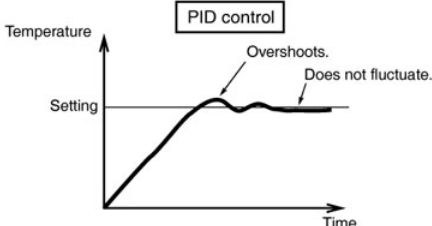
2.2.4 SOLUCIONES DE CADA MÓDULO

A partir del análisis de la estructura funcional y de los condicionantes de diseño, se establecen las diferentes soluciones para cada función de un módulo del proyecto.

2.2.4.1 Soluciones para el módulo 1

Tabla 2.7: Especificaciones de las soluciones para el módulo 1

Elemento		Figura	Ventajas	Desventajas
Sensor de temperatura	RTD	 Figura 2.4: RTD [18]	Dependiendo del material su rango de medición puede ser de -40 a 950 °C	Necesita estar en contacto con la pieza a medir Precisión de 0.1°C
	Termistor	 Figura 2.5: Termistor [19]	Precisión de 0.02°C	Necesita estar en contacto con la pieza a medir Rango de medición es de -80 a 150°C
	Termocupla	 Figura 2.6: Termocupla [20]	Más utilizado. Posibilidad de ser adaptado a las necesidades. Rango de medición dependiendo de su material puede ser de -40 a 900°C Precisión de 0.1°C	Necesitar estar en contacto con la pieza a medir

	Pirómetro	 Figura 2.7: Pirómetro [10]	No necesita estar en contacto con la pieza a medir Estable Rango de medición de -40 a 1000°C	Costo muy alto para temperaturas mayores a 100°C Precisión 1°C
Control	Control ON/OFF	 Figura 2.8: Control ON/OFF [21]	No depende de la señal de salida. Necesita una señal de referencia	Arranque brusco
	Control PID	 Figura 2.9: Control PID [22]	Aprovecha las características de los controles proporcional, integral y derivativo	Calibración y costo de implementación.
Elementos de control	PLC	 Figura 2.10: PLC [23]	Modular. Robusto. Enfocado a la industria.	Costo. Un solo tipo de entrada y salida.

2.2.4.2 Soluciones para el módulo 2

Tabla 2.8: Especificaciones de las soluciones para el módulo 2

Elemento		Figura	Ventajas	Desventajas
Mecanismos giratorios	Platos de sujeción para piezas tubulares	 Figura 2.11: Platos de sujeción	Permite la sujeción de herramientas tubulares.	Demasiadas piezas para la construcción.
	Garruchas	 Figura 2.12: Garruchas	Permite limitar los diámetros mínimos y máximos de las piezas a utilizar.	Desgaste rápido.
Quemadores	Quemadores automáticos	 Figura 2.13: Quemador industrial automático [24]	Control del encendido y apagado automático.	Costo
	Antorcha	 Figura 2.14: Antorcha	Su costo es bajo y fácil de encontrar en el mercado.	Manual

2.2.5 MATRIZ MORFOLÓGICA

En esta etapa se realiza un análisis morfológico para encontrar diferentes alternativas del diseño del proyecto.

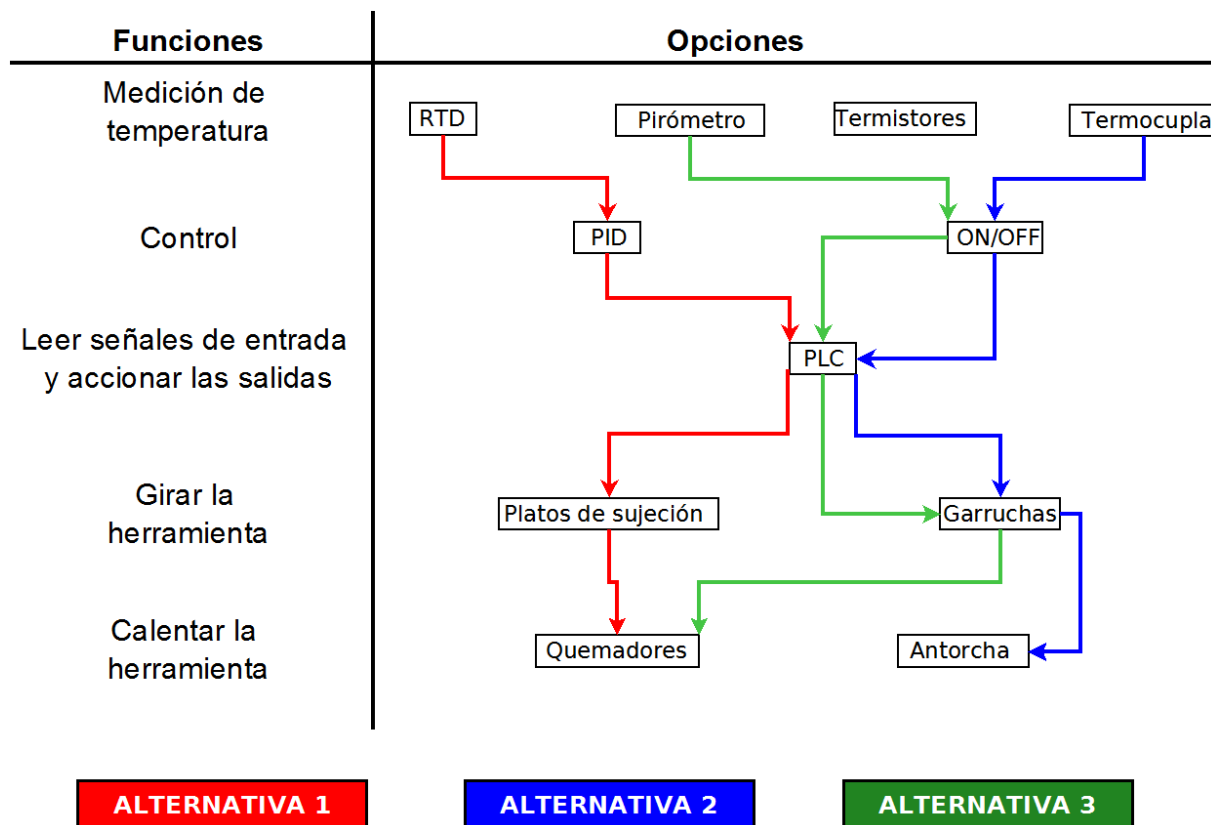


Figura 2.15: Matriz morfológica

En la Figura 2.15 se puede ver las diferentes opciones de los módulos y las alternativas son:

Alternativa 1: Sensor RTD, con control PID. El control se haría por medio de un microcontrolador, el mecanismo que ayudará a girar la herramienta son los platos de sujeción y se calentará con un quemador con control de flujo.

Alternativa 2: Sensor termocupla, con control ON/OFF. El control se haría por medio de un PLC, el mecanismo que ayudará a girar la herramienta son garruchas y se calentará con una antorcha.

Alternativa 3: Sensor pirómetro, con control ON/OFF. El control se haría por medio de un PLC, el mecanismo que ayudará a girar la herramienta será por medio de garruchas y se calentará con un quemador con controlador de flujo.

2.2.6 CRITERIO PARA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS: MATRIZ DE RESIDUOS PONDERADOS

Criterios de evaluación:

- Menor número de partes para que su mantenimiento no sea complicado.
- Precisión; asegurarse que la herramienta este dentro del rango de temperatura deseado.
- Dimensiones; la máquina no debe estar
- Menor contacto de los operadores con el proceso

El primer paso para encontrar la mejor alternativa es evaluar los criterios, que fueron establecidos previamente, especificados en la Tabla 2.9:

Tabla 2.9: Evaluación del peso específico de cada criterio

Menor contacto humano en el proceso> Precisión = Dimensiones> Número de partes						
Criterio	Menor contacto humano con el proceso	Dimensiones	Precisión	Número de partes	$\Sigma + 1$	Ponderada
Menor contacto humano con el proceso		1	1	1	4	0,4000
Dimensiones	0		0,5	1	2,5	0,2500
Precisión	0	0,5		1	2,5	0,2500
Número de partes	0	0	0		1	0,1000
Suma					10	1

El siguiente paso es la evaluación para cada criterio como se indica en la Tabla 2.10, Tabla 2.11, Tabla 2.12 y Tabla 2.13.

Tabla 2.10: Evaluación de pesos específicos para las diferentes alternativas con el criterio de Menor contacto de los operadores en el proceso

Alternativa 3> Alternativa 1 = Alternativa 2					
Menor contacto humano en el proceso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma + 1$	Ponderada
Alternativa 1		0,5	0	1,5	0,25
Alternativa 2	0,5		0	1,5	0,25
Alternativa 3	1	1		3	0,5
Suma				6	1

Tabla 2.11: Evaluación de pesos específicos para las diferentes alternativas con el criterio de Dimensiones

Alternativa 3> Alternativa 2> Alternativa 1					
Dimensiones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum + 1$	Ponderada
Alternativa 1		0	0	1	0,166666667
Alternativa 2	0		1	2	0,333333333
Alternativa 3	1	1		3	0,5
Suma				6	1

Tabla 2.12: Evaluación de pesos específicos para las diferentes alternativas con el criterio de Precisión

Alternativa 3> Alternativa 2> Alternativa 1					
Precisión	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum + 1$	Ponderada
Alternativa 1		0	0	1	0,166666667
Alternativa 2	0		1	2	0,333333333
Alternativa 3	1	1		3	0,5
Suma				6	1

Tabla 2.13: Evaluación de pesos específicos para las diferentes alternativas con el criterio de Número de partes

Alternativa 1> Alternativa 2> Alternativa 3					
Número de partes	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum + 1$	Ponderada
Alternativa 1		1	1	3	0,5
Alternativa 2	0		1	2	0,333333333
Alternativa 3	0	0		1	0,166666667
Suma				6	1

El último paso es realizar una tabla de conclusiones para comparar las alternativas dependiendo de cada criterio.

Tabla 2.14: Tabla final dependiendo de cada criterio

Conclusiones	Menor contacto de los operadores en el proceso	Dimensiones	Precisión	Número de partes	Sumatoria	Prioridad
Alternativa 1	0,100	0,042	0,042	0,050	0,233	3
Alternativa 2	0,100	0,083	0,083	0,033	0,300	2
Alternativa 3	0,200	0,125	0,125	0,017	0,467	1

Según la Tabla 2.14 la mejor alternativa es la Alternativa 3 con prioridad 1, ya que cumple con los requisitos de la evaluación. Una vez determinada la mejor alternativa se puede empezar a diseñar el rack semiautomático para el precalentamiento de herramientas que utilizan insertos de tungsteno.

CAPÍTULO 3

DISEÑO MECATRÓNICO DEL RACK SEMIAUTOMÁTICO

3.1 DISEÑO MECÁNICO

En esta sección se describe el proceso para calcular las características del motor, quemador industrial, y la estructura que soporta los mecanismos.

3.1.1 CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA PARA LA SELECCIÓN DEL QUEMADOR INDUSTRIAL

La Figura 3.1 muestra la estructura de la herramienta. La transferencia de calor entre la cara exterior y la cara interior de la herramienta es por conducción.

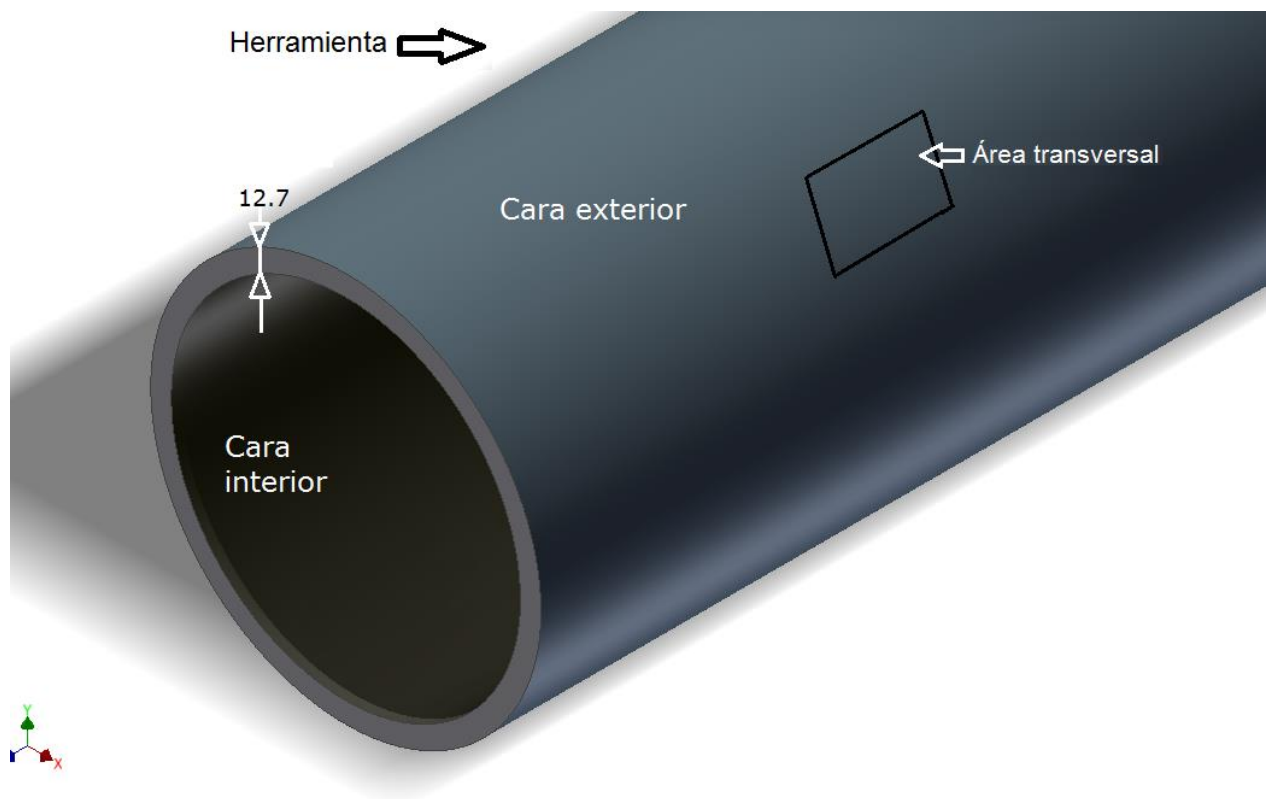


Figura 3.1: Cara interior y exterior de la herramienta.

Para determinar la potencia del quemador industrial se usa la fórmula de la rapidez de transferencia de calor que se muestra a continuación (3.1):

$$H = \frac{Q}{\Delta t} = k \cdot A \cdot \left(\frac{T_2 - T_1}{e} \right) \quad (3.1)$$

Donde:

H = Rapidez de transferencia de calor [W]

e = Espesor [m]

A = Área de sección transversal [m^2]

T = Temperatura [K]

k = Conductividad térmica $\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$

Los datos de la herramienta se especifican en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Datos de la herramienta

Datos de la herramienta	
Peso máximo	882 [N]
Diámetro máximo	241.3 [mm]
Radio máximo	120.65 [mm]
Espesor	$\frac{1}{2}$ [plg] = 12.7 [mm]
Material	Acero al carbono Grupo 1- grado E75
Conductividad térmica	50.5 $\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$
Temperatura máxima a la que la herramienta debe llegar	594 [$^{\circ}$ K]
Temperatura ambiente en la que se encuentra la herramienta	299 [$^{\circ}$ K]
Área transversal de contacto entre el quemador y la herramienta	49 [cm^2]

Reemplazando los datos en la (3.1), se obtiene:

$$H = 50,5 \cdot 4,9 \times 10^{-3} \cdot \left(\frac{594 - 299}{12,7 \times 10^{-3}} \right)$$

Por lo tanto.

$$H = 5,71 \text{ KW}$$

La potencia que se necesita para calentar el tubo es de 5,71KW. La Tabla 3.2 [18] muestra, varios quemadores de diferentes potencias encontrados en el mercado. La opción que más se ajusta a la necesidad es el quemador de 800W, ya que quemadores con potencias muy altas dañarían la superficie de la herramienta a ser soldada, por lo tanto 800W es la potencia a considerar dentro del diseño.

Tabla 3.2: Tipos de quemadores en el mercado

Quemador	Potencia mínima [KW]	Potencia máxima [KW]
	0.8	3.4
	2	7
	10	1000

Para el prototipo de este proyecto se usa una antorcha como se ve en la Figura 3.2. Para calcular la potencia aproximada (ya que se considera en condiciones ideales) de la antorcha primero se encuentra la energía que puede entregar la antorcha con la ecuación (3.2)

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (3.2)$$

Donde:

Q = Energía Calorífica [KJ]

m = Masa [kg]

c = Calor específico del GLP [KJ/Kg K]

ΔT = Variación de temperatura [K]

La masa se calcula con (3.3) y (3.4)

$$F = Pr \cdot A \quad (3.3)$$

$$F [kgf] = 1 \cdot m [kg] \quad (3.4)$$

Donde:

F = Fuerza [kgf]

m = Masa [kg]

Pr = Presión [kgf/cm²]

A = Área [cm²]

La presión se conoce por la válvula reguladora que se encuentra a la salida del tanque de GLP, y es de 3kgf/cm² [294.2 x 10³ Pa]

El área de la manguera que conecta la válvula reguladora con la antorcha es de 5.07 cm² [5.07x10⁻⁴ m²]

Reemplazando estos valores se obtiene que la masa es:

$$F = 3 \frac{kgf}{cm^2} \cdot 5.07 cm^2 = 15.21 kgf$$

$$m = 15.21 kg$$

La variación de la temperatura para el prototipo, sabiendo que la temperatura inicial es de 21°C [295 K] y la final de 100 °C [374 K], es:

$$\Delta T = 374 - 295 = 79 K$$

El calor específico del GLP es de 2.5 [kJ/kg K].

Reemplazando valores en (3.2) se obtiene:

$$Q = 15.21 \text{ kg} \cdot 2.5 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 79 \text{ K} = 3.1 \text{ MJ}$$

La energía que entrega la antorcha es de 12.5MJ, la potencia se calcula con la ecuación (3.5)

$$P = \frac{E}{t} \quad (3.5)$$

Donde:

P = Potencia [kW]

E = Energía [MJ]

t = tiempo [s]

El tiempo que se toma en cuenta es el que la antorcha se demora en calentar el tubo hasta 100°C y es de 63 minutos (3780 segundos).

Reemplazando datos se encuentra que la potencia es:

$$P = \frac{12.5 \text{ MJ}}{3780 \text{ s}} = 0.8 \text{ KW}$$

La potencia de la antorcha al ser menor a 5.71KW se sabe que no va a sobrecalentar la superficie de la herramienta y no afecta a la soldadura del inserto.



Figura 3.2: Antorcha

3.1.2 DIMENSIONAMIENTO DEL MOTOR

3.1.2.1 Velocidad de Giro

Para establecer la velocidad de giro se toma la velocidad de hornos giratorios que oscila entre 0.15 m/s y 0.64m/s, para este proyecto se considera la más lenta de 0.15m/s.

La velocidad angular se define con la ecuación (3.6)

$$w = \frac{V}{r} \quad (3.6)$$

Donde:

w = Velocidad angular $\left[\frac{rad}{s}\right]$

V = Velocidad lineal $\left[\frac{m}{s}\right]$

r = Radio $[m]$

Reemplazando los datos de la herramienta en (3.6) se obtiene.

$$w = \frac{0.15}{0.120} = 1.25 \left[\frac{rad}{s}\right] = 11.93 \text{ rpm}$$

3.1.2.2 Fuerza de fricción entre las garruchas y la herramienta

Para que la herramienta se caliente de manera uniforme es necesario que esta ruede y no se deslice sobre las garruchas. Para determinar esto se utiliza la ecuación (3.7).

$$f_r < \mu_e \cdot N \quad (3.7)$$

Donde:

f_r = Fuerza de fricción $[N]$

μ_e = Coeficiente estático de rozamiento

N = Fuerza normal $[N]$

El coeficiente de rozamiento estático es entre el material de la herramienta y el material de la garrucha.

La garrucha será del mismo material que la herramienta (acero al carbono) con el objetivo de evitar la deformación de la misma por el calor que existirá en la herramienta.

Se conoce que el coeficiente de rozamiento estático entre Acero - Acero es $\mu_e = 0.74$.

La fuerza normal se define a partir del diagrama de cuerpo libre de la herramienta y la garrucha como se observa en la Figura 3.3.

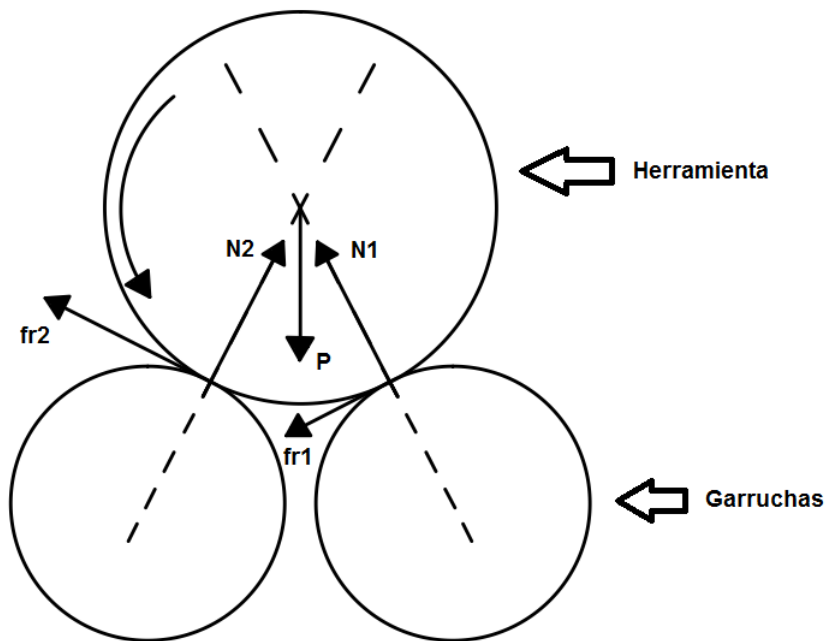


Figura 3.3: Diagrama de cuerpo libre

La ecuación de equilibrio de fuerzas demuestra que:

$$P = N \quad (3.8)$$

Reemplazando el peso máximo de la Tabla 3.1 en la ecuación (3.8):

$$N = 882 \text{ N}$$

Reemplazando estos datos en la (3.7) se obtiene:

$$f_r < 0.74 \cdot 882$$

$$f_r < 652.68 \text{ N}$$

3.1.2.3 Cálculo del Torque requerido en el eje de la garrucha

Torque se define como la fuerza que actúa sobre un cuerpo, en una posición respecto a un origen, su unidad es [Nm]

En la Figura 3.4 se observa el movimiento rotacional desde el motor hasta las garruchas, lo que permite que la herramienta gire. El movimiento empieza con el motor que gira al piñón motriz, este a su vez mueve la cadena al mismo tiempo que el piñón conducido mueve en conjunto al eje y a la garrucha permitiendo así el movimiento rotacional de la herramienta.

En esta sección se calcula el torque en el eje de la garrucha necesario para mover la herramienta.

