



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

“ESTUDIO DE BANCOS CON MECANISMOS DE LEVAS PARA DETERMINAR PARÁMETROS CINEMÁTICOS EN LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA.”

AUTOR: Tannia Alexandra Sailema Hurtado

AMBATO – ECUADOR

2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de TUTOR del trabajo de Investigación sobre el tema: **“ESTUDIO DE BANCOS CON MECANISMOS DE LEVAS PARA DETERMINAR PARÁMETROS CINEMÁTICOS EN LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA.”**, desarrollado por la señorita Tannia Alexandra Sailema Hurtado, egresada de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

- Que la presente Tesis es original de su autor.
- Ha sido revisada en cada uno de sus capítulos.
- Esta concluida y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, Julio de 2015

.....
Ing. MSc. Juan Correa

TUTOR DE TESIS

AUTORIA DE LA TESIS

Los criterios emitidos en el trabajo de investigación: “**ESTUDIO DE BANCOS CON MECANISMOS DE LEVAS PARA DETERMINAR PARÁMETROS CINEMÁTICOS EN LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA.**”, así como los criterios, ideas, análisis, resultados y propuestas son responsabilidad exclusiva de su autor.

Ambato, Julio de 2015

.....

Tannia Alexandra Sailema Hurtado

C.I.:1804248571

AUTOR

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a Dios por darme la fuerza para culminar con mi carrera, por haberme bendecido con una gran familia y poner en mi vida personas que me ayudaron en los momentos difíciles.

A mí querida madre Zoila Hurtado por su inmenso sacrificio y apoyo incondicional para cumplir esta meta.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por ser la entidad que me permitió culminar mi carrera.

Al ingeniero Juan Correa, quien fue mi tutor de tesis y por quien fue posible realizar esta investigación, gracias a su paciencia y su colaboración.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil Y Mecánica por sus enseñanzas durante mi formación académica.

A todas las personas que directa o indirectamente me ayudaron durante la elaboración de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES	PÁGINA
PORTADA.....	I
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORIA DE LA TESIS	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN EJECUTIVO	XVIII

B. TEXTO

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	1
1.2.1 Contextualización	1
1.2.2 Análisis crítico.....	2
1.2.3 Prognosis	2
1.2.4 Formulación del problema.....	3
1.2.5 Pregntas directrices	3
1.2.6 Delimitación del objeto de investigación	3
1.2.6.1 De contenido	3
1.2.6.2 Espacial.....	3
1.2.6.3 Temporal.....	4
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos.....	5

1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Investigativos	6
2.2 Fundamentación filosófica	6
2.3 Fundamentación legal.....	7
2.4 Red de Categorías Fundamentales.....	7
2.4.1 Banco de Pruebas.....	7
2.4.2 Mecanismos de leva.....	8
2.4.3 Clasificación de los Mecanismos de leva seguidor	9
2.4.3.1 Según la geometría de la leva	9
2.4.3.2 Según la geometría del Seguidor	11
2.4.3.3 De Acuerdo con el tipo de Cierre del Par Superior	12
2.4.3.4 De Acuerdo con el movimiento del Seguidor.....	14
2.4.4 Síntesis de levas.....	15
2.4.5 Tipos de Bancos con mecanismos de leva.....	15
2.4.5.1 Analizador de Árbol de Levas	15
2.4.5.2 Máquina de Análisis de levas	16
2.4.5.3 Mecanismo de levas intercambiables.....	17
2.4.6 Sistemas de medición y Control Industrial.....	17
2.4.7 Automatización.....	18
2.4.8 Parámetros Cinemáticos	22
2.4.8.1 Esquemas de movimiento del seguidor	23

2.4.8.2	Relación cinemática del mecanismo leva – seguidor	24
2.4.8.3	Tipos de Movimiento.....	25
2.4.8.4	Leva de disco con seguidor radial de rodillo	31
2.4.9	Diseño Mecánico	33
2.4.9.1	Esfuerzo y Resistencia	34
2.4.9.2	Resistencia estática	36
2.4.9.3	Diseño por resistencia a fatiga	36
2.4.9.4	Cojinetes de rodamiento	38
2.5	Hipótesis	39
2.6	Señalamiento de Variables	39