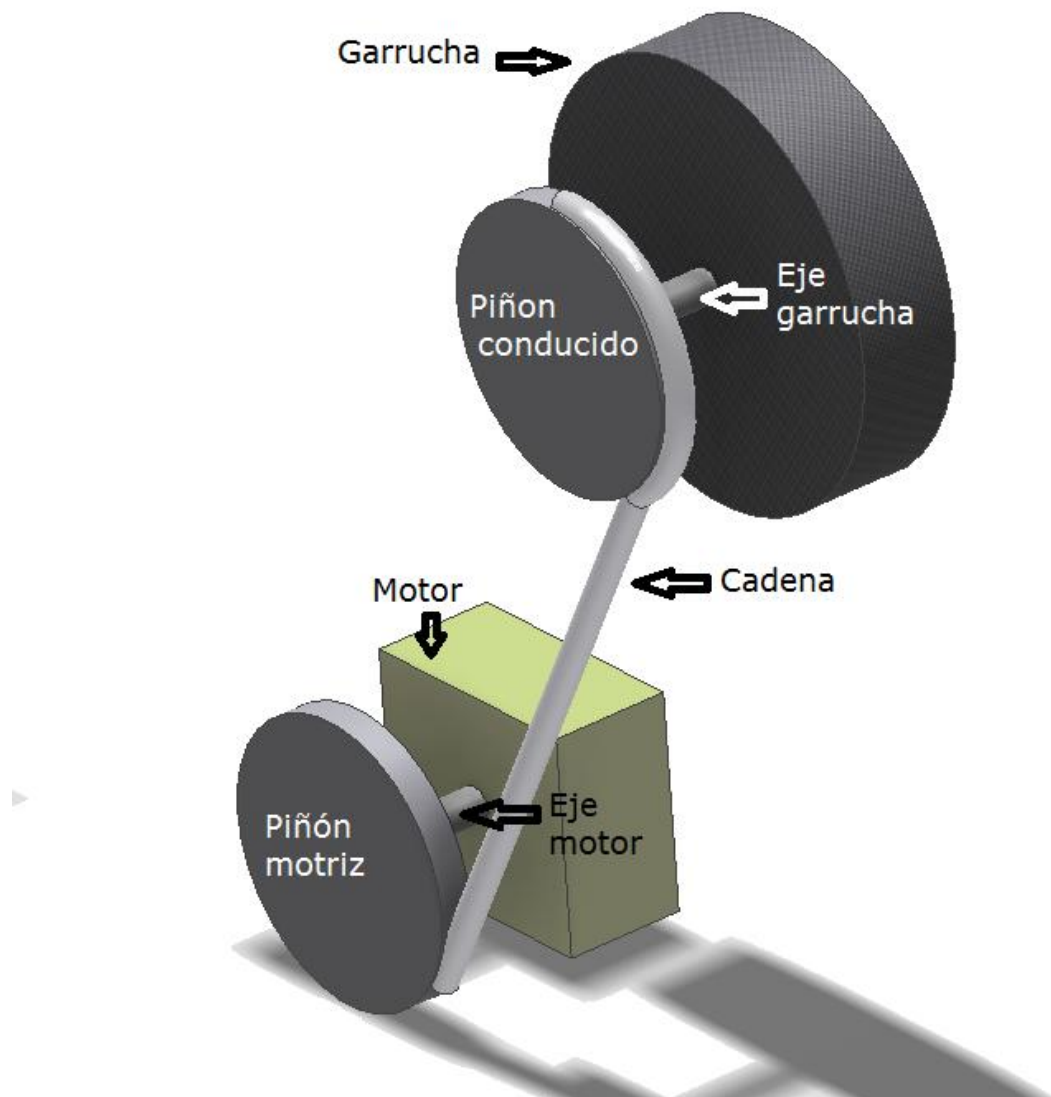


Figura 3.4: Esquema de la transmisión

La ecuación del torque como se ve en (3.9):

$$T = f_r \cdot m \cdot r \quad (3.9)$$

Donde

T = Torque [$N \cdot m$]

f_r = Fuerza de fricción [N]

m = Factor de servicio

r = Radio de la herramienta [m]

El factor de servicio se escoge de acuerdo a la Tabla 3.3 adaptada de [25], sabiendo que el piñón será de 17 dientes y la transmisión es 1:1.

Tabla 3.3: Factor de servicio

Factores de servicio <<m>>		En caso de accionamiento por motor de combustión, se debe incrementar el factor en 0,5.							
Coeficiente de impacto Modo de operación	Relación de transmisión $i = n_1/n_2 = z_2/z_1$	Número de dientes de las ruedas pequeñas z_1							
		11	13	15	17	19	21	23	25
1 Funcionamiento sin choques Carga uniforme	1 : 1	(2,22)	(1,85)	1,59	1,39	1,22	1,10	0,99	0,91
	2 : 1	(1,97)	1,64	1,41	1,23	1,08	0,97	0,88	0,80
	3 : 1	1,82	1,52	1,30	1,14	1,00	0,90	0,81	0,74
	5 : 1	1,68	1,40	1,20	1,05	0,92	0,83	0,75	0,68
1.5 Marcha uniforme con ligeros choques aislados, carga ligera pulsante	1 : 1	(2,78)	(2,32)	1,98	1,74	1,53	1,38	1,24	1,13
	2 : 1	(2,48)	(2,05)	1,76	1,55	1,35	1,22	1,10	1,02
	3 : 1	(2,28)	1,90	1,63	1,43	1,25	1,13	1,02	0,93
	5 : 1	2,10	1,75	1,50	1,31	1,15	1,04	0,93	0,85
2 Choques ligeros, carga pulsante mediana	1 : 1	(3,33)	(2,79)	2,38	2,09	1,83	1,65	1,49	1,36
	2 : 1	(2,95)	(2,47)	2,11	1,85	1,62	1,46	1,31	1,20
	3 : 1	(2,73)	2,28	1,95	1,71	1,50	1,35	1,22	1,11
	5 : 1	(2,52)	2,10	1,80	1,58	1,38	1,25	1,12	1,03
3 Choques medianos, carga pulsante pesada con descarga periódica	1 : 1	(3,89)	(3,25)	(2,78)	2,44	2,14	1,92	1,73	1,58
	2 : 1	(3,44)	(2,87)	2,46	2,16	1,89	1,70	1,53	1,40
	3 : 1	(3,19)	(2,66)	2,28	2,00	1,75	1,58	1,42	1,30
	5 : 1	(2,93)	(2,45)	2,09	1,84	1,61	1,45	1,31	1,19
4 Choques pesados con carga alternativa	1 : 1	(4,44)	(3,71)	(3,17)	2,78	2,44	2,20	1,98	1,81
	2 : 1	(3,93)	(3,28)	(2,81)	2,46	2,16	1,95	1,75	1,60
	3 : 1	(3,64)	(3,04)	2,60	2,28	2,00	1,80	1,62	1,48
	5 : 1	(3,35)	(2,80)	2,39	2,10	1,84	1,66	1,49	1,36

Por lo tanto el factor de servicio (m) es de 1.74. Utilizando estos valores en la (3.9 se determina el torque.

$$T = 652.68 \cdot 1.74 \cdot 0.120$$

$$T = 136.28 [N \cdot m]$$

3.1.2.4 Potencia requerida en el piñón

La potencia en el eje del piñón está dada por la siguiente ecuación:

$$P_r = T \cdot w \quad (3.10)$$

Donde:

P_r = Potencia transmitida por las ruedas motrices [W]

T = Torque [$N \cdot m$]

w = Velocidad angular $\left[\frac{rad}{s}\right]$

El torque obtenido en (3.9) y la velocidad angular encontrado con (3.6) se reemplaza en (3.10).

$$P_r = 136.28 \cdot 1.24$$

$$P_r = 170.349 [W] = 0.23 [HP]$$

3.1.2.5 Potencia en el eje motriz

La potencia del eje del piñón calculada anteriormente se utilizará para calcular la potencia del eje del motor. Para calcular esta potencia se utiliza la siguiente ecuación (3.11).

$$P_e = \frac{P_r}{\eta} \quad (3.11)$$

Donde:

P_e = Potencia del eje del motor [HP]

P_r = Potencia transmitida por las ruedas motrices [HP]

η = Eficiencia [%]

La eficiencia (η) en este caso es la eficiencia de transmisión por cadena abierta. Se escoge 0.9 de acuerdo a la Tabla 3.4 adaptada de [26].

Tabla 3.4: Valores medios de la eficiencia de algunas transmisiones.

Tipo de transmisión	En baño de aceite	Abierta
Dentada con ruedas cilíndricas	0,95 a 0,98	0,92 a 0,94
Dentada con ruedas cónicas	0,94 a 0,97	0,91 a 0,93
Por cadena	0,95 a 0,97	0,90 a 0,93
Por correa		0,95 a 0,96
Por fricción	0,90 a 0,96	0,75 a 0,88

Reemplazando datos en la (3.11) se obtiene:

$$P_e = \frac{0.23}{0.9} = 0.25 \text{ [HP]}$$

3.1.2.6 Potencia del motor

Para la potencia del motor se utiliza la (3.11), donde la eficiencia del motor es $\eta=0.8$, este valor se debe a que se escogerá entre los motores de mejor calidad en el mercado.

$$P_m = \frac{0.25}{0.8} = 0.32 \text{ [HP]}$$

Por estandarización se escoge un motor con las características especificadas en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5: Características del motor

Características del motor	
Potencia	372.85 W (½ HP)
Tipo de corriente	DC
Voltaje	12 v
Velocidad	Baja velocidad
Caja reductora	11 – 20 rpm

Ya que para el prototipo de este proyecto se utilizan materiales reciclados, el motor DC es de 223.7 W (0.3 Hp), 12 V y 3000 rpm. La velocidad de salida de la caja reductora de este motor es de aproximadamente 72 rpm.

3.1.3 DISEÑO DE GARRUCHAS (RUEDAS)

Estas serán las encargadas de permitir el giro de la herramienta a través del movimiento del eje del piñón conducido, como se muestra en la Figura 3.4.

3.1.3.1 Diámetro de las garruchas

El diámetro de las garruchas se determina simulando el movimiento de la herramienta y las garruchas con diferentes diámetros, también se simula una fuerza de 17.6N como fuerza de la llama proveniente del quemador. La simulación se realizó en el software versión de prueba WorkingModel.

El problema que se presenta al utilizar diámetros pequeños es que la herramienta no gira establemente, ya que presenta inestabilidad en una de las garruchas, este fenómeno se puede observar en la Figura 3.5.

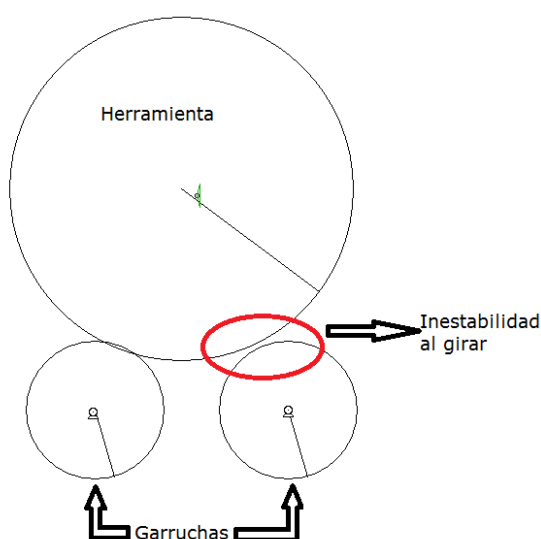


Figura 3.5: Simulación de garruchas con diámetro de 80 mm en el Software WorkingModel

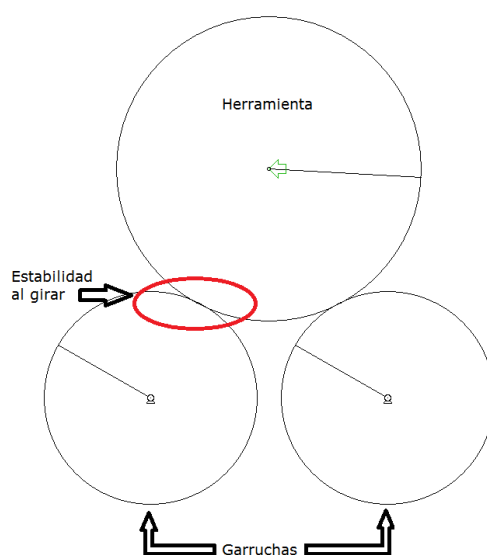


Figura 3.6: Simulación de garruchas con diámetro 160mm en el software WorkingModel

Se puede observar que con un diámetro de 160mm la herramienta gira establemente. La Figura 3.6 muestra la simulación de un giro estable.

La Tabla 3.6 presenta el resultado de las pruebas en el simulador con diferentes diámetros. Para establecer si existe una inestabilidad en el giro se observa en la simulación si la herramienta se separa de las garruchas, como se observa en la Figura 3.5 o si se mantiene firme al girar como en la Figura 3.6.

Tabla 3.6: Tabla de simulación con diferentes diámetros para las garruchas

DIÁMETRO DE LA GARRUCHA [mm]	RESULTADO
80	Inestable
96	Inestable
110	Inestable
125	Inestable
135	Inestable
145	Inestable
155	Inestable
160	Estable

3.1.3.2 Selección del espesor de la garrucha

Para encontrar el espesor de las ruedas se necesita conocer el material que se va a utilizar, la carga a la que va a ser sometida la rueda y el diámetro.

La carga a la que será sometida cada rueda es el peso total de la herramienta dividida para las 4 ruedas:

$$C_T = \frac{P}{4} \quad (3.12)$$

Reemplazando datos en (3.12) se tiene:

$$C_T = \frac{882}{4} = 220.5 [N]$$

Las especificaciones requeridas para las garruchas se muestran en Tabla 3.7. El material que se ocupa es acero para evitar la deformación de la garrucha por efecto del calor aplicado a la herramienta.

Tabla 3.7: Especificaciones requeridas de la garrucha

Características de la garrucha	
Material	Acero
Peso a soportar	220.5 [N]
Diámetro máximo	160 [mm]

Con estos datos se puede encontrar las dimensiones de la garrucha en la Tabla 3.8 [27]

Tabla 3.8: Especificaciones Garruchas

Código	Diámetro [mm]	Peso max [kg]	Espesor [mm]
			
2-3260	80	80	28
2-3261	80	80	32
2-3262	100	90	30
2-3263	100	90	32
2-3264	100	100	30
2-3265	100	100	32
2-3266	125	130	32
2-3267	125	130	32
2-3268	160	160	38
2-3269	200	180	45

3.1.4 SELECCIÓN DE LA CADENA

Se usa una cadena de rodillo ya que la velocidad y potencia son bajas y es la más utilizada.

Para determinar la potencia de la cadena se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_C = P_m \cdot f_s \quad (3.13)$$

Donde:

P_c = Potencia de la cadena [HP]

P_m = Potencia de motor [HP]

f_s = Factor de seguridad

El factor de seguridad que se escogerá es 1 como se puede ver en la Tabla 3.9 [28]

Tabla 3.9: Tabla de factor de seguridad para selección de cadenas

CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA A MOVER		CARACTERÍSTICAS DEL PROPULSOR		
		Funcionamiento suave	Ligeramente impulsivo	Medianamente impulsivo
		<u>Motores eléctricos</u> , turbinas a vapor y gas, motores d explosión con acoplamiento hidráulico.	Motores de 6 o más cilindros, motores eléctricos con arrancadas frecuentes.	Motores de explosión de menos de 6 cilindros con acoplamiento mecánico
Funcionamiento suave	Compresores, máquinas de imprenta, cintas transportadoras con cargas uniformes, <u>secadores rotativos</u> , ventiladores.	1	1.1	1.3
Medianamente impulsiva	Bombas, hormigoneras, cintas transportadoras con cargas no uniformes, mezcladores de sólidos.	1.4	1.5	1.7
Altamente impulsiva	Aplanadoras, excavadoras, prensas, molinos de bolas.	1.8	1.9	2.1

Por lo tanto sustituyendo los valores en (3.13) se tiene:

$$P_c = 0.5 \cdot 1 = 0.5 \text{ [HP]} = 0.37 \text{ [KW]}$$

La Norma ISO 606 (serie Europea), mostrada en la Figura 3.7 adaptada de [29], se utiliza para conocer el tipo de cadena adecuada para la potencia de 0.37KW.

Con una potencia de 0.37 KW y una velocidad de 11.23 rpm se escoge una cadena de transmisión tipo 12B como se ve en Figura 3.7.

Para determinar el paso de esta cadena se utiliza la

Tabla 3.10 tomada del catálogo de Translink proveedores de Maquinarias Enriques en Quito-Ecuador [30], que obedece la norma ISO 606.

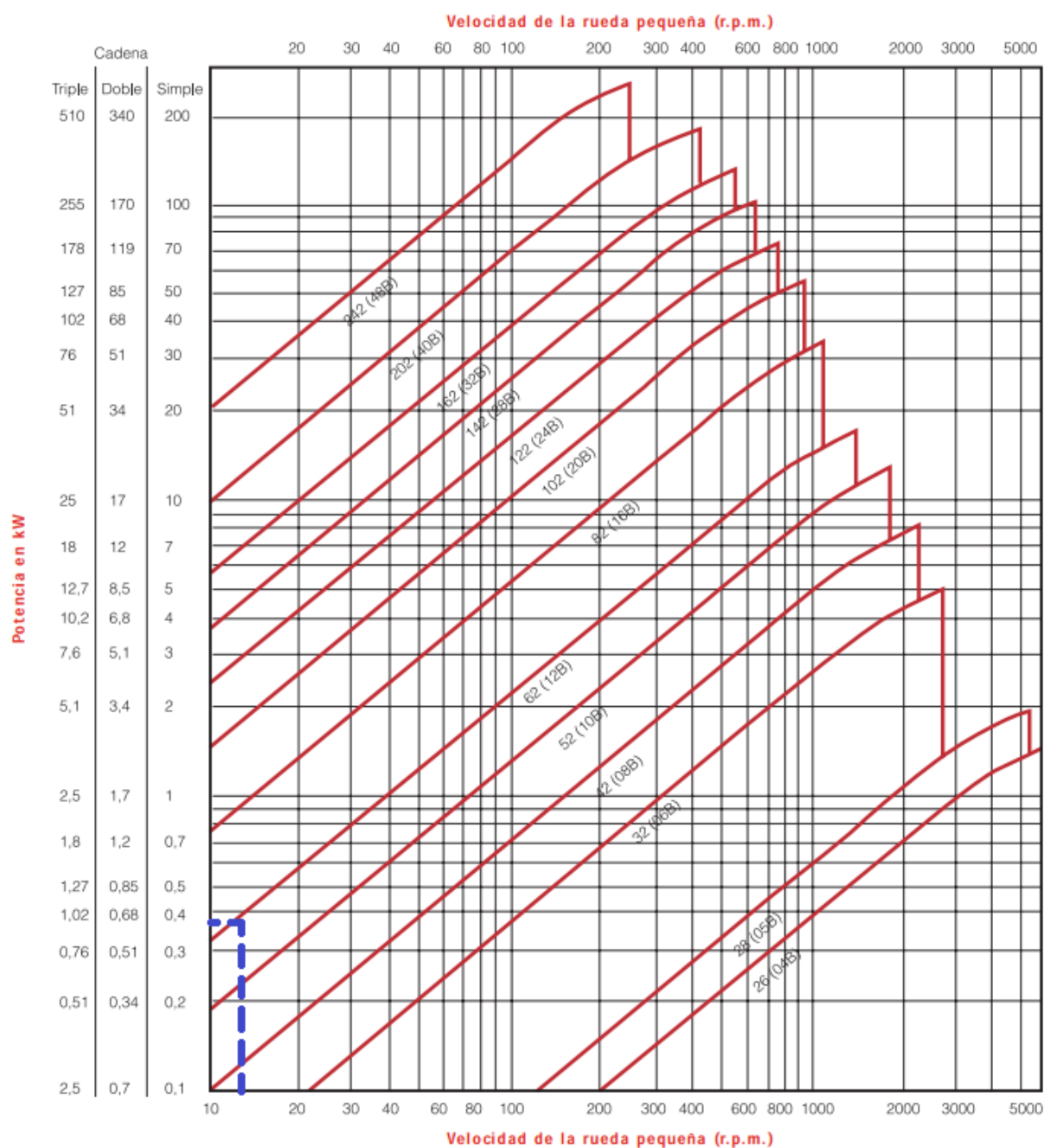


Figura 3.7: Selección de cadenas

Tabla 3.10: Características de cadenas tipo 12B

DIN 8187 ISO 606	Paso	Diámetro del rodillo	Longitud entre las placas interiores	Diámetro del pasador	Longitud del pasador		Profundidad de la placa interior	Resistencia máx. a la tracción	Resistencia media a la tracción	Peso por metro
No Cadena	P mm	d1 máx mm	b1 mín mm	d2 máx mm	L máx mm	Lc máx mm	h2 máx mm	Q mín kN	Qo kN	q Kg/m
04B-1	6,00	4,00	2,80	1,85	6,80	7,80	5,00	3,00	3,20	0,11
05B-1	8,00	5,00	3,00	2,31	8,20	8,90	7,10	5,00	5,80	0,20
*06B-1	9,525	6,35	5,72	3,28	13,15	14,10	8,20	9,00	10,00	0,41
08B-1	12,70	8,51	7,75	4,45	16,70	18,20	11,80	18,00	19,30	0,69
10B-1	15,875	10,16	9,65	5,08	19,50	20,90	14,70	22,40	26,50	0,93
12B-1	19,05	12,07	11,68	5,72	22,50	24,20	16,00	29,00	32,20	1,15
16B-1	25,40	15,88	17,02	8,28	36,10	37,40	21,00	60,00	70,50	2,71
20B-1	31,75	19,05	19,56	10,19	41,30	45,00	26,40	95,00	101,30	3,70
24B-1	38,10	25,40	25,40	14,63	53,40	57,80	33,20	160,00	174,00	7,10
28B-1	44,45	27,94	30,99	15,90	65,10	69,50	36,70	200,00	214,00	8,50
32B-1	50,80	29,21	30,99	17,81	66,00	71,00	42,00	250,00	267,50	10,25
40B-1	63,50	39,37	38,10	22,89	82,20	89,20	52,96	355,00	379,80	16,35
48B-1	76,20	48,26	45,72	29,24	99,10	107,00	63,80	560,00	599,20	25,00

El paso de la cadena es de 19.05 mm ($\frac{3}{4}$ plg).

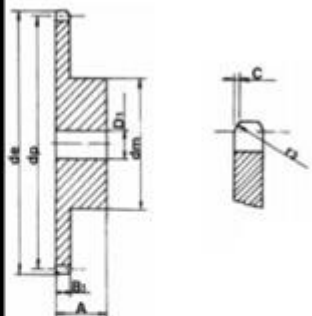
3.1.5 SELECCIÓN DEL PIÑÓN

La transmisión del motor a las ruedas es de 1 a 1, por lo tanto los piñones son iguales. Se escoge el piñón con número de dientes de 17 para no sobrecargar el eje.

Las dimensiones del piñón se detallan en la Tabla 3.11 [30]:

Tabla 3.11: Características del Piñón

Z	de	dp	Simple / Simple / Single		
			d _m	D1	A
8	57.6	49.78	31	12	30
9	62.0	55.70	37	12	30
10	69.0	61.64	42	12	30
11	75.0	67.61	46	14	35
12	81.5	73.61	52	14	35
13	87.5	79.59	58	14	35
14	93.6	85.61	64	14	35
15	99.8	91.63	70	14	35
16	105.5	97.65	75	16	35
17	111.5	103.67	80	16	35
18	118.0	109.71	80	16	35
19	124.2	115.75	80	16	35
20	129.7	121.78	80	16	35
21	136.0	127.82	90	20	40
22	141.8	133.86	90	20	40
23	149.0	139.9	90	20	40
24	153.9	145.94	90	20	40
25	160.0	152.00	90	20	40
26	165.9	158.04	95	20	40
27	172.3	164.09	95	20	40
28	178.0	170.13	95	20	40
29	184.1	176.19	95	20	40
30	190.5	182.25	95	20	40
31	196.3	188.31	100	20	40
32	203.3	194.35	100	20	40
33	209.3	200.40	100	20	40
34	214.6	206.46	100	20	40
35	221.0	212.52	100	20	40
36	226.8	218.58	100	20	40
37	232.9	224.64	100	20	40
38	239.0	230.69	100	20	40
39	245.1	236.75	100	20	40
40	251.3	242.81	100	20	40

3/4" x 7/16" / 12B-1-2-3	
Para cadenas de rodillos conformes a la norma DIN 8187 ISO/R 606	
	
Piñón	mm
Radio de los dientes r3	19
Ancho del radio C	2
Ancho de los dientes B1	11,1
Ancho de los dientes b1	10,8
Ancho de los dientes B2	30,3
Ancho de los dientes B3	49,8
Cadena	mm
Paso de cadena	19,05
Ancho interior	11,68
Diám. rodillo	12,07

Ya que el motor que se está usando en el prototipo es de aproximadamente 72 rpm, el piñón conductor debe ser menor a los piñones conducidos (de 17 dientes), para reducir su velocidad, en este caso se usa un piñón de 11 dientes. La reducción se observa en (3.14).

$$V_s = \frac{N_{conductor}}{N_{conducido}} \cdot V_i \quad (3.14)$$

Donde:

$N_{conductor}$ = Número de dientes del piñón conductor.

$N_{conducido}$ = Número de dientes del piñón conducido.

V_s = Velocidad de salida [rpm]

V_i = Velocidad de entrada [rpm]

Reemplazando datos en (3.14)

$$V_s = \frac{11}{17} \cdot 72 = 46.59 \text{ rpm} \quad \text{Esta velocidad es con la que el prototipo trabajará.}$$

3.1.6 CONFIGURACIÓN DE LA TRANSMISIÓN

La configuración de los piñones es en un triángulo equilátero como muestra la Figura 3.8, esto es para evitar pérdidas de potencia. De acuerdo a la Tabla 3.11 el diámetro primitivo del piñón es 103.67mm.

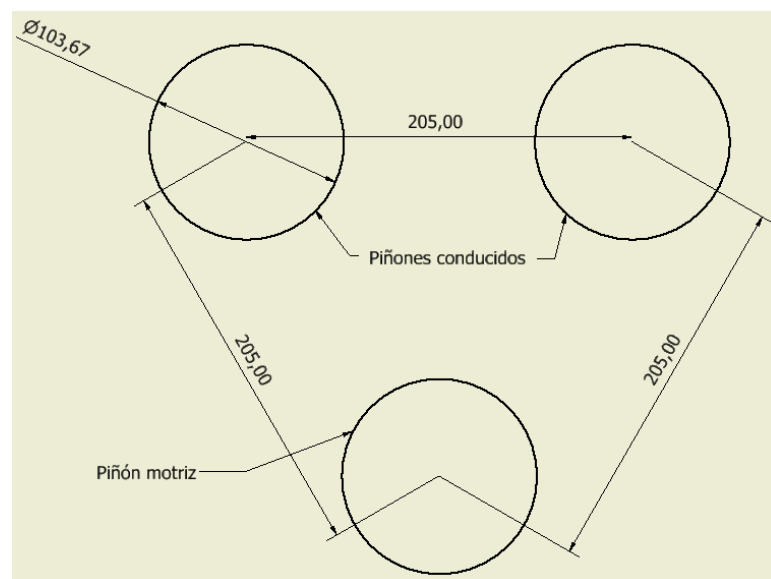


Figura 3.8: Posición de piñones

Como resultado del cambio de piñón motriz o conductor la distribución en el prototipo es como se muestra en la Figura 3.9.

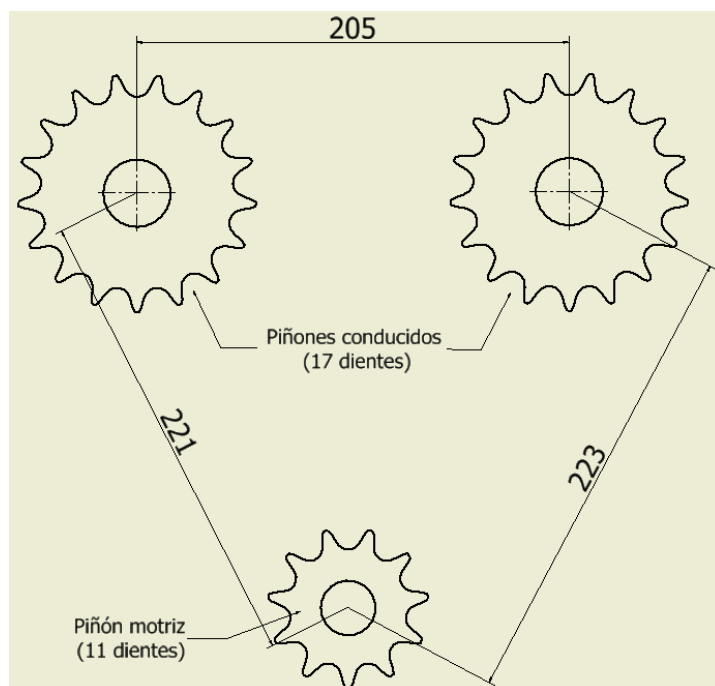


Figura 3.9: Distribución de piñones para el prototipo dibujado en Ivector2012

3.1.7 LONGITUD DE LA CADENA

La longitud de la cadena se aproximará al perímetro de la Figura 3.10. El diámetro que se considera del piñón es el diámetro primitivo (d_p).

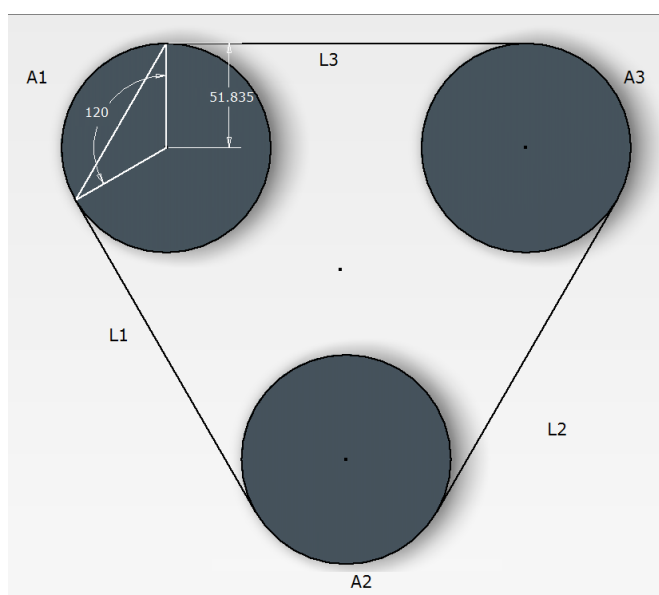


Figura 3.10: Piñón y cadena

La longitud de la cadena se determina geoméricamente con la siguiente ecuación:

$$C = A_1 + L_1 + A_2 + L_2 + A_3 + L_3 \quad (3.15)$$

Donde:

C = Longitud de la cadena [mm]

A = Arco de la circunferencia [mm]

L = Longitud [mm]

Para calcular el arco se utiliza la siguiente ecuación:

$$A = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot \alpha}{360} \quad (3.16)$$

Donde:

r = Radio de la circunferencia [mm]

α = Angulo [°]

Reemplazando los valores de la Figura 3.10 en (3.16):

$$A = \frac{2 \cdot \pi \cdot 51,835 \cdot 120}{360} = 108.56 \text{ mm}$$

Con el valor del arco del piñón se sustituyen los valores en (3.15):

$$C = (3 \cdot 108.56) + (3 \cdot 204.659) = 939.657 \text{ mm}$$

Con la siguiente ecuación se encuentra la longitud de la cadena en pasos:

$$C_p = \frac{C}{p} \quad (3.17)$$

Donde:

C_p = Longitud de la cadena [eslabones]

C = longitud de la cadena [mm]

p = paso de la cadena [mm]

Recordando que el paso de la cadena es de 19.05mm se obtiene:

$$C_p = \frac{939.657}{19.05} = 49.33 \approx 50 \text{ eslabones}$$

Por lo tanto se necesita una cadena aproximadamente de 50 pasos.

En el prototipo la dimensión de la cadena cambia ya que el piñón motriz es diferente, como se ve en la Tabla 3.11 el diámetro primitivo de un piñón de 11 dientes es de 67.61, con este dato se puede calcular la dimensión de la cadena con la (3.15) y (3.16).

$$A_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 51.835 \cdot 117.77}{360} = 106.546 \text{ mm}$$

$$A_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 33.805 \cdot 123.49}{360} = 72.860 \text{ mm}$$

$$A_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 33.805 \cdot 123.49}{360} = 72.860 \text{ mm}$$

$$A_3 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 51.835 \cdot 118.75}{360} = 107.432 \text{ mm}$$

$$C = 106.546 + 221 + 72.860 + 223 + 107.432 + 205 = 935.838 \text{ mm.}$$

Para sacar la longitud de la cadena en pasos se usa la ecuación (3.17)

$$C_p = \frac{935.838}{19.05} = 49.12 \approx 50 \text{ eslabones}$$

3.1.8 DISEÑO DEL EJE DE TRANSMISIÓN

Se necesita calcular el diámetro del eje que va a soportar el peso de la herramienta. En el caso de este proyecto se utilizará acero de transmisión AISI 1045 con resistencia a la fluencia (S_y) de 313.6Mpa.

En la Figura 3.11 [31] se muestran los diferentes métodos que se puede utilizar para calcular el diámetro del eje:

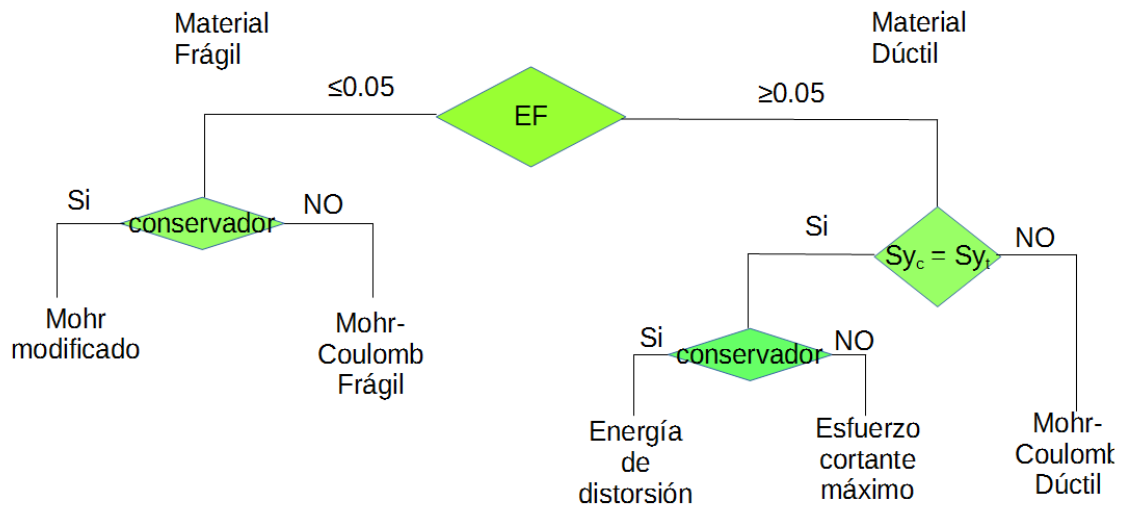


Figura 3.11: Cuadro de fallas estáticas

El acero AISI 1045 es un material dúctil, donde el esfuerzo a la tensión (Sy_t) y a la compresión (Sy_c) son iguales. Para este proyecto se va a utilizar el método de energía de distorsión.

3.1.8.1 Esquema del eje

En la Figura 3.12 se puede ver un esquema de los elementos distribuidos en el eje, con el que se puede dimensionar el eje según los elementos de transmisión sobre este.

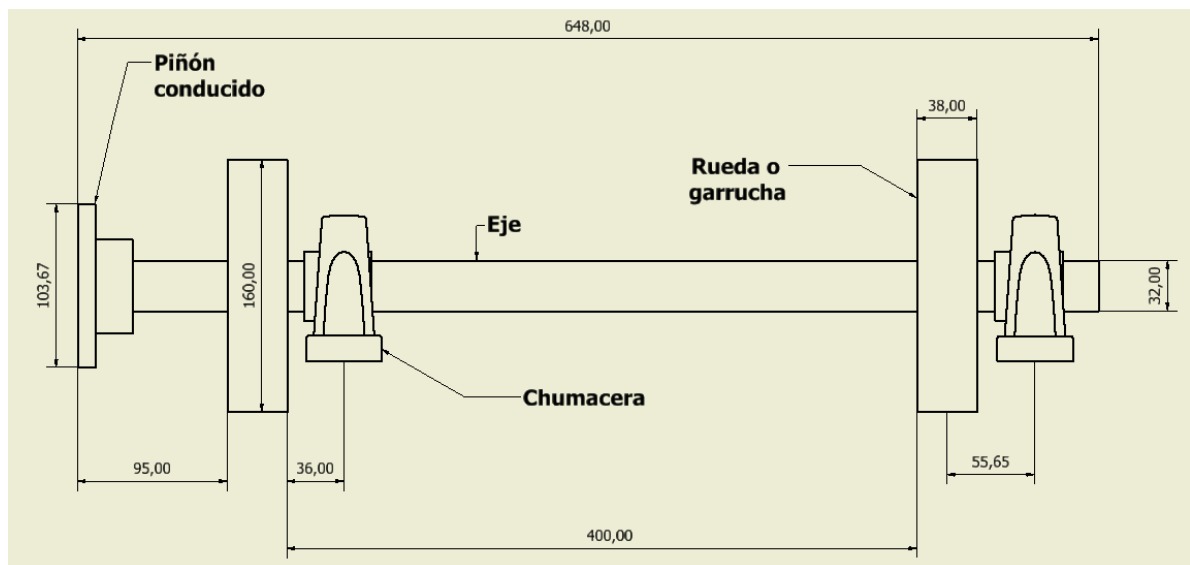


Figura 3.12: Distribución de los elementos en el eje.

Para el cálculo del eje se hace un análisis en los ejes X-Y y X-Z. La fuerza del piñón se encuentra en el eje Z como se ve en la Figura 3.13.

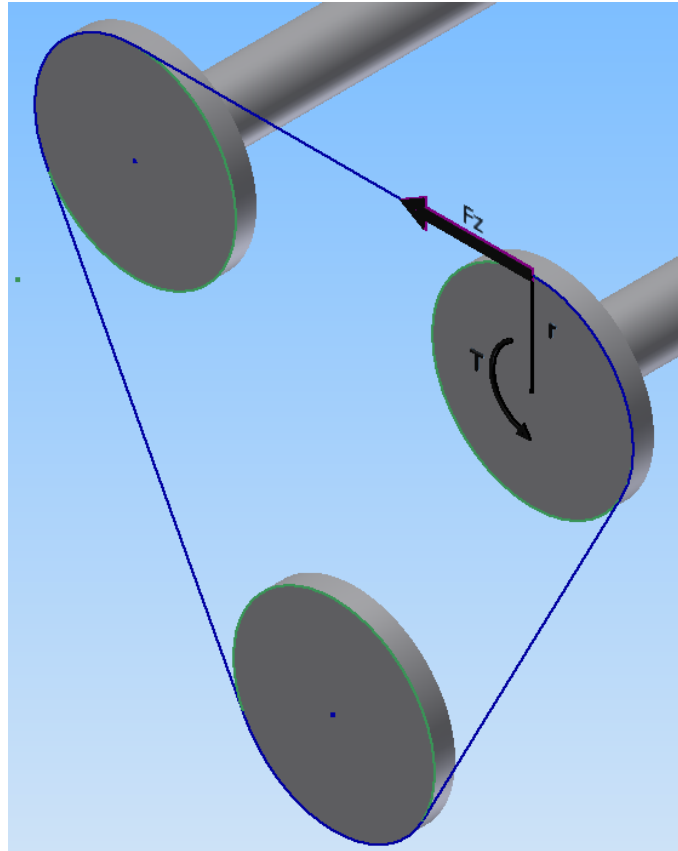


Figura 3.13: Fuerzas del piñón

La fuerza F del piñón se calcula con (3.18).

$$F = \frac{T}{r_p} \quad (3.18)$$

Donde:

F = Fuerza [KN]

T = Torque [Nm]

r_p = radio del piñón [m]

El torque calculado en la (3.9) es de 136.28 Nm, y el radio del piñón en la Figura 3.10 es 51.835 mm.

Reemplazando datos en (3.18) se obtiene:

$$F = \frac{136.28}{51.835 \times 10^{-3}} = 2.63 \text{ [KN]}$$

Se asume un peso adicional de una persona apoyada al piñón. Una persona promedio pesa 80kg al apoyarse se considera que la fuerza que ejerce es del 30%, por lo tanto con la ecuación (3.19) se observa el peso ejercido:

$$P = (P_T \cdot g) \cdot \% \quad (3.19)$$

Donde:

P =Peso adicional [N]

P_T =Peso total de una persona [kg]

g = Gravedad [m/s^2]

$\%$ = Porcentaje que ejerce la persona.

Reemplazando datos se obtiene:

$$P = (80 \cdot 9.8) \cdot 0.3 = 235.2 \text{ N}$$

La fuerza adicional se descompone en P_z y P_y como se ve en la Figura 3.14.

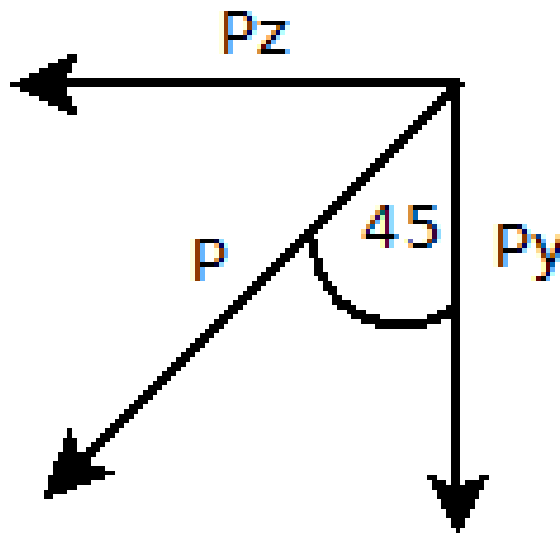


Figura 3.14: Diagrama de Fuerzas ejercidas por una persona apoyada.

Con las ecuaciones (3.20) y (3.21) se obtiene las fuerzas en X y Y.

$$P_z = P \cdot \text{sen}(45) \quad (3.20)$$

$$P_y = P \cdot \cos(45) \quad (3.21)$$

Reemplazando datos se obtiene:

$$P_z = P \cdot \sin(45) = 235.2 \cdot \sin(45) = 166.31 \text{ N}$$

$$P_y = P \cdot \cos(45) = 235.2 \cdot \cos(45) = 166.31 \text{ N}$$

Con estos datos se obtienen los diagramas de corte y momento máximo en los dos planos X-Y y X-Z como se muestra en la Figura 3.15 y Figura 3.16.

Donde:

$$P_1 = P_y = 0.166 \text{ KN}$$

$$P_4 = F_z + P_z = 2.63 \text{ KN} + 0.166 \text{ KN} = 2.796 \text{ KN, y}$$

$$P_2 = P_3 = C_T = 220.5 \text{ N, encontrado con la ecuación (3.12).}$$

El momento flector (M) se calcula con Pitágoras entre los momentos flectores de los planos X-Z y X-Y:

$$M = \sqrt{(M_{xy})^2 + (M_{xz})^2} \quad (3.22)$$

Donde:

M = Momento flector [Nm]

M_{xy} = Momento flector en el plano XY [Nm]

M_{xz} = Momento flector en el plano XZ [Nm]

Como se observa en la Figura 3.15 el momento flector en el plano XY (M_{xy}) es de -32.95 Nm, y en la Figura 3.16 se ve que el momento flector en el plano XY (M_{xz}) es de -376.06 Nm.