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1	Modalidades básicas de la investigación.....	40
3.2	Nivel o tipo de investigación.....	40
3.3	Población y muestra	41
3.4	Operacionalización de Variables.....	42
3.4.1	Variable Independiente.....	42
3.4.2	Variable Dependiente	43
3.5	Técnicas e instrumentos de recolección de información.....	43
3.6	Plan de procesamiento de la información.....	44

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1	Análisis de los resultados	45
4.1.1	Parámetros para la selección de alternativas	45

4.1.2 Estudio de ventajas y desventajas de bancos con mecanismos leva-seguidor	46
4.1.2.1 Alternativa 1: Analizador de Árbol de levas	46
4.1.2.2 Alternativa 2: Máquina de análisis de levas	47
4.1.2.3 Alternativa 3: Mecanismo de levas Intercambiables	48
4.2 Interpretación de los datos	49
4.2.1 Selección de la alternativa adecuada	49
4.2.2 Valoración de parámetros para la selección de alternativas	50
4.2.2.1 Costo	51
4.2.2.2 Factibilidad de fabricación.....	52
4.2.2.3 Adquisición de datos.....	53
4.2.2.4 Tamaño	54
4.2.2.5 Mantenimiento	55
4.2.2.6 Sumatoria de la valoración de parámetros	56
4.2.2.7 Descripción de la alternativa seleccionada	57
4.3 Verificación de la hipótesis	57

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	58
5.2 Recomendaciones	59

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 Datos informativos	60
6.2 Antecedentes de la propuesta	61

6.3	Justificación.....	61
6.4	Objetivos.....	61
6.4.1	Objetivo General.....	61
6.4.2	Objetivos Específicos	62
6.5	Análisis de factibilidad	62
6.6	Fundamentación	62
6.6.1	Dimensiones del banco con mecanismo leva- seguidor seleccionado	62
6.6.2	Esquema del Banco	63
6.6.3	Selección del motor	63
6.6.3.1	Cálculo del momento torsor.....	66
6.6.4	Diseño del eje motriz.....	73
6.6.4.1	Cálculo de reacciones	74
6.6.4.2	Diagramas de fuerza Cortante y Momento Flector	75
6.6.4.3	Diseño Estático del eje.....	76
6.6.4.4	Diseño Dinámico del eje.....	78
6.6.5	Selección de Rodamientos.....	84
6.6.6	Diseño de columnas (Soporte 1).....	88
6.6.6.1	Análisis de Pandeo de Columna	90
6.6.7	Análisis de Uniones Empernadas	92
6.6.8	Sistema de Control.....	94
6.6.8.1	Programas de control	94
6.6.8.2	Lógica de funcionamiento	95
6.6.8.3	Interfase entre la tarjeta y el programa	97
6.6.8.4	Programación en labview.....	98
6.6.9	Pruebas de Funcionamiento.....	103

6.6.9.1	Leva tangencial con seguidor de rodillo	104
6.6.9.2	Leva cóncava con seguidor de rodillo	107
6.6.9.3	Leva cóncava con seguidor de cara plana.....	110
6.6.9.4	Leva convexa con seguidor de rodillo	113
6.7	Metodología.....	116
6.7.1	Construcción de la estructura del banco	116
6.7.2	Levas.....	118
6.8	Administración	119
6.8.1	Costos directos.....	119
6.8.2	Costos indirectos.....	120
6.8.3	Costo total del proyecto	121
6.9	Previsión de la evaluación	121

C. MATERIALES DE REFERENCIA

Bibliografía	122
Anexos	124
Anexo A: Manual de Usuario	125
Anexo B: Diseño Mecánico	133
Anexo C: Sistema de Control.....	138
Anexo D: Fotos	142
Anexo E: Diagramas de desplazamiento del seguidor.....	144
Anexo F: Planos	148