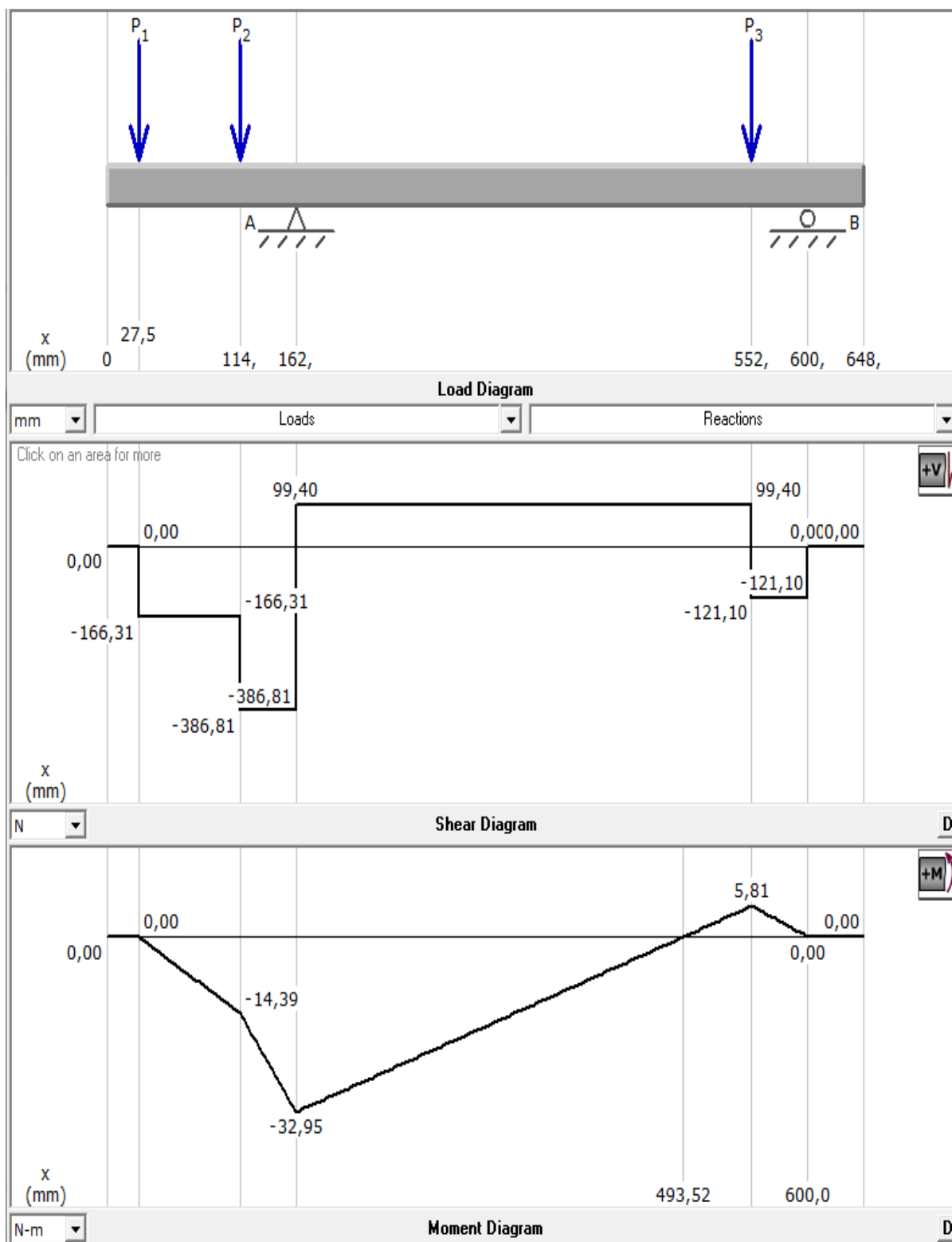


Figura 3.15: Diagramas en el plano X-Y en el software MDSolids 3.5

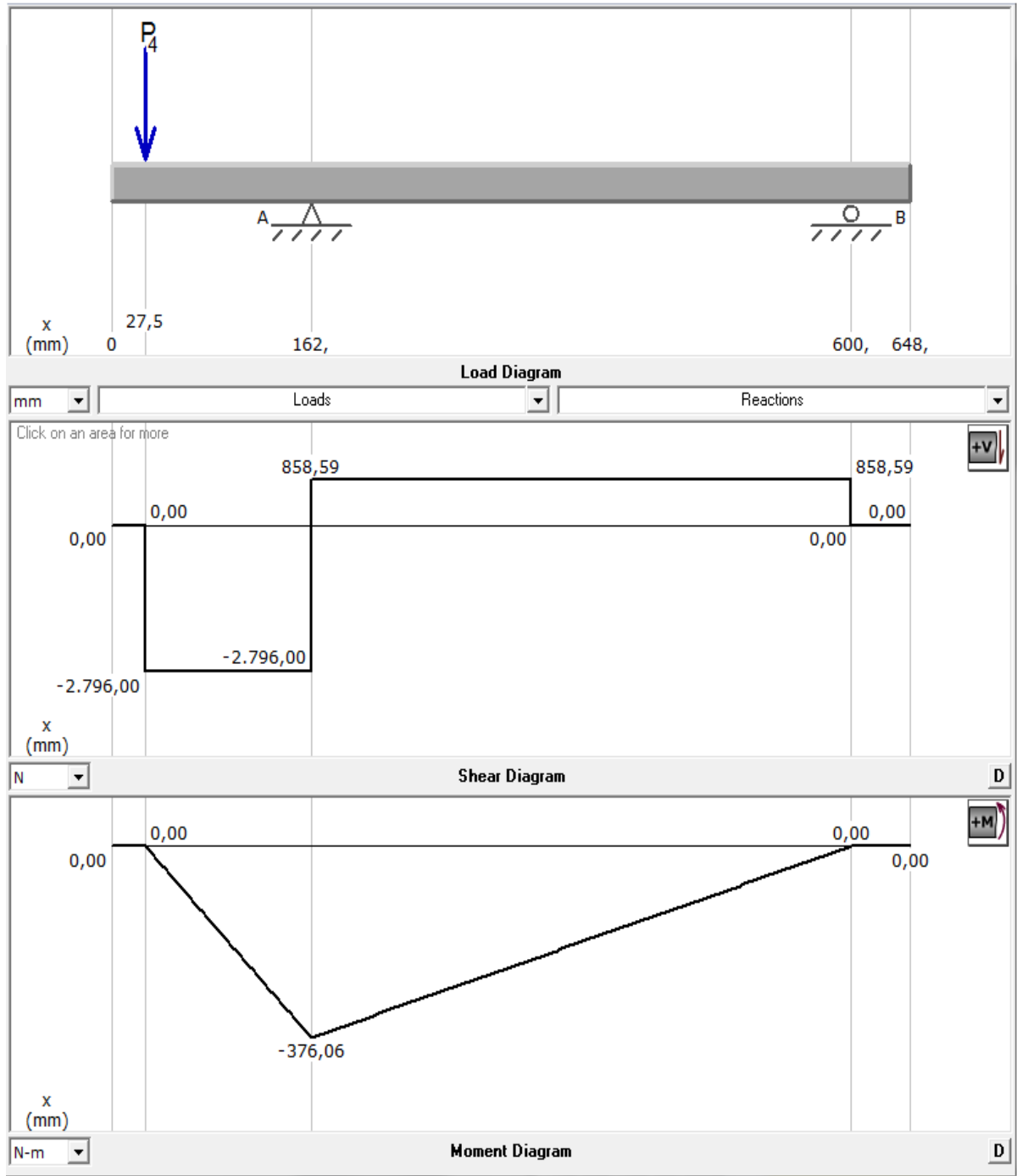


Figura 3.16: Diagrama en el plano X-Z en el software MDSolids 3.5.

Reemplazando datos en (3.22) se tiene:

$$M = \sqrt{(-32.95)^2 + (-376.06)^2} = 377.5 \text{ Nm}$$

3.1.8.2 Cálculo del diámetro con el método de energía de distorsión

“La teoría de la energía de deformación máxima predice que la falla por fluencia ocurre cuando la energía de deformación total por unidad de volumen alcanza o excede la energía de deformación por unidad de volumen correspondiente a la resistencia a la fluencia del mismo material” [31]

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2} = \frac{S_y}{n} \quad (3.23)$$

Donde:

σ' = Esfuerzo de deformación [Pa]

τ_{xy} = Esfuerzo de torsión o torque [Pa]

σ_x = Esfuerzo de flexión [Pa]

S_y = Resistencia a la fluencia [MPa]

n = Factor de seguridad

El Esfuerzo de torsión (τ_{xy}) está dado por:

$$\tau_{xy} = \frac{16 T}{\pi d^3} \quad (3.24)$$

Donde:

T = Torque [Nm]

d = diámetro [m]

El Esfuerzo de flexión (σ_x) está dado por:

$$\sigma_x = \frac{32 M}{\pi d^3} \quad (3.25)$$

Donde:

M = Momento flector [Nm]

d = diámetro [m]

Reemplazando la ecuación (3.24) y (3.25) en la (3.23) se obtiene

$$\sigma' = \sqrt{\left(\frac{32 M}{\pi d^3}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{16 T}{\pi d^3}\right)^2} = \frac{S_y}{n} \quad (3.26)$$

Despejando el diámetro de la ecuación (3.26) se obtiene:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 n}{\pi S_y} \sqrt{M^2 + \frac{3}{4} \cdot T^2}} \quad (3.27)$$

Donde:

Momento flector de (3.22), $M = 377.5 \text{ Nm}$

Torque en el eje de (3.9), $T=136.28 \text{ Nm}$

El valor del factor de seguridad se basa en la Tabla 3.12 [32] y se escoge $n=2.6$

Tabla 3.12: Factor de seguridad para materiales dúctiles

Tipo de máquina	Factor de seguridad (n)
Diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya alto grado de confianza en todos los elementos del diseño	1.25 a 2.0
Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.	2.0 a 2.5
Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente .	2.5 a 4.0
Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente. El deseo de dar una seguridad adicional a componentes críticos puede justificar también el empleo de estos valores.	4 ó más

La resistencia a la fluencia del acero AISI 1045 se determina según la tabla de especificaciones de IVAN BOHMAN mostrada en la Tabla 3.13 [33]

Tabla 3.13: Características del acero AISI 1045

760=AISI 1045 Acero al carbono para maquinaria	
PROPIEDADES MECÁNICAS:	
Resistencia a la Tracción	65 Kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	32 Kg/mm ²
Elongación, A5	min 10%
Reducción de área	40%
Dureza	220-235

Por lo tanto la resistencia a la fluencia es: $S_y = 32 \frac{Kg}{mm^2} = 313.6 MPa$

Reemplazando valores se obtiene que el diámetro mínimo del eje es:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2.6}{\pi \cdot 313.6 \times 10^6} \sqrt{377.5^2 + \frac{3}{4} \cdot 136.28^2}} = 32mm$$

3.1.8.3 Análisis del eje por rigidez

Se considera el análisis por rigidez para confirmar que el diámetro escogido anteriormente sea adecuado y pueda resistir, sin deformaciones extremas, las fuerzas a las que está sometido. Para este análisis se toma en cuenta las fuerzas encontradas en la sección 3.1.8.1 donde:

$$P_1 = P_y = 0.166 \text{ KN}$$

$$P_4 = F_z + P_z = 2.63 \text{ KN} + 0.166 \text{ KN} = 2.796 \text{ KN, y}$$

$$P_2 = P_3 = C_T = 220.5 \text{ N}$$

En la Figura 3.17 se muestra el análisis por rigidez del eje en el plano X-Y donde actúan las fuerzas P1, P2 y P3.

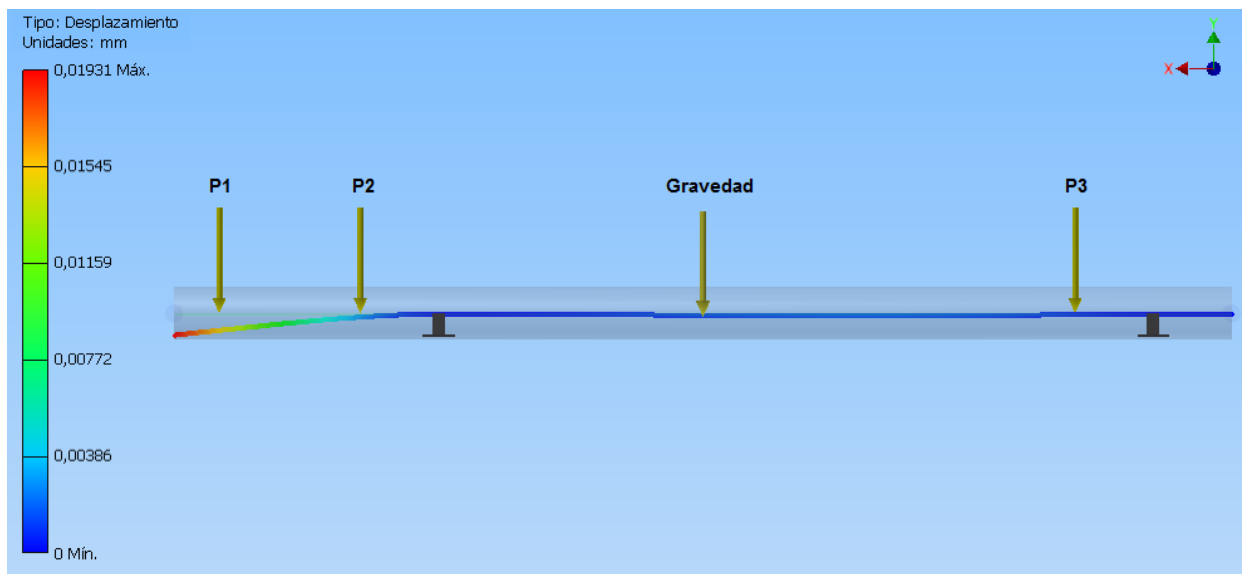


Figura 3.17: Análisis del eje por rigidez en el plano X-Y en el software Inventor 2012

En la se muestra el análisis por rigidez del eje en el plano X-Y donde actúan las fuerzas P4

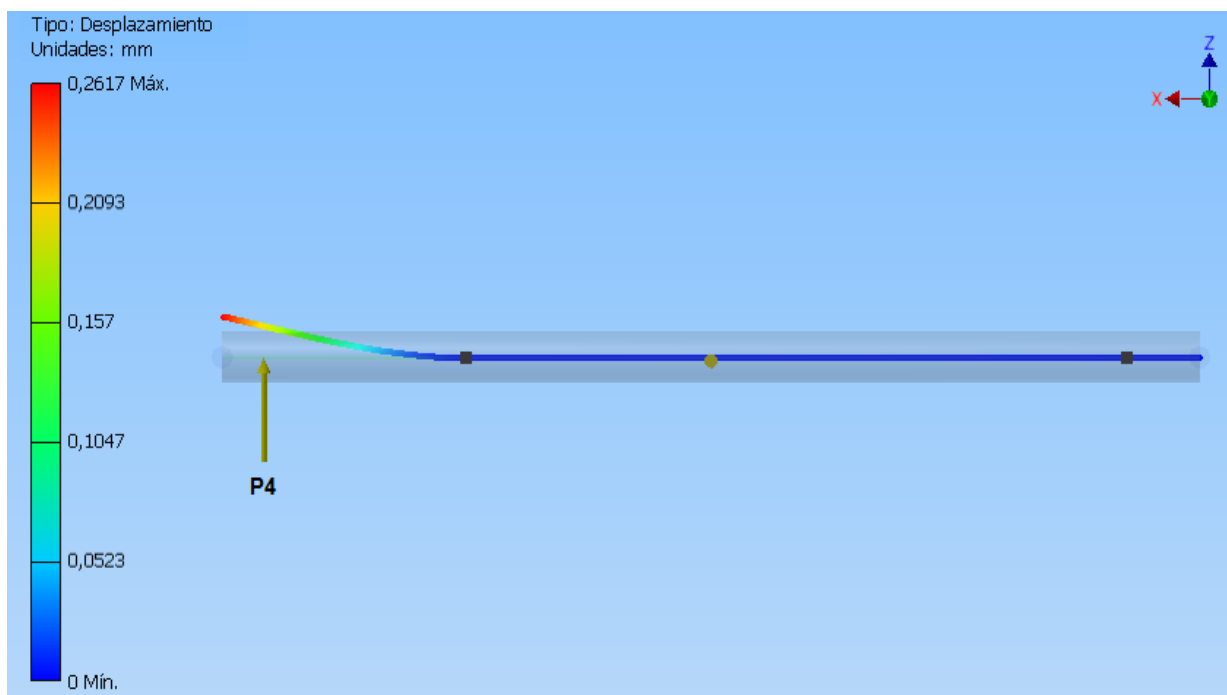


Figura 3.18: Análisis del eje por rigidez en el plano X-Z en el software Inventor 2012.

Como se muestra en la Figura 3.18 la flecha máxima ($Y_{\text{máx}}$) se encuentra en el extremo del eje, causada por el movimiento del piñón, esta es de 0.2617 mm

Para saber si esta flecha está dentro de los parámetros permitidos se utiliza la Tabla 3.14 obtenida de [34], el eje se considera como parte general de una máquina.

Tabla 3.14: Criterio de flecha máxima

$\frac{L}{333} > Y_{m\acute{a}x} > \frac{L}{2000}$	Parte general de una máquina
$\frac{L}{2000} > Y_{m\acute{a}x} > \frac{L}{100000}$	Mediana Precisión
$\frac{L}{100000} > Y_{m\acute{a}x} > \frac{L}{1000000}$	Alta precisión

Donde:

L = longitud del eje = 648 mm

$Y_{m\acute{a}x}$ = flecha máxima = 0.2617 mm

$$\frac{648}{333} > Y_{m\acute{a}x}$$

$$1.94 > 0.2617$$

Por lo tanto $Y_{m\acute{a}x} = 0.2617$ está dentro del rango requerido.

Esto indica que el eje a usar es de 32mm de diámetro, de acero AISI 1045 y 648mm de largo.

3.1.9 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS Y CHUMACERAS

El tipo de rodamientos a utilizar es rígido de bolas, ya que el eje no está sometido a grandes flexiones ni a deformaciones, y son los más empleados en la industria.

En la Figura 3.19 se puede ver las fuerzas en diferentes planos que actúan sobre el eje.

Ya que se tiene una fuerza diagonal es necesario analizar el eje en los planos X-Y y X-Z para encontrar las características de los rodamientos en los puntos A y B.

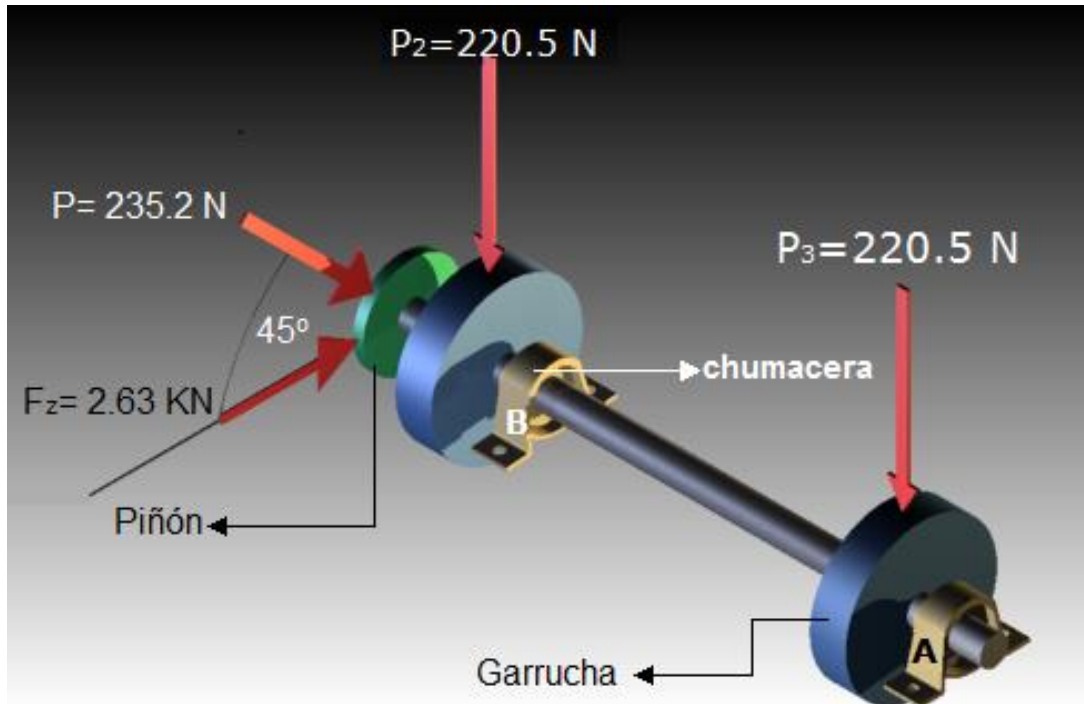


Figura 3.19: Diagrama de fuerzas que actúan sobre el eje dibujado en el software Inventor 2012

3.1.9.1 Análisis en el plano X-Y

En la Figura 3.20 se puede ver la magnitud y distancia de las fuerzas que actúan sobre el eje en el plano X-Y, para facilitar los cálculos se toma en cuenta el inicio del eje desde el punto A.

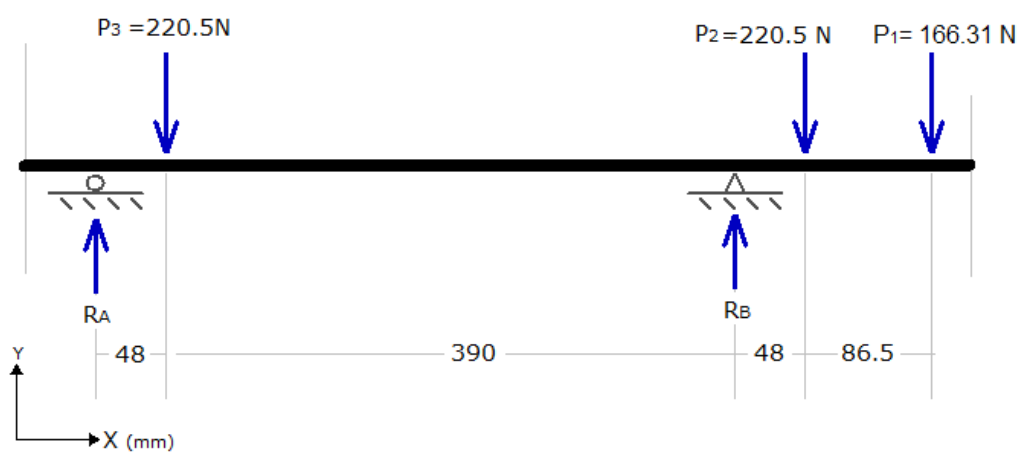


Figura 3.20: Diagrama de fuerzas plano X-Y

Se utiliza la ecuación (3.28) para encontrar las fuerzas sobre el eje.

$$\sum F_y = 0 \quad (3.28)$$

$$\sum F_y = R_A - P_3 + R_B - P_2 - P_1 = 0$$

$$R_A - 220.5 + R_B - 220.5 - 166.31 = 0$$

$$R_A = 607.31 - R_B \quad (3.29)$$

Utilizando la sumatoria de momentos desde el punto R_A se encuentra R_B con la (3.30):

$$\sum M_{R_A} = 0 \quad (3.30)$$

$$\sum M_{R_A} = -(P_3 \cdot 0.048) + (R_B \cdot 0.438) - (P_2 \cdot 0.486) - (P_1 \cdot 0.5725) = 0$$

$$-(220.5 \cdot 0.048) + (R_B \cdot 0.438) - (220.5 \cdot 0.486) - (166.31 \cdot 0.5725) = 0$$

$$R_B = 486.513 \text{ N}$$

Reemplazando este dato en (3.29) se encuentra R_A

$$R_A = 607.31 - 486.513 = 120.799$$

3.1.9.2 Análisis en plano X-Z

En la Figura 3.21 se puede ver la magnitud y distancia de las fuerzas que actúan sobre el eje en el plano X-Z.

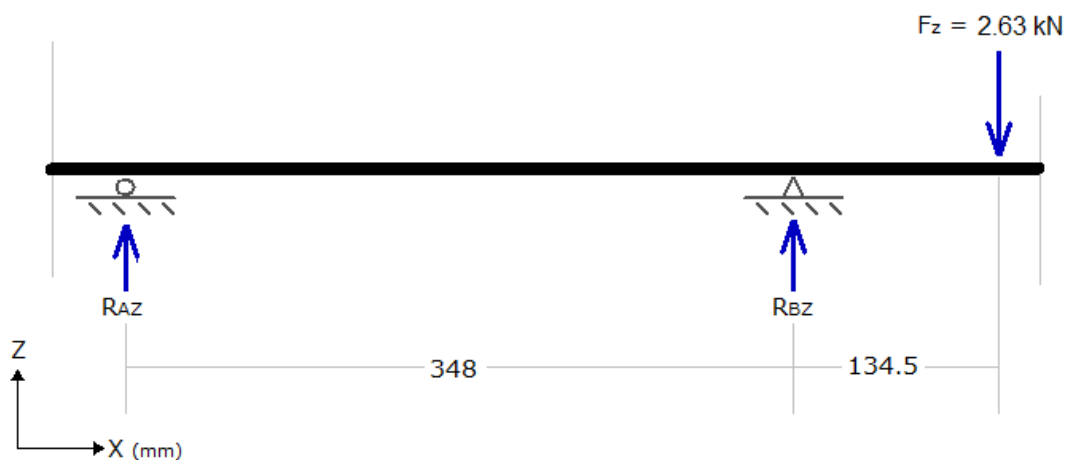


Figura 3.21: Diagrama de fuerzas plano X-Z

Se utiliza (3.31) para encontrar las fuerzas sobre el eje

$$\sum F_Z = 0 \quad (3.31)$$

$$\sum F_Z = R_{AZ} + R_{BZ} - F_Z = 0$$

$$R_{AZ} + R_{BZ} - 2630 = 0$$

$$R_{AZ} = 2630 - R_{BZ} \quad (3.32)$$

Utilizando la sumatoria de momentos desde el punto R_{AZ} , se encuentra R_{BZ} como en la (3.33):

$$\sum M_{RAZ} = 0 \quad (3.33)$$

$$\sum M_{RA} = (R_{BZ} \cdot 0.438) - (F_y \cdot 0.5725) = 0$$

$$(R_{BZ} \cdot 0.438) - (2630 \cdot 0.5725) = 0$$

$$R_{BZ} = 3436.44 \text{ N}$$

Reemplazando este dato en (3.32) se encuentra R_{AZ} .

$$R_{AZ} = 2630 - 3436.44 = -807.339$$

3.1.9.3 Rodamiento para el punto A

Para encontrar las características necesarias de los rodamientos para el punto A se toma en cuenta el valor de R_A y de R_{AZ} .

Con la ecuación (3.34) se encuentra la carga radial en el punto A (P_{RA})

$$P_{RA} = \sqrt{(R_A)^2 + (R_{AZ})^2} \quad (3.34)$$

$$P_{RA} = \sqrt{(123.79)^2 + (-807.6)^2} = 816.032 \text{ N}$$

La carga requerida del rodamiento se calcula con (3.35).

$$C_{req} = \frac{f_L}{f_N} \cdot P_{RA} \quad (3.35)$$

Donde:

f_L = Factor de esfuerzos dinámicos

f_N = Factor de velocidad

P_{RA} = Carga radial [N]

El factor de velocidad (f_N) depende de la velocidad de giro en rpm (n), en este caso es 11.84 rpm obtenido de la ecuación (3.6). Utilizando la Tabla 3.15 adaptada de [35] se obtiene un factor de velocidad $f_N=1.41$.

Tabla 3.15: Valores de factor de velocidad

▼ Valores f_n para rodamientos de bolas			
n	f_n	n	f_n
min ⁻¹		min ⁻¹	
10	1,49	20	1,19
11	1,45	22	1,15
12	1,41	24	1,12
13	1,37	26	1,09
14	1,34	28	1,06

El factor de esfuerzos dinámicos (f_L) depende de las horas de vida del rodamiento.

Para este proyecto se analiza el número de horas de vida como las de un horno tomado de [36], que es de 20 000 horas.

Tabla 3.16: Valores de factor de esfuerzo dinámico

▼ Valores f_L para rodamientos de bolasr			
L_h	f_L	L_h	f_L
h		h	
13000	2,96	18000	3,3
14000	3,04	19000	3,36
15000	3,11	20000	3,42
16000	3,17	22000	3,53
17000	3,24	24000	3,63

Consecuentemente $f_L = 3.42$.

Reemplazando datos en la ecuación (3.35), se determina la carga requerida:

$$C_{req} = \frac{3.42}{1.41} \cdot 817.032 = 1980.73$$

Por lo tanto las características del rodamiento que se necesita para el punto A se muestran en la Tabla 3.17

Tabla 3.17: Características del Rodamiento para el punto A

Diámetro del eje	32 mm
Carga requerida	1 980.73 N

3.1.9.4 Rodamiento para el punto B

Para encontrar las características necesarias de los rodamientos para el punto B se toma en cuenta el valor de R_B y de R_{BZ} .

Con (3.34) se encuentra la carga radial en el punto B (P_{RB})

$$P_{RB} = \sqrt{(3436.44)^2 + (486.513)^2} = 3470.71 \text{ N}$$

Los valores de f_N y f_L son los mismos que los encontrados en el punto A.

Con la ecuación (3.35) se encuentra la carga requerida en el punto B

$$C_{req} = \frac{f_L}{f_N} \cdot P_{RB} = \frac{3.42}{1.41} \cdot 3470.71 = 8418.32 \text{ N}$$

Las características del rodamiento requerido en el punto B se muestran en la Tabla 3.18.

Tabla 3.18: Características del rodamiento para el punto B

Diámetro del eje	32 mm
Carga requerida	8 418.32 N

Según la Tabla 3.19 adaptada de [37] se puede ver que el rodamiento marcado cumple con los requerimientos anteriores.

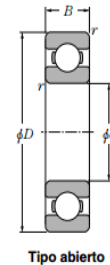
Tabla 3.19: Tabla de rodamientos de bolas rígidas NTN

Rodamientos Rígidos de Bolas

NTN

d 20 ~ 35mm

Dimensiones principales				Capacidades básicas de carga				Factor		Velocidades límites				Números de rodamientos				
				dinámica		estática		f _s	f _t	r.p.m.		LLH	LLU	tipo	con tapas	con sello de no contacto	con sello de bajo torque	con sello de contacto
d	D	B	r _{ms} ¹⁾	C _r	C _{or}	C _r	C _{or}			grasa tipo abierto	aceite tipo abierto							
	mm		min	kN		kgf				ZZ LLB	Z LB							
32	58	13	1	0.5	11.8	8.05	1 200	820	15.4	12 000	15 000	8 700	7 200	60/32	ZZ	LLB	LLH	LLU
	65	17	1	0.5	20.7	11.6	2 110	1 190	13.6	11 000	12 000	8 400	7 100	62/32	ZZ	LLB	LLH	LLU
	75	20	1.1	0.5	29.8	16.9	3 050	1 730	13.1	9 500	11 000	7 700	6 500	63/32	ZZ	LLB	LLH	LLU



Tipo abierto

3.1.9.5 Dimensionamiento de la estructura de la mesa

La Figura 3.22 muestra la viga principal. Esta soportará el peso total del proyecto, y será analizada para encontrar las dimensiones adecuadas.

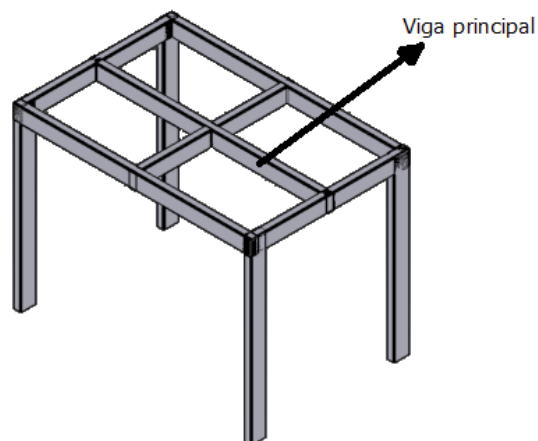


Figura 3.22: Estructura de la mesa

3.1.9.6 Selección del perfil estructural para la mesa

Se aproxima el peso total que va a soportar la mesa de acuerdo a los elementos seleccionados anteriormente, con la ecuación (3.36):

$$W_T = (W_H + W_c + W_p + 4 \cdot W_{ch} + 4 \cdot W_r + 2 \cdot W_e + W) \cdot F_c \quad (3.36)$$

Donde:

W_T = Peso total a soportar [N]

W_H = Peso máximo de la herramienta = 882 [N]

W_c = Peso de la cadena [N]

W_p = Peso del piñón [N]

W_{ch} =Peso de la chumacera [N]

W_r =Peso de las garruchas o ruedas [N]

W_e =Peso del eje [N]

W =Peso de una persona aproximadamente = 588 [N]

F_c =Factor de carga =2

El peso de la cadena se calcula con (3.37)

$$W_c = k * C * g \quad (3.37)$$

Donde:

k = Peso por metro [kg/m]

C = Longitud de la cadena [m]

G = Gravedad = 9.8 [m/s²]

El peso por metro se obtiene de la

Tabla 3.10, $k = 1.15$ kg/m

La longitud de la cadena se obtuvo con la (3.15), $C = 862.41\text{mm} = 0.862\text{m}$

Por lo tanto el peso de la cadena es:

$$W_c = 1.15 * 0.862 * 9.8 = 9.71 \text{ [N]}$$

El peso de piñón se encuentra con (3.38)

$$W_p = \rho \cdot V \cdot g \quad (3.38)$$

Donde:

$$\rho = \text{Densidad del acero AISI 1045} = 7870 \text{ kg/m}^3$$

$$V = \text{Volumen aproximado del piñón} = 3.0627 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Reemplazando datos, el peso del piñón es:

$$W_p = 7870 \cdot 3.0627 \times 10^{-6} \cdot 9.8 = 23.8 \text{ N}$$

El peso aproximado de las chumaceras es 1.96N.

Para el peso de las ruedas se ocupa la (3.38), donde el volumen es $764 \times 10^{-6} \text{ m}^3$.

$$W_r = 7870 \cdot 764 \times 10^{-6} \cdot 9.8 = 59N$$

El peso del eje se calcula con (3.39).

$$W_e = k \cdot l \cdot g \quad (3.39)$$

Donde:

K= Peso por metro= 6.3 [kg/m]

L= Longitud del eje = 648 [mm]

$$W_e = 6.3 \cdot 0.648 \cdot 9.8 = 40N$$

Reemplazando estos valores en (3.36):

$$W_T = (882 + 9.71 + 41 + (4 \cdot 1.96) + (4 \cdot 59) + (2 \cdot 40) + 588) \cdot 2 = 3690.46 \text{ N}$$

El diagrama de corte, momento y cuerpo libre del perfil principal se muestra en la Figura 3.23. Las fuerzas a las que está sometida la viga principal son las reacciones $P_{RA}=816.326 \text{ N}$ y $P_{RB}=3470.71 \text{ N}$ encontradas en la sección 3.1.9.

El peso (W_T) se divide para dos y se suma en cada reacción.

Por lo tanto se usa la ecuación (3.40):

$$P_T = P_R + \frac{W_T}{2} \quad (3.40)$$

Donde:

P_T = Fuerza total en cada reacción. [N]

P_R = Fuerza de la reacción en cada punto. [N]

W_T = Peso total. [N]

Reemplazando los valores en cada punto se obtiene:

$$PA_T = P_{RA} + \frac{W_T}{2} = 816.326 + \frac{3690.46}{2} = 2661.56 \text{ N}$$

$$PB_T = P_{RB} + \frac{W_T}{2} = 3470.71 + \frac{3690.46}{2} = 5315.94 \text{ N}$$

Results:**Reaction Forces**

Force	Direction	Size	Angle
R_A	↑	4.696 kN	90.0°
R_B	↑	3.279 kN	90.0°

Reaction Moments

Moment	Direction	Size
M_A	↺	1.160 kNm
M_B	↻	0.905 kNm

Diagrams

DCL



Shear Force and Moment Diagram

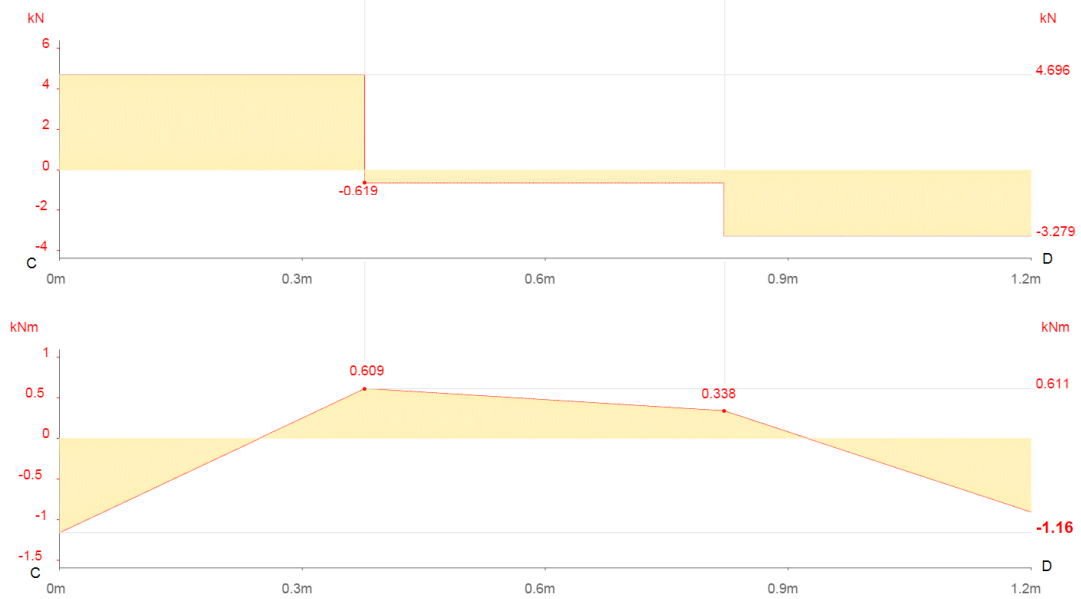


Figura 3.23: Diagramas del perfil principal en el software ForceEffect
Con la (3.41) se encuentra el módulo de resistencia (W)

$$W = \frac{M \cdot n}{S_y} \quad (3.41)$$

Donde:

W = Módulo de resistencia

M = Momento flector [Nm]

n = Factor de seguridad

S_y = Resistencia a la fluencia [Mpa]

El momento flector se encuentra en la Figura 3.23, $M= 1.16$ KNm.

Según la norma americana para perfil estructural se utiliza el acero ASTM A500 grado A, la resistencia a la fluencia es de 269 Mpa.

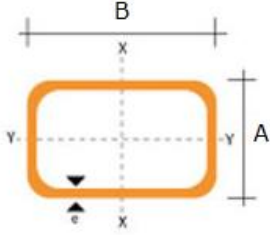
Reemplazando datos se obtiene:

$$W = \frac{1160 \cdot 2}{269 \times 10^6} = 8.62 \times 10^{-6} m^3 = 8.62 cm^3$$

Con el módulo de resistencia se puede encontrar las dimensiones del tubo estructural rectangular que se va a utilizar. Como muestra la Tabla 3.20 adaptada de [38], se utiliza el valor W_{Y-Y} ya que el tubo estructural soportará el peso en el eje Y.

Tabla 3.20: Tubo estructural rectangular

NOMBRE	TUBO ESTRUCTURAL NEGRO RECTANGULAR
NORMA	ASTM A-500
RECUBRIMIENTO	NEGRO O GALVANIZADO
LARGO NORMAL	6.00m
OTROS LARGOS	PREVIA CONSULTA
DIMENSIONES	DESDE 12.00mm x 25.00mm a 40.00mm x 80.00mm
ESPESOR	DESDE 2.00mm a 3.00mm



DIMENSIONES			AREA		EJES X-X			EJES Y-Y		
A mm	B mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm	I cm ⁴	W cm ³	i cm
40	80	1,5	2,76	3,74	31,75	7,94	2,91	10,77	5,39	1,70
40	80	2,0	3,66	4,54	37,32	9,33	2,87	12,70	6,35	1,67
40	80	3,0	5,42	6,61	52,16	13,04	2,81	17,49	8,75	1,63
50	100	2,0	4,52	5,74	74,94	14,99	3,61	25,65	10,26	2,11
50	100	3,0	6,71	8,41	106,34	21,27	3,56	35,97	14,39	2,07
50	150	2,0	6,17	7,74	207,45	27,66	5,18	37,17	14,87	2,19
50	150	3,0	9,17	11,41	298,35	39,78	5,11	52,54	21,02	2,15

3.1.9.7 Análisis de rigidez de la estructura principal

El análisis por rigidez asegura que las dimensiones encontradas anteriormente son apropiadas.

Se utiliza el método de la doble integración para encontrar la deflexión máxima (Y) a la que está sometido el perfil seleccionado, de acuerdo con (3.42).

$$E \cdot I \cdot Y = \int \left(\int M(x) \right) \quad (3.42)$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad = 200 [GPa]

I = Inercia del perfil en el eje Y – Y = $174.9 \times 10^{-9} [m^4]$

Y = Deflexión Máxima [m]

$M(x)$ = Sumatoria de momentos [Nm]

Se realiza un corte imaginario para eliminar el número de incógnitas como muestra la Figura 3.24.

D.C.L

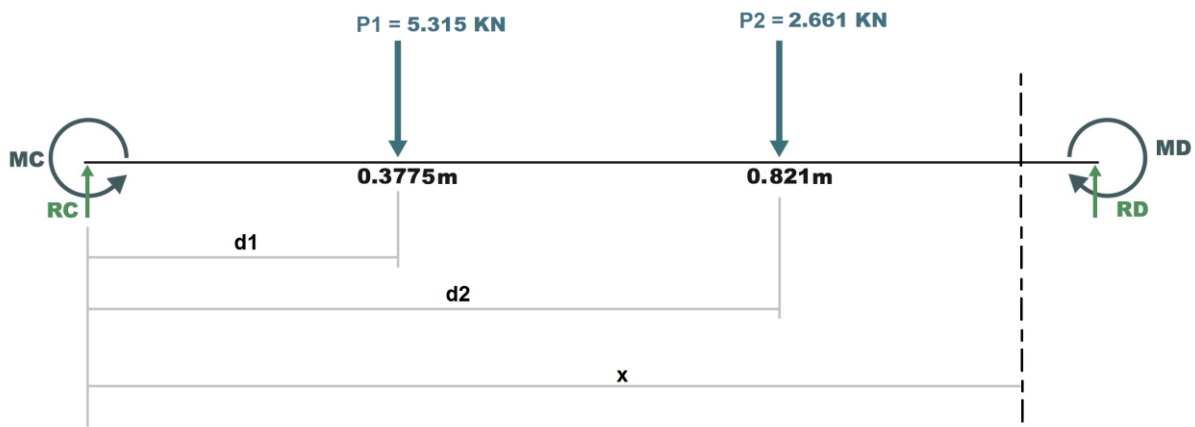


Figura 3.24: DLC del perfil con corte imaginario

En base a la Figura 3.24 se realiza la sumatoria de momentos en función de X utilizando (3.43).

$$M(x) = R_c \cdot x - M_c - P1(x - d1) - P2(x - d2) \quad (3.43)$$

Integrando (3.43) se obtiene la ecuación (3.44):

$$\int M(x) = EI\theta = -M_c x + d1 P1 x + d2 P2 x - \frac{P1 x^2}{2} - \frac{P2 x^2}{2} + \frac{R_c x^2}{2} + C_1 \quad (3.44)$$

Integrando por segunda vez se obtiene (3.45):

$$EIY = -\frac{M_c x^2}{2} + \frac{d1 P1 x^2}{2} + \frac{d2 P2 x^2}{2} - \frac{P1 x^3}{6} - \frac{P2 x^3}{6} + \frac{R_c x^3}{6} + C_1 x + C_2 \quad (3.45)$$

Para resolver estas ecuaciones se aplica las siguientes condiciones de frontera:

Primera condición de frontera: $x=0$

Segunda condición de frontera: $x=L=1200\text{mm}$

Para encontrar las constantes C_1 y C_2 se aplica la primera condición de frontera en la (3.45) y (3.44) igualándoles a 0.

Se encuentra que $C_1 = 0$ y $C_2 = 0$

Empleando la segunda condición de frontera en (3.44) y (3.45) e igualándoles a 0, se obtiene:

$$M_c = 4191.09 \text{ Nm}$$

$$R_c = 7976 \text{ N}$$

Reemplazando valores en (3.45), y despejando Y se obtiene:

$$Y = \frac{-3 M_c x^2 + 3 d_1 P_1 x^2 + 3 d_2 P_2 x^2 - P_1 x^3 - P_2 x^3 + R_c x^3}{6 E I}$$

$$Y = x \cdot (0.01 \times 10^{-3} x - 7.14 \times 10^{-6} x^2) \quad (3.46)$$

Los valores encontrados analíticamente para diferentes valores de X en la ecuación (3.46), son los que se muestran en la Tabla 3.21, los mismo que son representados gráficamente en la Figura 3.25. El máximo valor de la deflexión es de 2.894mm y es cuando x es igual a 900mm. Comparando este valor en la Tabla 3.14 se observa que la flecha máxima está dentro de los parámetros permitidos para ser parte general de una máquina:

Donde:

L = longitud de la viga = 1200 mm

$Y_{\text{máx}}$ = flecha máxima = 2.894mm

$$\frac{1200}{333} > Y_{\text{máx}} > \frac{1200}{2000}$$

$$3.6 > 2.894 > 0.6$$

Tabla 3.21: Resultado de diferentes valores para x

Valores para X [mm]	Deflexión [mm]
0	0
100	0.092
200	0.349
300	0.707
400	1.143
500	1.607
600	2.057
700	2.451
800	2.744
900	2.894
1000	2.860
1100	2.596
1200	2.062

Deflexión de la viga análisis analítico

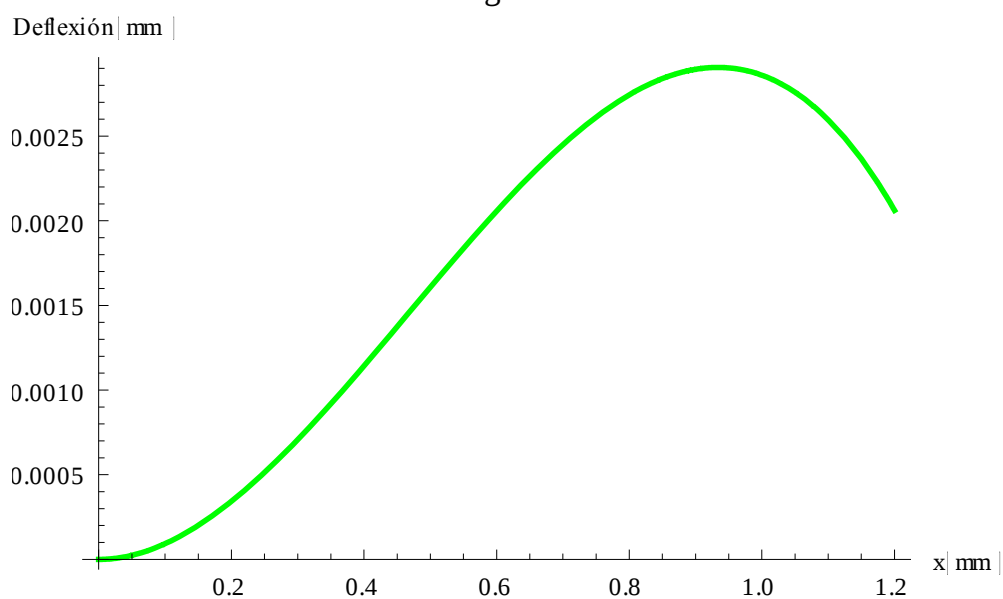


Figura 3.25: Gráfico del análisis analítico de la deflexión de la viga.

Se realiza una simulación de solo la viga para verificar los resultados con el método analítico.

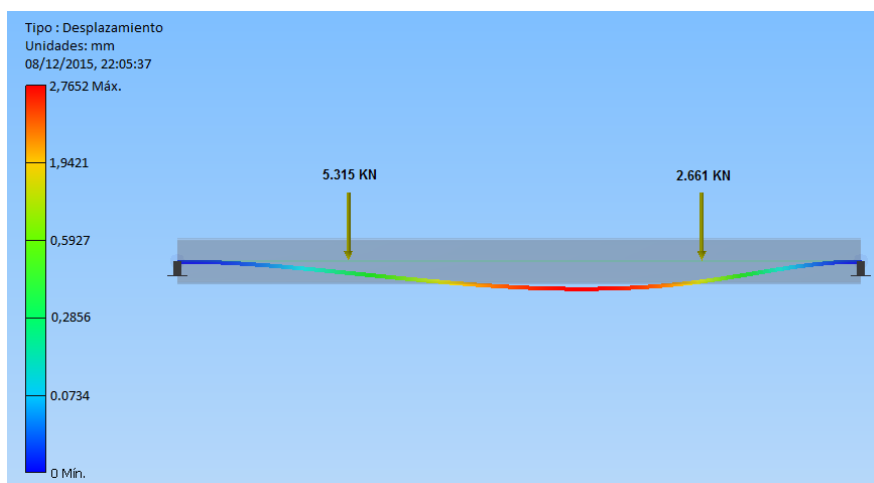


Figura 3.26: Análisis de la viga por rigidez en Inventor 2012

En la Figura 3.26 se observa la deflexión máxima de la viga que es de 2.7652 mm.