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Red de categorías fundamentales	7
Figura 2.2 Leva generadora de función.....	8
Figura 2.3 Levas.....	8
Figura 2.4 Leva de Placa.....	9
Figura 2.5 Leva de Traslación.....	10
Figura 2.6 Leva Cilíndrica.	10
Figura 2.7 Leva Cónica.....	10
Figura 2.8 Seguidor de Rodillo.	11
Figura 2.9 Seguidor de cara plana.....	11
Figura 2.10 Seguidor de hongo.	12
Figura 2.11 Mecanismo de leva con Rodadura.....	12
Figura 2.12 Leva de Anchura Constante con seguidor de movimiento alternativo y cara plana.	13
Figura 2.13 Leva Conjugada con seguidor oscilante de rodillo.....	13
Figura 2.14 Leva con cierre de fuerza (peso o resorte).....	14
Figura 2.15 Equipo para adquisición de perfiles de leva	16
Figura 2.16 Maquina de Análisis de levas	16
Figura 2.17 Mecanismo de leva	17
Figura 2.18 Modelos de motores paso a paso	20
Figura 2.19 Cableado de las bobinas.....	22
Figura 2.20 Movimiento del Mecanismo Leva-seguidor.....	23
Figura 2.21 Desplazamiento de la leva.	24

Figura 2.22 Curvas de movimiento con velocidad constante	25
Figura 2.23 Movimiento con aceleración constante.	26
Figura 2.24 Movimiento armónico simple.....	27
Figura 2.25 Movimiento Cicloidal	28
Figura 2.26 Subida polinomial 3-4-5	30
Figura 2.27 Elevación polinomial 4-5-6-7.	31
Figura 2.28 Movimiento del Seguidor	32
Figura 2.29 Ángulo de presión vs Tamaño de la leva.....	33
Figura 2.30 Viga recta en flexión positiva.	35
Figura 2.31 Barra sometida a torsión	35
Figura 2.32 Nomenclatura de un cojinete de bolas.	38
Figura 4.1 Analizador de árbol de levas.....	46
Figura 4.2 Analizador de levas.....	47
Figura 4.3 Mecanismo leva-seguidor	48
Figura 6.1 Partes del banco con mecanismo leva - seguidor.	63
Figura 6.2 Diagrama de cuerpo libre en el punto A.....	66
Figura 6.3 Diagrama de cuerpo libre en el punto B	67
Figura 6.4 Diagrama de cuerpo libre en el punto C	68
Figura 6.5 Diagrama de cuerpo libre en el punto D.....	69
Figura 6.6 Diagrama de cuerpo libre en el punto E	71
Figura 6.7 Diagrama de cuerpo libre del eje.	73
Figura 6.8 Diagrama de fuerza cortante.	75
Figura 6.9 Diagrama de momento flector	76
Figura 6.10 Factores teóricos de concentración del esfuerzo para flexión	81
Figura 6.11 Apoyos simples: carga en voladizo	82

Figura 6.12 Eje motriz.....	84
Figura 6.13 Viscosidad relativa v1	87
Figura 6.14 Diagrama V-T.....	87
Figura 6.15 Eje Roscado	92
Figura 6.16 Ventana de Matlab.....	94
Figura 6.17 Ventana de labview.....	95
Figura 6.18 Diagrama de flujo del control.....	96
Figura 6.19 LIFA_Base de Arduino	97
Figura 6.20 Identificación del puerto.	98
Figura 6.21 Circuito de Control ARDUINO.....	98
Figura 6.22 Inicio del Proyecto en labview	99
Figura 6.23 Bank VI en labview	99
Figura 6.24 Paquete de Arduino en labview	100
Figura 6.25 Lectura y escritura en Arduino	100
Figura 6.26 Potenciómetro lineal	100
Figura 6.27 Programa de derivación	101
Figura 6.28 Controladores de motor a pasos.....	101
Figura 6.29 Programa para el encendido del motor.	102
Figura 6.30 Programa para el sensor de barrera.....	102
Figura 6.31 Generación de reporte.....	102
Figura 6.32 SubVIs del reporte	103
Figura 6.33 Panel Frontal del Programa	103
Figura 6.34 Gráficas obtenidas a partir de la digitalización del perfil de la leva tangencial.	106
Figura 6.35 Gráfica ideal del desplazamiento de la leva Tangencial.....	107