Para saber si esta flecha está dentro de los parámetros permitidos se utiliza la Tabla 3.14, Donde L en este caso es de 1200mm.

$$3.6 > 2.7652 > 0.6$$

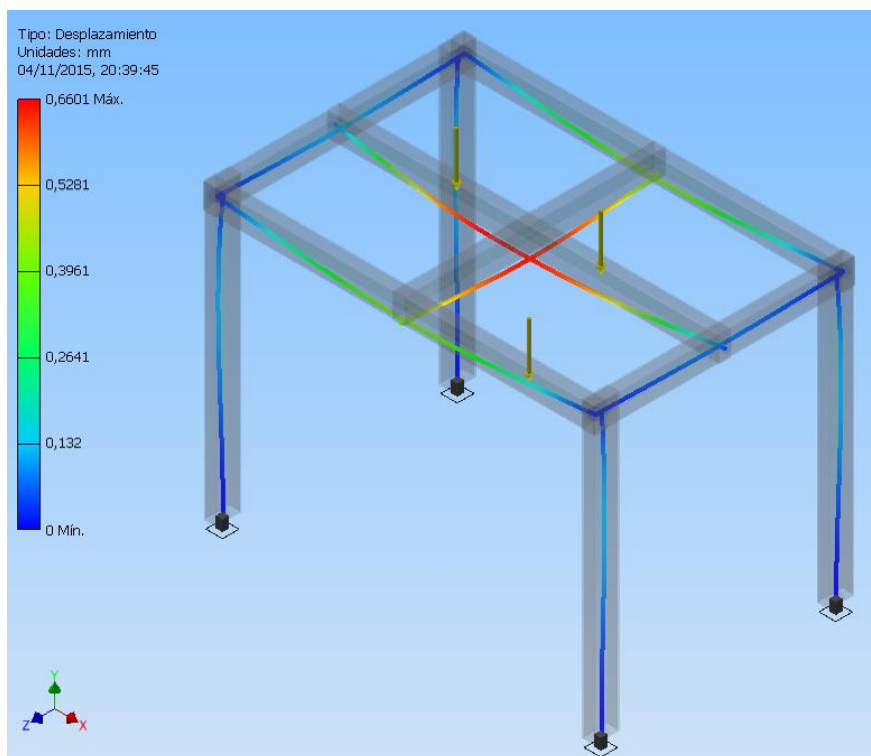


Figura 3.27: Análisis de la estructura por rigidez en Inventor 2012

La Figura 3.27 muestra la simulación, en Inventor versión estudiantil, del análisis por rigidez de la estructura, como se puede observar la flecha máxima ($Y_{\text{máx}}$) se encuentra entre las dos fuerzas sometidas al perfil rectangular y es de 0.6601 mm

Para saber si esta flecha está dentro de los parámetros permitidos se utiliza la Tabla 3.14, Donde L en este caso es de 1200mm.

$$3.6 > 0.661 > 0.6$$

Por lo tanto, la flecha máxima encontrada analíticamente y en la simulación están dentro del rango requerido, y el perfil seleccionado es adecuado.

El perfil que se selecciona para las patas de la mesa, por estandarización, será el mismo de la viga principal.

3.2 DISEÑO ELECTRÓNICO

En esta sección se detalla el código de programación, las características del sensor de temperatura, el circuito de control para el motor, las entradas y salidas del PLC y el dimensionamiento de la fuente.

3.2.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DC

La fuente DC alimenta el motor cuyas características están en la Tabla 3.5.

La corriente máxima para el motor DC utilizado en este prototipo es de 5A, se utiliza la (3.47) para encontrar la corriente máxima que la fuente debe proporcionar.

$$I_{\text{fuente}} = 1.3 \cdot I_{\text{motor}} \quad (3.47)$$

Donde

I_{fuente} = Corriente de la fuente [A]

I_{motor} = Corriente del motor [A]

Reemplazando se obtiene:

$$I_{\text{fuente}} = 1.3 \cdot 5 = 6.5 \text{ A}$$

Ya que en el mercado se encuentra fuentes de 9 A, es la que se usa en el prototipo.

3.2.2 CIRCUITO DE CONTROL DEL MOTOR POR PWM

Para el prototipo se usa un circuito de potencia para controlar la velocidad del motor que se observa en la Figura 3.28 .

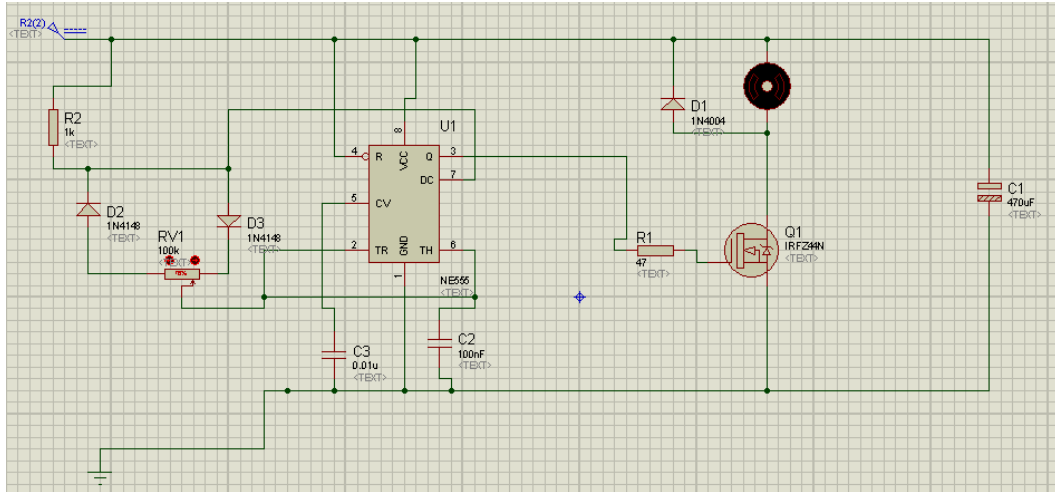


Figura 3.28: Circuito PWM

Para este control se utiliza un PWM, con un transistor tipo MOSFET, en este circuito se ocupa el IRFZ44n (Figura 3.29), ya que es capaz de manejar corrientes de hasta 50A. La hoja de datos técnicos se puede observar en el ANEXO B.

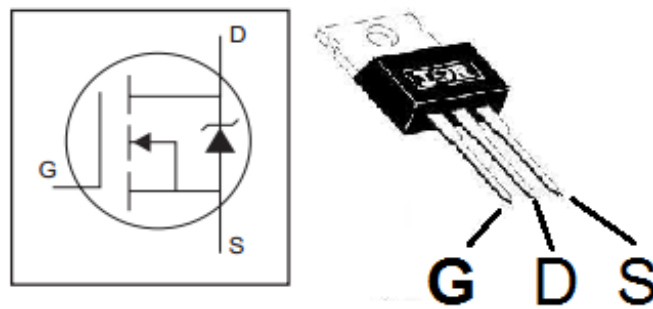


Figura 3.29: Mosfet IRFZ44n

La entrada del mosfet (G) se activa con un tren de pulsos modulable generados por el integrado LM555 que trabaja en modo astable. Dependiendo del PWM la velocidad del motor aumenta o disminuye como se puede ver en Figura 3.30.

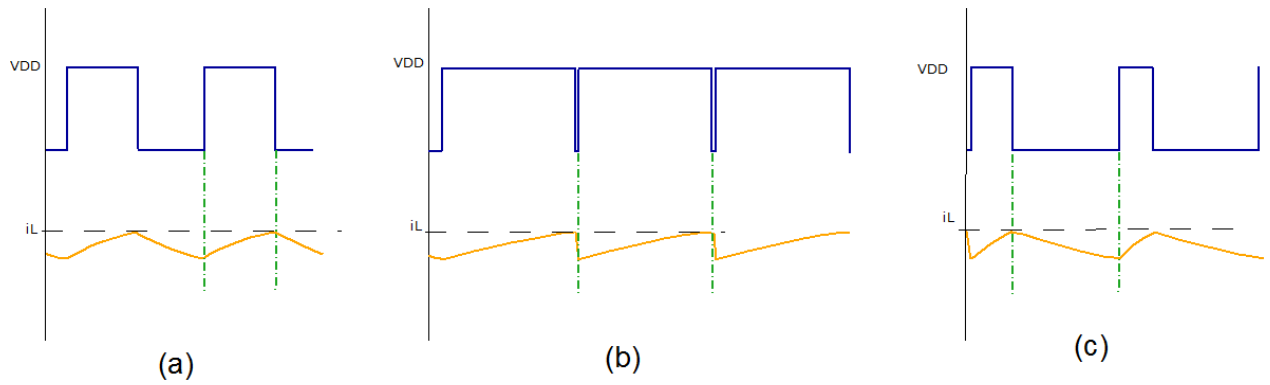


Figura 3.30: Onda de salida del Mosfet

Se recomienda que la frecuencia del PWM esté en el rango de los KHz, para el prototipo se obtendrá una frecuencia de 2.8KHz.

Con la frecuencia se puede obtener el valor de la resistencia variable (RV), sabiendo que R es $1K\Omega$ y C es $0.01\mu F$, con la (3.48) y la (3.49).

$$T = \ln 2 \cdot C \cdot (R + RV) \quad (3.48)$$

$$f = \frac{1}{T} \quad (3.49)$$

Donde:

f = frecuencia [Hz]

T = Periodo [s]

C = Capacitor [F]

RV = Resistencia variable [Ω]

R = Resistencia [Ω]

Sabiendo que la frecuencia es de 2.8Khz se obtiene el periodo con la (3.49):

$$T = \frac{1}{2800} = 3.57 \times 10^{-4} s$$

Con el periodo se despeja el valor de la resistencia variable.

$$RV = \frac{T}{\ln(2) \cdot C} - R$$

$$RV = \frac{3.57 \times 10^{-4}}{\ln(2) \cdot 0.01\mu} - 1000 \approx 50K\Omega$$

Para el prototipo se usa la máxima velocidad en la opción de calentamiento por las características del motor, sin embargo para la opción de soldadura se puede bajar la velocidad de acuerdo a la necesidad del operador.

3.2.3 SELECCIÓN DEL CABLEADO PARA EL PROYECTO

Para determinar el cableado es importante tomar en cuenta la corriente máxima que circulará.

Para la alimentación del motor la corriente máxima que entrega la fuente es de 9, según la norma AWG (American Wire Gauge Standard) el número de cable que se usa es 12 (cable AWG estandarizado) como se puede ver en la Tabla 3.22 adaptada de [39].

Tabla 3.22: Tabla de calibre de cables de AWG

Wire size		Assigned maximum ampere rating
AWG or kcmil	mm ²	A
30	0.05	0.5
28	0.08	0.8
26	0.13	1
24	0.20	2
22	0.32	3
20	0.52	5
18	0.82	7
16	1.3	10
14	2.1	15
12	3.3	20
10	5.3	30
8	8.4	50
6	13.3	65
4	21.2	85
3	26.6	100
2	33.6	115
1	42.4	130

3.2.4 DIAGRAMA DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO DEL RACK SEMIAUTOMÁTICO

La máquina tiene dos botones para escoger las dos opciones de funcionamiento: Modo de precalentamiento y modo de soldar.

3.2.4.1 Diagrama de flujo en modo de precalentamiento.

Como muestra la Figura 3.31, el modo de precalentamiento empieza cuando se selecciona esta opción desde el PLC (C3). Primero se cerciora que el quemador y el sensor de temperatura se encuentren en la posición deseada. Después se enciende el motor y la electroválvula del quemador (control de flujo); este último empieza a medir la temperatura de la herramienta mientras rota, una vez que alcanza una temperatura entre 250°C y 320°C, se envía una señal para encender las alarmas y apagar el motor y la electroválvula.

3.2.4.2 Diagrama de flujo en modo de soldar

El modo para soldar permite para que los operadores puedan utilizar el rack para soldar los insertos de tungsteno en la herramienta, y por medio de un pedal puedan encender y apagar el motor girando la herramienta a su gusto.

La Figura 3.32 muestra el diagrama de flujo del modo para soldar. Este modo inicia cuando se escoge esta opción desde la pantalla del PLC (C4). A continuación verifica que el quemador y el sensor estén situados y asegurados en la posición deseada, después deshabilita la electroválvula y el sensor de temperatura y habilita el pedal para que la herramienta pueda girar hasta la posición que el operador necesite.

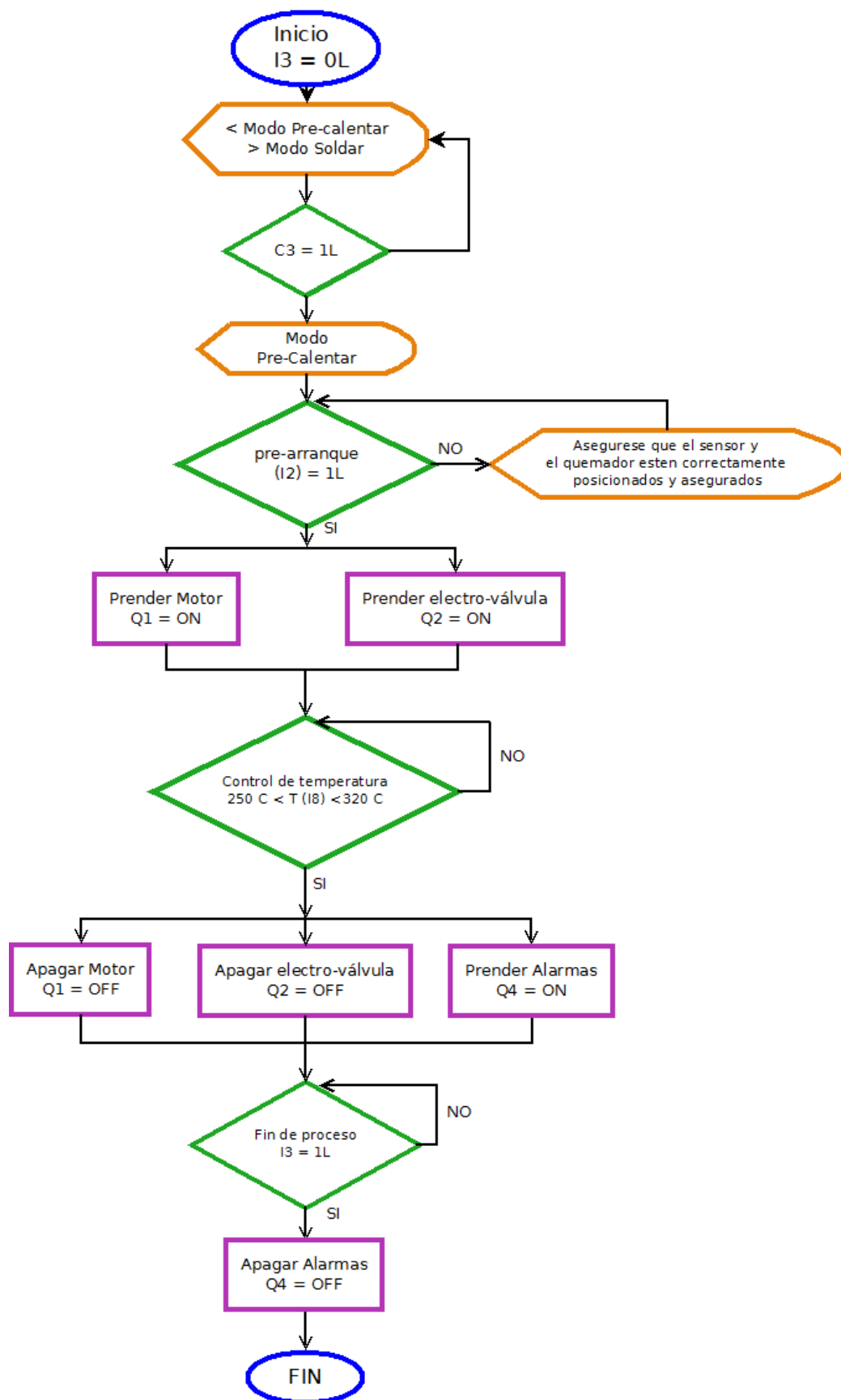


Figura 3.31: Diagrama de flujo en modo de precalentamiento

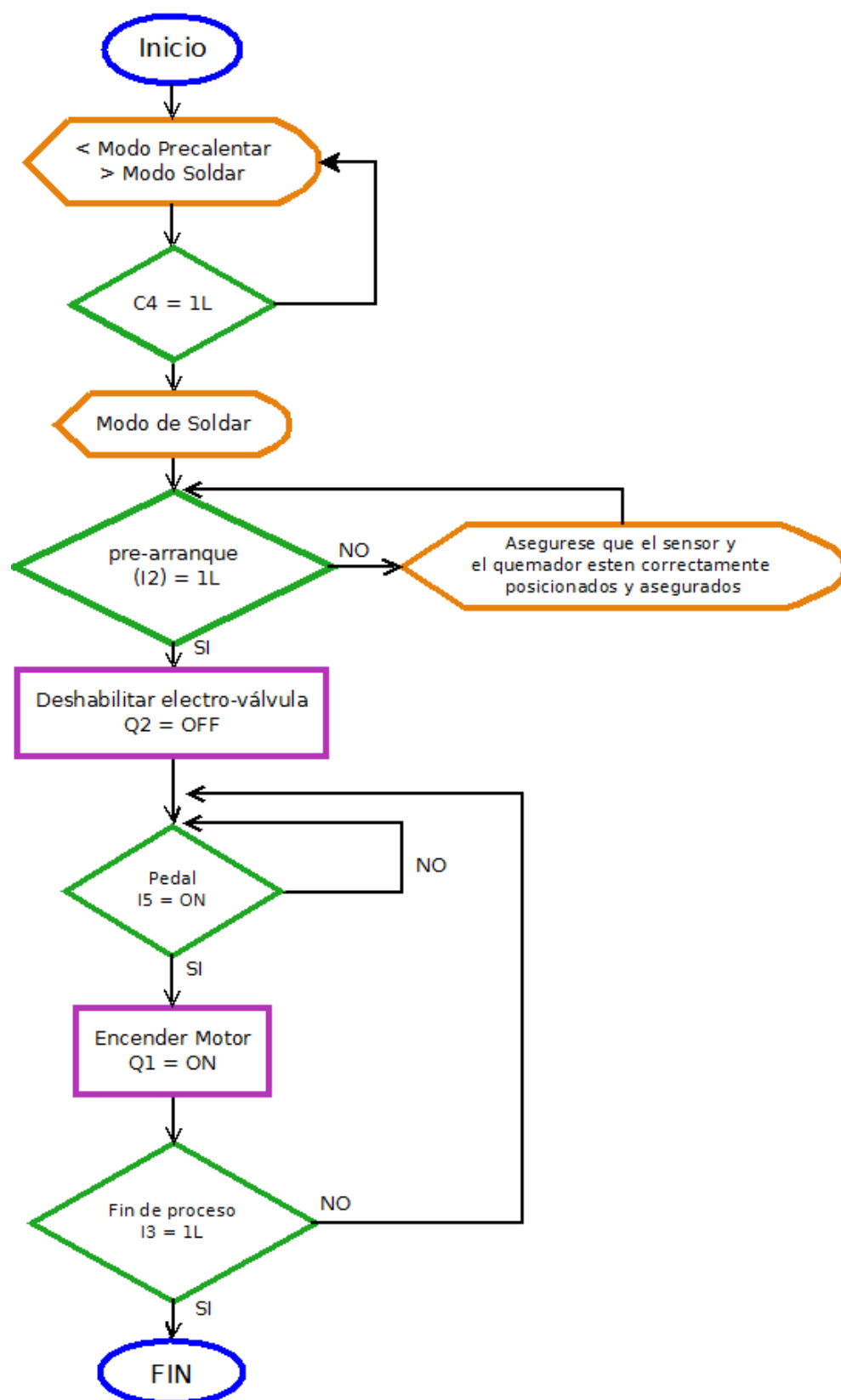


Figura 3.32: Diagrama de flujo en modo de Soldadura

3.2.5 DISPOSITIVOS DE CONTROL Y ACTUADORES A UTILIZAR

La Tabla 3.23 muestra el listado de dispositivos y actuadores utilizados, conjuntamente con su descripción de entrada o salida y estado inicial, sea este normalmente abierto o normalmente cerrado.

Tabla 3.23: Tabla de dispositivos de control y actuadores

	PIN en PLC	Elemento	Estado
Entradas	C3	Botón de inicio automático	Normalmente abierto
	C4	Botón de inicio manual	Normalmente abierto
	I2	Botón de seguridad de pre-arranque	Normalmente abierto
	I3	Botón de Inicio/Fin de proceso	Normalmente abierto
	I5	Pedal	Normalmente abierto
	I4	Control de temperatura	Normalmente abierto
Salidas	Q1	Motor	Normalmente abierto
	Q2	Electroválvula	Normalmente abierto
	Q4	Alarma sonora y visual	Normalmente abierto
	-	Botón de emergencia	Normalmente cerrado
	-	Botón de encendido	Normalmente abierto

A continuación se describe las características de funcionamiento de cada elemento mencionado en la Tabla 3.23.

3.2.5.1 Botón de seguridad del quemador y del sensor de temperatura

Este botón tiene el propósito de recordar al operador asegurar el posicionamiento del quemador y del sensor. Si esta entrada se encuentra en 0L el proceso no podrá empezar.

3.2.5.2 Pedal

El pedal maneja el motor enviando una señal al PLC como se muestra en la Figura 3.33. El motor se mueve mientras el pedal este presionado.

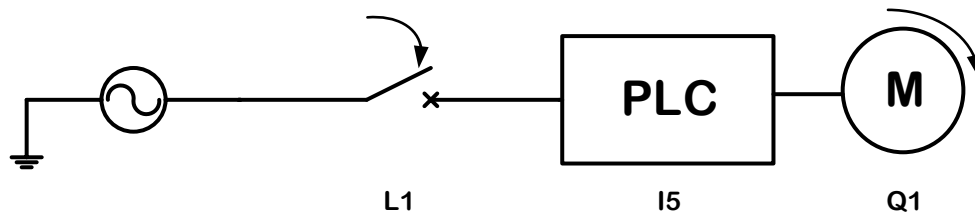


Figura 3.33: Funcionamiento pedal.

3.2.5.3 Botón de inicio/fin del proceso

Cuando esta entrada está en 0L significa que el proceso puede empezar (Inicio) y se puede escoger entre el modo automático y manual, cuando está en 1L el proceso está finalizado y todos los actuadores están apagados.

3.2.5.4 Botón de emergencia

El botón de emergencia deshabilita todos los actuadores y el PLC. La detención de los actuadores evita accidentes como quemaduras o que el operador se enganche entre la herramienta y las ruedas.

3.2.5.5 Motor

El motor es un actuador, que se activa cuando está en modo automático, este se detiene cuando al PLC llega la señal del sensor de temperatura indicando que la herramienta ha alcanzado la temperatura deseada.

3.2.5.6 PWM

Se utiliza un PWM para reducir la velocidad del motor, ya que mecánicamente no se pudo reducir lo suficiente.

El circuito que se utiliza se muestra en la Figura 3.28. Por medio del potenciómetro se puede regular el porcentaje de velocidad de salida del motor.

3.2.5.7 Electroválvula

El cilindro de GLP, sea industrial o para hogar, tiene que tener un regulador de presión por seguridad, en el caso del prototipo se usara un cilindro de 15kg (para casa) con un regulador de presión. La electroválvula que se usa es de 3 kg/cm² de presión máxima.

Las características de la electroválvula se presentan en la Tabla 3.24.

Tabla 3.24: Características de la electroválvula

Electroválvula	
Voltaje	110v en AC
Frecuencia	50/60 Hz
Presión mínima	0 kpa
Presión máxima	490 kpa

3.2.5.8 Sensor

El sensor es de tipo J ya que el rango de temperatura tiene que ser entre 0 y 350°C mínimo y es aceptado por el control de temperatura. Ya que las herramientas a sensor tienen diferentes diámetros, es necesario que sea un sensor pirómetro infrarrojo, así el sensor no está en contacto con la herramienta. Para el prototipo se utilizará una termocupla tipo J, y se adaptó un termopozo para evitar desgastar la termocupla con el rozamiento constante entre esta y la herramienta.

El sensor de temperatura envía una señal al PLC cuando la herramienta llega a una temperatura previamente seteada. Al llegar a esta temperatura se activan dos tipos de alarma, una sonora y otra visual. También se desactiva el motor y la electroválvula finalizando así el proceso.

3.2.5.9 Características del PLC

Para este proyecto se utiliza un PLC LOGO! 230RC como se observa en la Figura 3.34 [23].



Figura 3.34: PLC LOGO! 230RC

La Tabla 3.25 [23] se describe las principales características del PLC.

Tabla 3.25: Características del PLC LOGO! 230RC SIEMENS

RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tipo	Módulo lógico con pantalla
Entradas	8
Salidas	4 x Relé
Terminales de entrada	115/240V AC/DC
Rango admisible	85...265V AC / 100...253V DC
para señal "0"	máx. 40V AC/30V DC
para señal "1"	mín. 79V AC/DC
Salidas de corriente continua	10A con carga resistiva; 3A con carga inductiva
Frecuencia de conmutación	2 Hz con carga resistiva, 0,5 Hz para carga inductiva
Dimensiones (Ancho x Alto x Profundidad)	72 (4MW) x 90 x 55 mm

3.2.5.10 Características del controlador de temperatura

El controlador de temperatura recibe la señal análoga del sensor (Tipo J) y la convierte en digital, una vez que se alcanza la temperatura máxima configurada el controlador envía una señal al PLC para que este desactive todos los actuadores y encienda dos tipos de alarma, una sonora y otra visual, como se observa en la Figura 3.35.

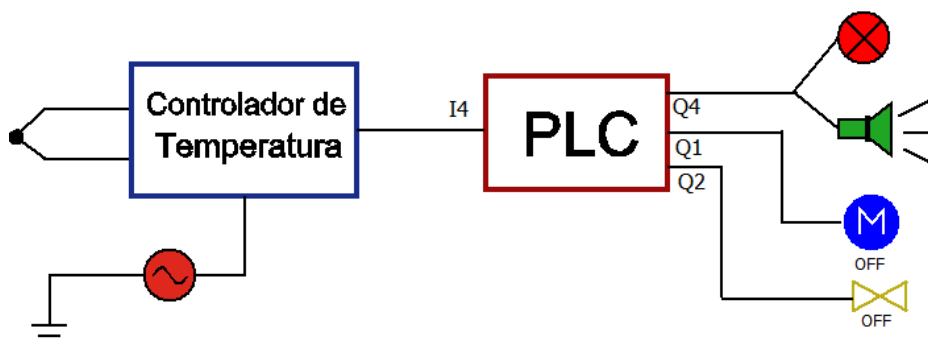


Figura 3.35: Circuito para control de temperatura

En la Tabla 3.26 se puede observar las características del controlador de temperatura (Figura 3.36).



Figura 3.36: Controlador de temperatura Powerlink

Tabla 3.26: Características del Controlador de temperatura

MODELO	3S96-93301
Alimentación	110/220 VCA 50/60HZ
Rango permitido de voltaje	90 ~ 110% del voltaje especificado
Display	LED de 7 segmentos
Precisión	F.S $\pm 0,5\%$
Sensor de entrada	tipo J, rango de 0 a 400° C
Control	ON/OFF con Histéresis: F.S 0,2 ~ 3%
Peso de la unidad	aprox. 468g
* F.S es el mismo rango de medición de temperatura del sensor	

La Figura 3.37 muestra el circuito de conexión del controlador de temperatura.

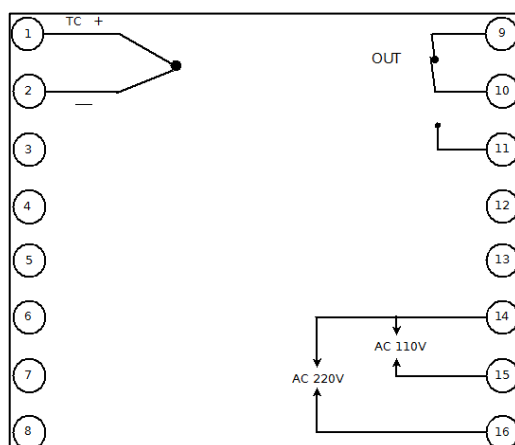


Figura 3.37: Diagrama de conexionado del controlador de temperatura

3.2.6 ESTADOS LÓGICOS

Para realizar la programación de una forma robusta, es decir, asegurándose que todos los casos posibles sean analizados, es necesario considerar los estados lógicos de todas las entradas y salidas del PLC.

Para mejor entendimiento, el proceso se divide en cuatro subprocesos principales que para su mejor análisis serán identificados por diferentes colores como se ve en la Tabla 3.27.

Tabla 3.27: Subprocesos principales

Color	Proceso	Estado
Amarillo	Alarmas encendidas	Fin de Proceso
Verde	Botón de precalentamiento encendido	Modo de precalentamiento
Azul	Botón para Soldar encendido	Modo para Soldar
Rojo	Todo actuador desactivado	Paro por Emergencia o Seguridad

3.2.6.1 Descripción del subproceso Fin de Proceso

Este caso ocurre cuando el sensor de temperatura detecta que la herramienta ha alcanzado la temperatura previamente configurada (aproximadamente 285°C). El controlador cambia de estado a 1L deteniendo los actuadores motor y electroválvula; de igual forma, se encienden la alarma visual y la alarma sonora para advertir al operador de la finalización del proceso de precalentamiento. Una vez que este presione el botón de fin de proceso las alarmas se detienen y se puede reinicia el proceso con una nueva herramienta.

3.2.6.2 Descripción del subproceso Modo de Precalentamiento.

En este modo se activa el motor y el quemador industrial, para obtener un calentamiento homogéneo sobre la herramienta. Una vez que esta llegue a la temperatura deseada continúa el modo Fin de Proceso analizado anteriormente.

Para ingresar al modo de precalentamiento se debe presionar primero el botón ESC y enseguida el botón de la flecha izquierda del PLC como se observa en la Figura 3.38 adaptada de [23].

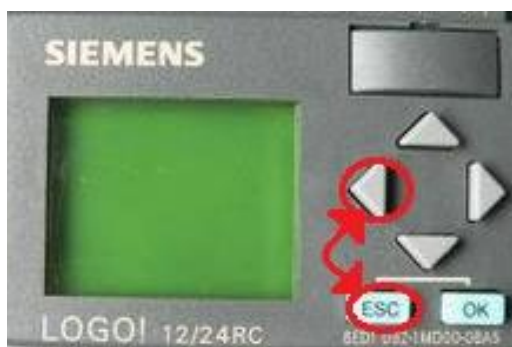


Figura 3.38: Ingreso a modo de precalentamiento.

3.2.6.3 Descripción del subproceso Modo para Soldar

El modo para soldar está diseñado con el objetivo de facilitar al operador la soldadura de los insertos de tungsteno cuando el proceso de precalentamiento ha finalizado. Este modo solo permite el movimiento de la herramienta por medio de un pedal, este es uno de los requerimientos solicitados por los usuarios ya que el proceso de soldadura se suspendía cada vez que se necesitaba girar la herramienta.

Para ingresar al modo de precalentamiento se debe presionar primero el botón ESC y enseguida el botón de la flecha derecha del PLC como se observa en la Figura 3.39 adaptada de [23].



Figura 3.39: Ingreso a modo de soldadura.

3.2.6.4 Descripción del subproceso Paro por Emergencia o Seguridad

En este subproceso todos los actuadores están apagados, esto puede ocurrir cuando:

- El botón de emergencia ha sido presionado por un operador
- Cuando se presionan los botones para ingresar al modo manual y automático al mismo tiempo.

- Y cuando el botón de pre-arranque no es presionado. Este botón se emplea como recordatorio para el operador sobre la activación de los seguros de posicionamiento del sensor y del quemador.

3.2.7 ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC

En la Tabla 3.28 se observan todas las combinaciones de las 6 entradas al PLC, para cada combinación se explica el estado de los 3 actuadores. Para realizar esta tabla consideran las siguientes condiciones de diseño y seguridad:

- Si el botón de emergencia está en 0L todos los actuadores se desactivan.
- Cuando el controlador de temperatura está en 1L las alarmas se encienden, y se apaga el motor y la electroválvula.
- Si el botón de pre-arranque no está presionado el proceso no puede iniciar.

Con estas consideraciones se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 3.28: Tabla de entradas y salidas del PLC

ENTRADAS						SALIDAS			DESCRIPCIÓN / Pantalla del PLC
Botón inicio/fin (NA)	Control de temperatura (NA)	Pre-Calentamiento	Soldar	Botón de pre-arranque (NA)	Pedal (NA)	Motor	Electro-válvula	Alarmas	
A (I3)	B (I4)	C (C3)	D (C4)	E (I2)	F (I5)	Q1	Q2	Q4	
1	x	x	x	x	x	OFF	OFF	OFF	Fin de proceso
0	1	x	x	x	x	OFF	OFF	ON	Alarmas encendidas
0	x	0	1	1	1	ON	OFF	OFF	Modo Soldar
0	x	0	1	1	0	OFF	OFF	OFF	Modo Soldar
0	x	x	x	0	x	OFF	OFF	OFF	Ajustar sensor y quemador
0	0	1	1	x	x	OFF	OFF	OFF	Conflicto entre modos Todo apagado
0	0	1	0	1	x	ON	ON	OFF	Modo Pre-Calentamiento
0	x	0	0	x	x	OFF	OFF	OFF	Escoger la opción de precalentamiento o soldar

Donde:

1 = High.

0= Low.

x= no importa el estado lógico.

3.2.8 DISEÑO DEL CIRCUITO LÓGICO

En la Tabla 3.28 se compiló toda la información necesaria para realizar un análisis booleano. Para cada salida se realiza un circuito lógico dependiente del estado lógico de cada entrada.

Para la salida del motor se encontró el circuito de la Figura 3.40.

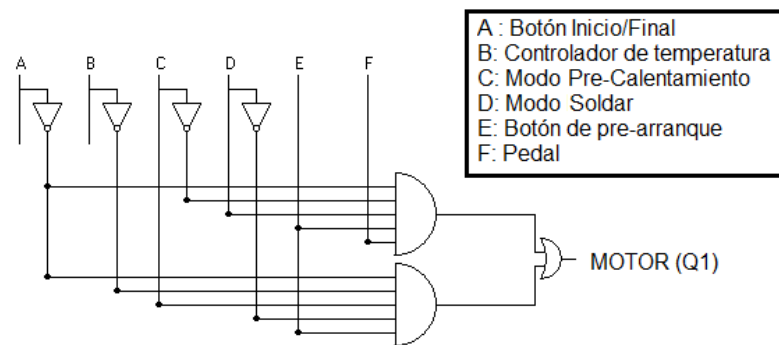


Figura 3.40: Circuito booleano para la salida del motor

El circuito de la electroválvula se ve en la Figura 3.41

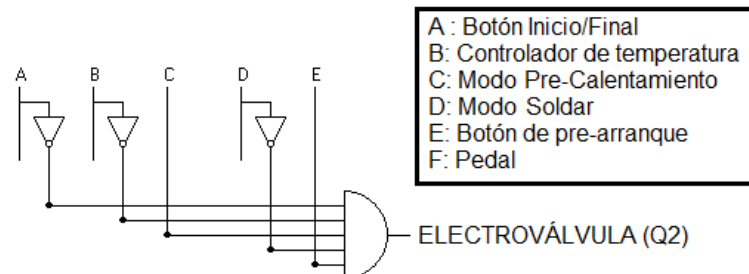


Figura 3.41: Circuito booleano para la salida de la electroválvula.

En la Figura 3.42 se puede observar el circuito de las alarmas.

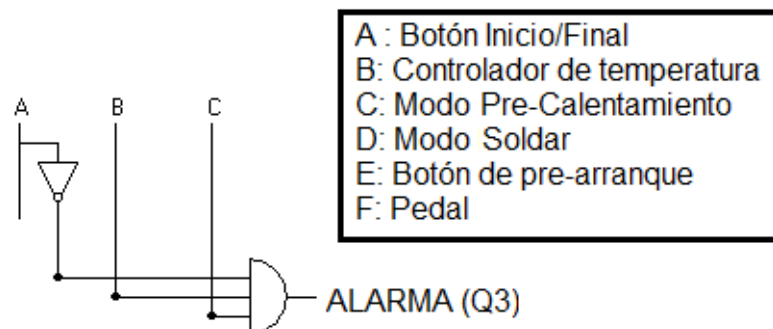


Figura 3.42: Circuito booleano para la salida de las alarmas

3.3 NOMENCLATURA Y ETIQUETADO

En la Tabla 3.29 se puede observar la nomenclatura y etiquetado usado en el prototipo.

Tabla 3.29: Nomenclatura y Etiquetado

Color	tipo	elemento	Pin en PLC	Etiquetado
Rojo	L1 (110v AC)	Botón de emergencia	N/A	L1
		Botón de encender	N/A	L1
		Botón Inicio/Fin	N/A	L1
		Botón pre-arranque	N/A	L1
		Pedal	N/A	L1
		Control de Temperatura	N/A	L1
		Control de Temperatura (L)	N/A	L1
		PLC	L	L1
		PLC	Q1.1	L1
		PLC	Q2.1	L1
		PLC	Q4.1	L1
Blanco	N (110AC)	Fuente 12V(Alimentación)	N/A	N
		Electroválvula	N/A	N
		Alarma	N/A	N
		PLC	N	N
		Control de Temperatura (N)	N/A	N
Azul	Señal de entrada	Botón Inicio/Fin	I3	I3
		Botón pre-arranque	I2	I2
		Pedal	I5	I5
		Control de Temperatura	I8	I8

Amarillo	12 v (+)	Fuente (salida)	N/A	DC+
		Motor	N/A	DC+
Negro	12 v (-)	Fuente (salida)	N/A	DC-
		Motor	N/A	DC-
Gris	Señal de salida	Fuente 12V(Alimentación)	Q1.2	O1
		Electroválvula	Q2.2	O2
		Alarma	Q2.4	O4

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se muestra paso a paso la construcción del prototipo del presente proyecto, seguido de las pruebas de cada etapa (mecanismo giratorio, de control y de calentamiento) y en conjunto. Para este prototipo algunos elementos tuvieron que ser reemplazados por productos más económicos que no excedieran el presupuesto.

4.1 CONSTRUCCIÓN

En la Figura 4.1 se muestra el diagrama de proceso para la construcción del prototipo.

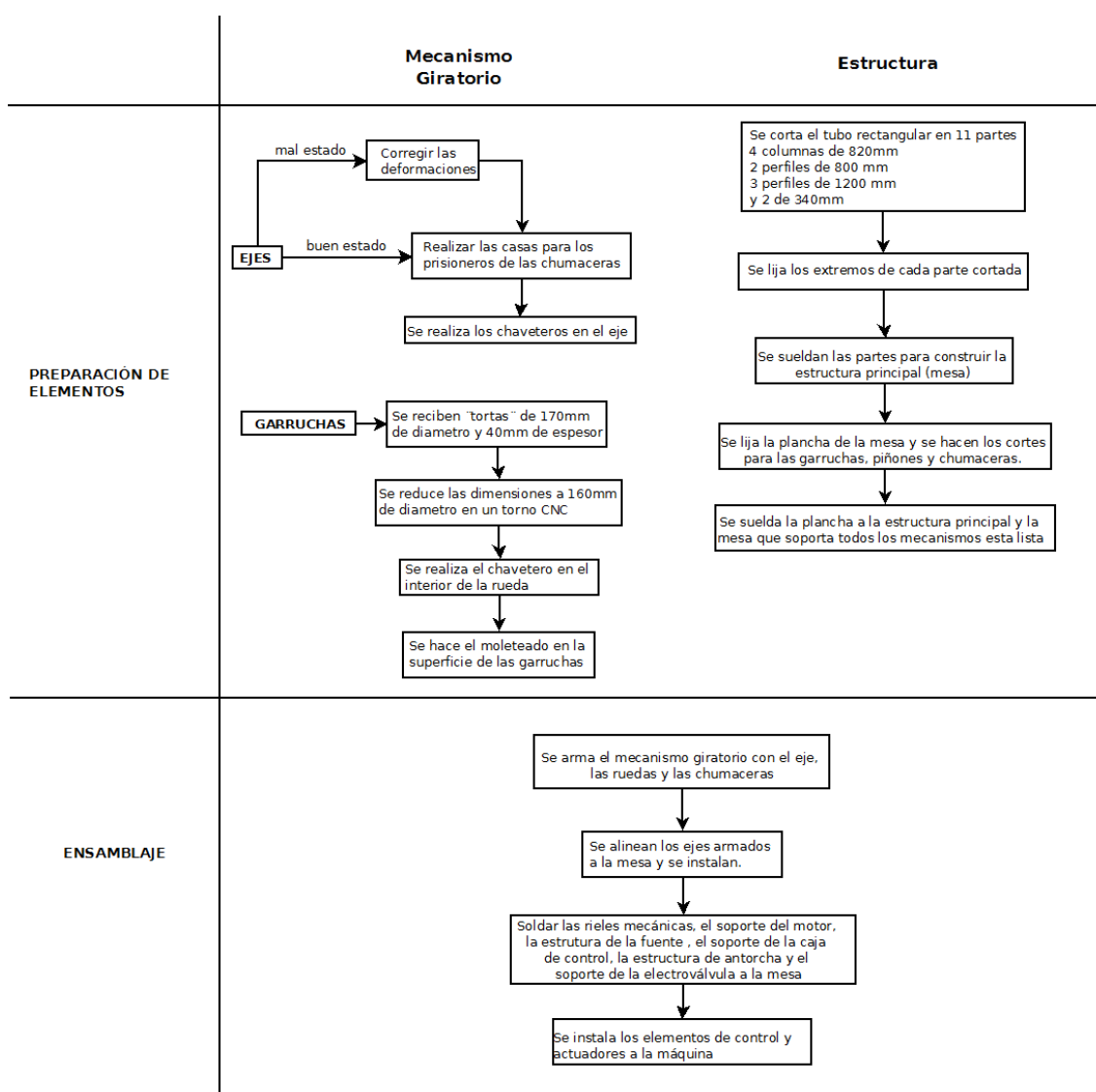


Figura 4.1: Diagrama de flujo del proceso de construcción el prototipo

En una de las puntas de un eje se encontró una deformación de 5 décimas (Figura 4.2) que no permitía el paso de las chumaceras, esto se corrigió reduciendo la deformación en un torno CNC.



Figura 4.2: Deformación de la punta del eje

Después se realizan las ruedas o garruchas, según las especificaciones de la Tabla 3.7 se conoce que el diámetro mínimo necesario es de 160mm y el espesor de 38mm. Se compró ruedas de mayor diámetro para corregir las imperfecciones en el torno CNC como se observa en la Figura 4.3.

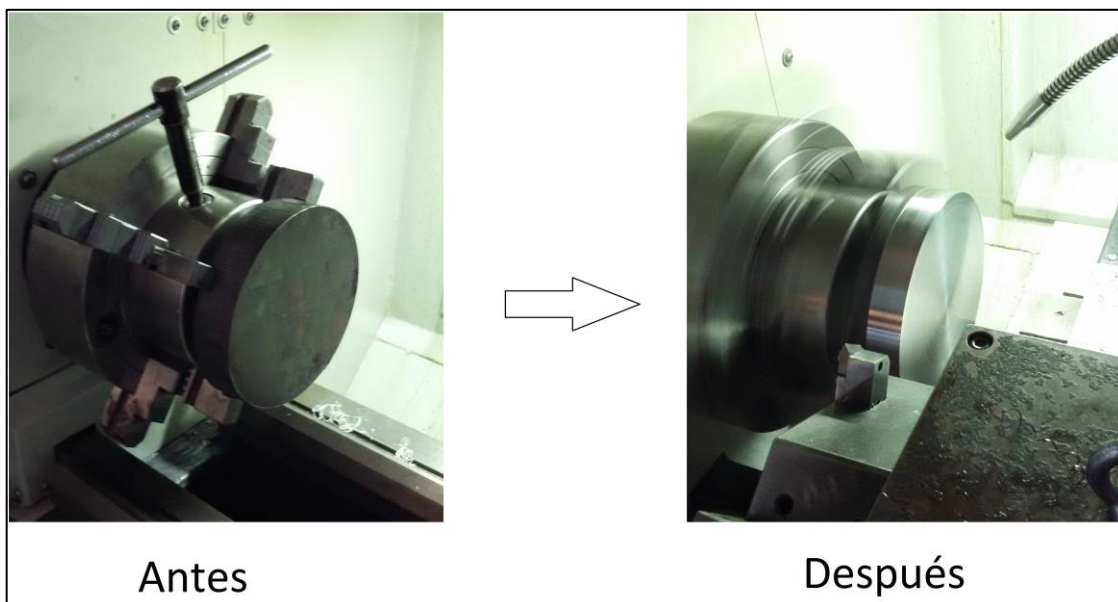


Figura 4.3: Ruedas o garruchas mecanizadas

Se realiza un trabajo de moleteado por deformación en la superficie de las ruedas para facilitar el agarre de la herramienta a la rueda (Figura 4.4).

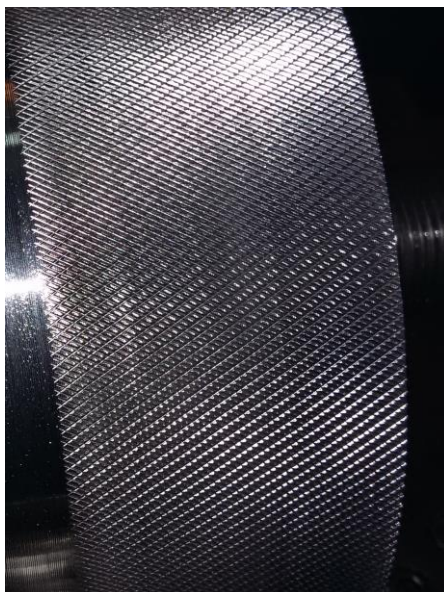


Figura 4.4: Rueda moleteada

Se realiza un chavetero en el eje y en la rueda (Figura 4.5) y un seeger, para eje de 32, asegurando así que se muevan en conjunto.

Según la norma DIN para un eje de 32mm de diámetro se necesita una chaveta de 10x8 mm y ya que se usará en la rueda que tiene 38 de espesor, la chaveta tiene 38mm de largo.

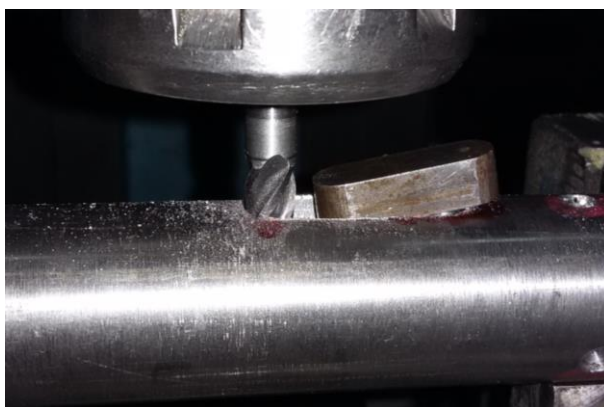


Figura 4.5: Chavetero en el eje

EL último elemento del eje de movimiento es el piñón, este tiene las especificaciones señaladas en la Tabla 3.11. Este también se asegura al eje por medio de chavetas.

Como las ruedas tienen mayor diámetro que todos los componentes es necesario hacer perforaciones en la mesa para que el mecanismo giratorio pueda ser fijado a esta por medio de chumaceras. Una vez que todos los elementos han sido preparados, se ensamblan de acuerdo al diseño en el capítulo 3 como se observa en la Figura 4.6.



Figura 4.6: Eje principal del movimiento

El motor que se usa para este proyecto es de 72 rpm a la salida en la caja reductora. Lo ideal sería usar un motor con las características de la Tabla 3.5, pero ya que este es un prototipo se usó un motor reciclado. Para adaptarlo al proyecto se usa un piñón de menor número de dientes el cual permite reducir la velocidad de giro de la herramienta, en este caso el piñón es de 11 dientes y se obtiene una velocidad de 30 rpm.

El siguiente paso de la construcción es fijar los elementos de control. Primero se realizaron dos rieles mecánicas para el libre movimiento del quemador y el sensor, como se ve en la Figura 4.7, la riel tiene un seguro mecánico que sirve para ajustar la estructura del sensor y del quemador. Dentro de la programación se pondrá un recordatorio al operador para ajustar estos seguros antes de empezar el proceso sea manual o automático.



Figura 4.7: Riel mecánicas

En el tablero de control se mostrará la temperatura indicada por el control de temperatura, pero no se tiene acceso para modificar el valor de seteo. La pantalla del PLC también estará a la vista para que los operadores puedan escoger entre los modos de precalentamiento y de soldar (Figura 4.8).



Figura 4.8: Panel de control

4.2 PRUEBAS Y FUNCIONAMIENTO

En la Tabla 4.1 se observan los resultados de las pruebas de funcionamiento de la máquina.

Tabla 4.1: Tabla pruebas de funcionamiento

# Prueba	Prueba	Descripción de la prueba	Resultado esperado	Resultado
1	Prueba del botón de emergencia	El operario presiona el botón de emergencia.	La máquina se desactiva por completo (incluyendo el PLC, el sensor y todos los actuadores)	OK
2	Prueba modo automático	El operador entra al modo automático	La máquina inicia el proceso en modo automático, el quemador, el sensor y el motor son activados	OK
3	Prueba modo manual	El operador entra al modo manual	La máquina inicia el proceso en modo manual, el motor se activa solo cuando se aplasta el pedal	OK
4	Prueba del pedal en modo manual	Se aplasta el pedal en modo manual	El motor entra en funcionamiento solo cuando se aplasta el pedal	OK
5	Prueba del pedal en modo automático	Se aplasta el pedal en modo automático	El proceso continúa sin tomar en cuenta el estado del motor	OK
6	Prueba fin de proceso	Se cambia de posición el botón de inicio a fin de proceso	Todos los actuadores están apagados, pero el PLC y sus entradas activadas	OK
7	Probar el controlador a diferente temperaturas	Se cambia el valor seteado del controlador	La salida del controlador cambia de estado correctamente con diferentes temperaturas seteadas	OK
8	Prueba de giro	Se activa el motor en modo automático	El motor gira el tiempo que la herramienta se demora en llegar a la temperatura deseada	OK
9	Calentamiento	Se activa el quemador	El quemador esta activado el tiempo que la herramienta se demora en llegar a la temperatura deseada	OK

4.2.1 PRUEBAS DE TIEMPO DE CALENTAMIENTO

Las pruebas realizadas en el prototipo se realizaron bajo las siguientes condiciones:

- Regulador de salida de gas: Baja presión (3Kpa).
- Velocidad del motor:
 - 72 rpm, que con la diferencia de radios de los piñones y de la herramienta, la velocidad final de la herramienta es de 32 rpm aproximadamente
 - 22rpm, la velocidad final de la herramienta en este caso es de aproximadamente 10rpm.
- Velocidad de la herramienta: 32rpm
- Distancia de la boca del quemador a la superficie de la herramienta: 65 mm

La Tabla 4.2 muestra los resultados de las pruebas.

Tabla 4.2: Pruebas en el prototipo

Velocidad del motor	Tiempo de funcionamiento de la máquina	Temperatura de la herramienta	Corriente consumida por el motor	Temperatura del motor	Observaciones
rpm	[min]	[°C]	[A]	[°C]	
Alta (72 rpm)	2	20	1,8	19	-
	7	35	2,87	21	-
	17	50	3,48	22	-
	28	75	3,68	26	-
	46	88	3,4	29	-
	63	100	3,17	33	El fusible térmico del motor abre el circuito, deteniendolo
Baja (22 rpm)	2	20	1,8	19	-
	5	24	2,5	23	-
	7	27	3,08	27	-
	10	31	3,15	31	-
	13	35	3,22	34	El fusible térmico del motor abre el circuito, deteniendolo

Las pruebas se realizaron en modo de precalentamiento en velocidad alta (máx. 72rpm del motor) y en velocidad baja (min 22rpm del motor).

Cuando la máquina trabaja en una velocidad alta el tiempo de duración es de 63 minutos, a esta velocidad la herramienta llega a 100oC. El tiempo de funcionamiento depende del motor, cuando este llega a una temperatura mayor a 30oC el termofusible interno abre el circuito del motor desactivando el movimiento de la máquina.

Cuando la máquina trabaja a una velocidad baja el tiempo máximo de funcionamiento es de 13 minutos. El PWM produce picos de corriente muy seguidos lo que ocasiona el calentamiento del motor hasta una temperatura mayor a 30°C, en este punto el fusible térmico interno abre el circuito del motor deteniendo la rotación de la herramienta. Se recomienda utilizar esta velocidad en el modo de soldadura ya que el motor no va a estar en funcionamiento de forma continua y el operador necesita rotar la herramienta lentamente.

En la Figura 4.9 se observa el grafico de las pruebas de calentamiento.

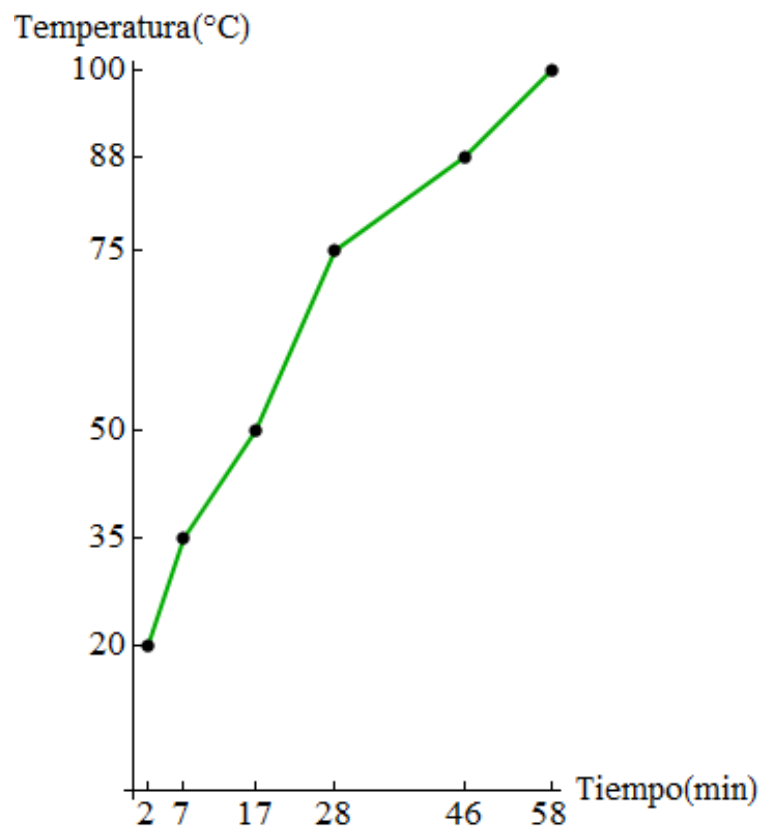


Figura 4.9: Gráfico de pruebas de calentamiento

Algunas observaciones que se pudieron ver durante el proceso de calentamiento son:

- Cuando el tubo se encuentra a 100°C las ruedas y otros elementos de transmisión, que se encuentran en el lado opuesto al quemador, están en 25°C.
- Cuando el tubo se encuentra a 100°C las ruedas y otros elementos de transmisión, que se encuentran en el mismo lado que el quemador, están en 30°C.

4.2.2 COSTO FINAL DEL PROYECTO

La Tabla 4.3 muestra el costo final del proyecto describiendo el valor de cada elemento utilizado.

Tabla 4.3: Tabla de costos del proyecto

	Elemento	Cant	Valor unitario	Valor Total
Costos Directos	Tubo cuadrado de acero estructural ASTM A-500 40x80x3 mm	8 m	\$ 6,00	\$ 48,00
	Eje de acero AISI 1045 de 32mm de diametro	2 m	\$ 10,00	\$ 20,00
	Chumaceras SFK diametro 32mm	4	\$ 8,00	\$ 32,00
	Materiales de sujeción	1	\$ 15,00	\$ 15,00
	Engrane 17 dientes acero AISI 1045 paso 3/4"	2	\$ 19,00	\$ 38,00
	Engrane 11 dientes acero AISI 1045 paso 3/4"	1	\$ 17,00	\$ 17,00
	Cadena ISO 606 tipo 12B paso 3/4"	1	\$ 50,00	\$ 50,00
	Motor 12V DC con caja reductora	1	\$ 30,00	\$ 30,00
	Placa perforada acero	1 m ²	\$ 10,00	\$ 10,00
	Tortas de acero AISI 1045 170x40mm	4	\$ 19,00	\$ 76,00
	Pintura antioxidante Negra	1	\$ 5,00	\$ 5,00
	Caja de control de 400x300x200 mm	1	\$ 38,00	\$ 38,00
	PLC Siemens LOGO! 230RC	1	\$ 120,00	\$ 120,00
	Controlador de temperatura Powerlink	1	\$ 90,00	\$ 90,00
	Elementos de control	1	\$ 40,00	\$ 40,00
	Elementos electronicos	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Costos Indirectos	Mano de obra	1	\$ 220,00	\$ 220,00
	Construccion de mesa	1	\$ 75,00	\$ 75,00
TOTAL				\$ 939,00

CONCLUSIONES

- ✓ En las pruebas realizadas en el prototipo se cumple el objetivo de evitar el contacto de los operadores en el proceso de precalentamiento.
- ✓ La máquina tiene dos modos de operación; modo de pre-calentamiento, donde el proceso es automático. Y Modo de soldadura, donde el operador puede girar la máquina por medio de un pedal, de acuerdo a su necesidad al momento de soldar.
- ✓ Los perfiles del prototipo fueron seleccionados de acuerdo al máximo peso que tendrían que soportar y por estandarización se hizo todo el prototipo con estas dimensiones.
- ✓ Los cables que se utilizaron (calibre #12 según la AWG) fueron seleccionados para la máxima corriente que el motor puede consumir que es de 6A
- ✓ Durante la construcción del prototipo cada elemento comprado fue verificado antes de ser ensamblado, para asegurarse de que no se necesite algún tipo de corrección.
- ✓ El sistema de seguridad en caso de emergencia se encuentra en el panel de control del prototipo, y este desactiva todos los actuadores cerciorando así la seguridad de los operadores.
- ✓ El prototipo está diseñado y construido de tal manera que se pueda desmontar en cualquier momento para reparación de algún elemento o para mantenimiento rutinario.
- ✓ Para protección del sistema de rotación se utiliza una rejilla que cubre la cadena y los piñones.
- ✓ La programación está diseñada con el programa Boole, que utiliza el modelo booleano para mejorar la programación evitando redundancias.
- ✓ La velocidad del motor está regulada por un circuito PWM, esto ayuda especialmente en el modo de soldadura para que el operador pueda girar la herramienta a su gusto.

- ✓ En las pruebas de funcionamiento se encontró que el tiempo de trabajo, a la velocidad más alta del motor (72rpm), es máximo una hora ya que pasado este tiempo el fusible interno del motor detiene movimiento rotatorio.
- ✓ Cuando el motor está a una velocidad baja (22 rpm aproximadamente) el tiempo de trabajo de la máquina es de 10 a 15 minutos.

RECOMENDACIONES

- ✓ La máquina de precalentamiento puede ser usada para el proceso de soldadura ya que viene incorporado un pedal que permite el movimiento de la herramienta de acuerdo a la necesidad del operador, para este proceso se puede disminuir la velocidad del motor.
- ✓ El sistema de seguridad del proyecto está diseñado para prevenir cualquier tipo de accidente, pero la mejor forma de evitarlos es asegurándose que cada operador sepa el funcionamiento del proyecto y que tomen conciencia del tipo de peligros que conlleva manejar este tipo de máquinas.
- ✓ Para el correcto funcionamiento del rack semiautomático es necesario que los operadores sigan las instrucciones del Manual de Operación sin saltarse pasos de seguridad
- ✓ En caso de alguna falla reemplazar los elementos con los mismos especificados en el capítulo 3.
- ✓ El rack semiautomático solo debe ser utilizado por los operadores que entienden su funcionamiento y han sido capacitados para usarlo.
- ✓ Es necesario cumplir con los tiempos de mantenimiento especificados en el Manual de Mantenimiento.
- ✓ Para el modo de pre-calentamiento el motor tiene que estar seteado en su máxima velocidad (PWM). Mientras que para trabajar en modo soldadura es preferible que este en baja velocidad para mayor facilidad al soldador.
- ✓ En modo de pre-calentamiento la máquina trabaja máximo una hora velocidad máxima.
- ✓ Se recomienda implementar un sistema de puente en H para que el giro de la herramienta sea en los dos sentidos.
- ✓ El modo de soldadura se puede automatizar, es decir que la herramienta pueda girar a una velocidad constante, lo suficientemente lenta como para que el operador pueda soldar y girar la herramienta, sin necesidad del pedal.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Aambrell, «Ambrell: Precision Induction Heating,» Ambrell, 2015. [En línea]. Available: <http://www.ambrell.com/PDFo/411-0168-16.pdf>. [Último acceso: 23 Julio 2015].
- [2] Grupo-Master, «EL PLC,» PAG , 2010. [En línea]. Available: http://www.grupo-maser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/index.htm. [Último acceso: 11 Junio 2015].
- [3] Autotonics, «Sensors and Controllers,» Autotonics, 2015. [En línea]. Available: http://autonics.com.mx/products/products_2.php?big=02&mid=02/01. [Último acceso: 17 Junio 2015].
- [4] Ecured, «Platos de sujeción,» 2011. [En línea]. Available: http://www.ecured.cu/index.php/Plato_de_sujeci%C3%B3n. [Último acceso: 11 Agosto 2014].
- [5] V. Hervás, «Aprendamos Tecnología,» Enero 2010. [En línea]. Available: <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/01/motores-electricos-parte-i1.pdf>. [Último acceso: 7 Octubre 2015].
- [6] J. L. Blasco, «El Blog de las TIC,» 2010. [En línea]. Available: <https://tecnojoseluis.files.wordpress.com/2010/10/teoria-mecanismos.pdf>. [Último acceso: 07 Octubre 2015].
- [7] EUIT de Telecomunicación, «Ingeniatic,» EUIT de Telecomunicación, 2011. [En línea]. Available: <http://ingeniatic.euitt.upm.es/index.php/tecnologias/item/588-sensores-de-temperatura-rtd>. [Último acceso: 15 Septiembre 2015].
- [8] National Instruments Corporation, «National Instruments,» National Instruments

- Corporation, 2007. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/7112/es/>. [Último acceso: 15 Septiembre 2015].
- [9] Universidad Nacional de La Plata, «Termocupla,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.ing.unlp.edu.ar/cys/DI/termocuplas.pdf>. [Último acceso: 15 Septiembre 2015].
- [10] PCE Instruments, «Pirómetro,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-temperatura/pirometro-infrarrojo-ls-plus.htm>. [Último acceso: 25 Agosto 2014].
- [11] Universidad Don Bosco, «UDB,» 2010. [En línea]. Available: <http://www.udb.edu.sv/udb/archivo/guia/electronica-ingenieria/sistemas-de-control-automatico/2013/i/guia-5.pdf>. [Último acceso: 13 Junio 2015].
- [12] Supress, «Laboratorio Remoto Automático,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.lra.unileon.es/es/book/export/html/268>. [Último acceso: 21 Mayo 2015].
- [13] Thermal Combustion, «Quemadores industriales,» 2010. [En línea]. Available: <http://quemadoreshornosycalderas.com/>. [Último acceso: 11 Agosto 2014].
- [14] AWS, Tecnología de Inspección de Soldadura, EEUU: Paperback, 2008.
- [15] L. L. Peresson, «Sistemas de Gestión de la Calidad con Enfoque al Cliente,» UVA, Buenos Aires, 2007.
- [16] Asociación Latinoamericana de QFD, «Asociación Latinoamericana de QFD,» 2002. [En línea]. Available: www.qfdlat.com. [Último acceso: 04 Agosto 2015].
- [17] C. Riba, Diseño Concurrente, Cataluña: ETSEIB, 2002.
- [18] Direct Industry, «El salón online de la industria,» Virtual Expo, 2005. [En línea]. Available: <http://www.directindustry.es>. [Último acceso: 31 Enero 2015].
- [19] Reilectro, «El termistor,» 09 Noviembre 2012. [En línea]. Available:

<http://reielectro.wordpress.com/2012/11/09/el-termistor/termistor-ntc-100e-3/>.
[Último acceso: 25 Septiembre 2014].

- [20] M. D. Buel, «Dispositivos Electrónicos,» 9 Agosto 2012. [En línea]. Available: <http://mugettiybuel.blogspot.com/2012/08/termocupla.html>. [Último acceso: 25 Septiembre 2014].
- [21] Spirax Sarco, «Basic Control Theory,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/basic-control-theory/basic-control-theory.asp>. [Último acceso: 28 Septiembre 2014].
- [22] Coulton, «Temperature controller questions and answers,» 2014. [En línea]. Available: http://www.coulton.com/QandA_controller. [Último acceso: 09 Septiembre 2014].
- [23] Siemens, «Siemens,» 2015. [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/uk/Catalog/Products/10256270>. [Último acceso: 23 Mayo 2015].
- [24] ADIMRA, «Quemadores industriales,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.catalogometalurgico.com/products/view/198>. [Último acceso: 28 Septiembre 2014].
- [25] WIPPERMAN, *Formas de construcción de cadenas articuladas de acero*, Alemania: Wipperman, 2011.
- [26] L. Ocampo, «Diseño de accioamientos y transmisiones de máquinas,» UTP, Pereira, 1993.
- [27] ALEX, «Ruedas Alex,» ALEX, 2014. [En línea]. Available: <http://www.alex.es>. [Último acceso: 25 Enero 2015].
- [28] Renold, «catalogo de cadenas,» Renold, Castellon, 2013.
- [29] Joresa, «cálculo de cadenas de transmisión,» [En línea]. Available: <http://www.joresa.com>. [Último acceso: 25 Enero 2015].

- [30] Translink, «Translink,» 2005. [En línea]. Available: <http://www.translinkpt.com/pdf/cadenas.pdf>. [Último acceso: 2015 Octubre 10].
- [31] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, Shigley's Mechanical Engineering Design, USA: McGraw Hill, 2006.
- [32] R. L. Mott, Diseño de elementos de máquinas, Mexico: PEARSON Educación, 2006.
- [33] IVAN BOHMAN, «Catálogo de Materiales de Ingeniería,» IBCA, Quito , 2010.
- [34] R. L. Mott, Resistencia de Materiales, Mexico: Pearson Education, 2009.
- [35] FAG, Rodamientos FAG catálogos, Barcelona: TECFOTO, 1999.
- [36] HORNOS INDUSTRIALES LTDA., «Diseño y fabricación de hornos para la industria,» HORNOS INDUSTRIALES LTDA., 2008. [En línea]. Available: http://hornosindustriales.cl/Menu/1_Hornos_industriales/hornos_industriales.htm. [Último acceso: 11 Octubre 2015].
- [37] NTN, «NTN,» NTN mexico, 2009. [En línea]. Available: http://www.ntnmexico.com/catalogo/catalogos/cat4_2202-VII-S_CAT_Rodam_Bolas_y_Rodillos-esp.pdf. [Último acceso: 11 Octubre 2015].
- [38] Dipac, *Catalogo Aceros*, Manta: Dipac.
- [39] NFPA 70, National Electrical Code (NEC) and Handbook, Estados Unidos, 2014.
- [40] D. Loza, *Medición de temperatura*, Quito: [Diapositivas Power Point], 2013.
- [41] Direct industry, «El salón online de la industria,» Conax Technologies, 2014. [En línea]. Available: <http://www.directindustry.es/prod/conax-technologie/>. [Último acceso: 25 Septiembre 2014].
- [42] J. F. R. Serwey, Física, México: Pearson Educación, 2001.

- [43] Osinergmin, «Slide Share,» 2011. [En línea]. Available: <http://es.slideshare.net/rgrados/propiedades-y-caractersticas-del-glp-9166571>. [Último acceso: 1 Noviembre 2014].
- [44] L. M. Díaz, «Ingeniería Simple,» 2008. [En línea]. Available: <http://www.ingenieriasimple.com/problemas>. [Último acceso: 13 Enero 2015].
- [45] S. G. Y. J. ALBERTO, «Microcontroladores,» Blogger, 5 Diciembre 2008. [En línea]. Available: <http://losmicrocontroladores.blogspot.com/>. [Último acceso: 14 Enero 2015].
- [46] Perry, Manual del ingeniero químico, Mexico: McGraw-Hill, 2001.
- [47] Lindis, «Piñones,» [En línea]. Available: http://www.lindis.com/pdf/Pinones-Martin_ESP.pdf. [Último acceso: 27 Enero 2015].
- [48] Sismec, «cadenas de transmisión,» [En línea]. Available: <http://www.sismec.com>. [Último acceso: 27 Enero 2015].
- [49] F. Bueche y E. Hetch, Física general de Schaum, México: McGraw Hill, 1997.
- [50] Nose Seiko Co., Ltd., «Vida útil y capacidad de carga del rodamiento,» 2007. [En línea]. Available: <http://www.nose-seiko.co.jp>. [Último acceso: 17 Febrero 2015].
- [51] J. L. Molina, «profesormolina,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.profesormolina.com.ar/electromec/tabla.htm>. [Último acceso: 15/07/2015].