Figura 6.36 Gráficas obtenidas a partir de la digitalización del perfil de la leva cóncava.....	109
Figura 6.37 Gráfica ideal del desplazamiento de la leva cóncava.	110
Figura 6.38 Gráficas obtenidas a partir de la digitalización del perfil de la leva cóncava con seguidor de cara plana.	112
Figura 6.39 Gráfica ideal del desplazamiento de la leva cóncava con seguidor de cara plana.	113
Figura 6.40 Gráficas obtenidas a partir de la digitalización del perfil de la leva convexa	115
Figura 6.41 Gráfica ideal del desplazamiento de la leva convexa	116
Figura 6.42 Plancha de Acero A36	116
Figura 6.43 Eje AISI 1018	117
Figura 6.44 Base eje motriz	117
Figura 6.45 Eje motriz.....	117
Figura 6.46 Placas Guías.....	118
Figura 6.47 Mecanismo del Seguidor	118
Figura 6.48 Nylon para el maquinado de las levas	118
Figura 6.49 Levas Maquinadas	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Operacionalización de la variable independiente.....	42
Tabla 3.2 Operacionalización de la variable dependiente.....	43
Tabla 4.1 Valores para tabulación de ponderaciones.....	49
Tabla 4.2 Valoración de los parámetros para cada criterio.....	50
Tabla 4.3 Criterio Costo.....	51
Tabla 4.4 Criterio Factibilidad de fabricación.....	52
Tabla 4.5 Criterio Adquisición de datos.....	54
Tabla 4.6 Criterio Tamaño.....	55
Tabla 4.7 Criterio Mantenimiento.....	56
Tabla 4.8 Sumatoria de la valoración de parámetros.....	56
Tabla 6.1 Dimensiones del Banco con mecanismo de leva – seguidor.....	62
Tabla 6.2 Módulo de Cizallamiento del material del resorte.....	65
Tabla 6.3 Motor a pasos seleccionado.....	72
Tabla 6.4 Driver Motor Seleccionado.....	73
Tabla 6.5 Eje diseñado.....	83
Tabla 6.6 Valores del factor f_s de carga estática permisible.....	85
Tabla 6.7 Factor de fiabilidad a_1	86
Tabla 6.8 Constantes de condiciones finales de las columnas.....	89
Tabla 6.9 Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K	90
Tabla 6.10 Columna seleccionada.....	92
Tabla 6.11 Pasos preferidos para roscas.....	93
Tabla 6.12 Tuercas Seleccionadas.....	93
Tabla 6.13 Resultados obtenidos con la Leva Tangencial.....	104

Tabla 6.14 Resultados obtenidos con la Leva Cóncava.....	107
Tabla 6.15 Resultados de la Leva Cóncava con seguidor de cara plana.....	110
Tabla 6.16 Resultados obtenidos con la Leva Convexa.....	113
Tabla 6.17 Costos Directos	119
Tabla 6.18 Costos Indirectos.....	120
Tabla 6.19 Costo Total.....	121

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

TEMA: “ESTUDIO DE BANCOS CON MECANISMOS DE LEVAS PARA DETERMINAR PARÁMETROS CINEMÁTICOS EN LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA.”.

Autor: Tannia Alexandra Sailema Hurtado

Tutor: Ing. MSc. Juan Correa

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación consiste en realizar un estudio de alternativas de bancos de pruebas para el análisis cinemático del mecanismo leva – seguidor en el Laboratorio de Automatización.

Para ejecutar este proyecto se inicia recopilando información necesaria acerca del comportamiento del sistema leva y seguidor, se analizó el funcionamiento de los diferentes tipos de bancos de pruebas de levas. Para seleccionar la mejor opción que permita obtener los parámetros cinemáticos del mecanismo se consideraron tres alternativas en las cuales se realizó el análisis tomando en cuenta los parámetros más relevantes para el diseño como: costo, factibilidad, adquisición de datos, espacio y mantenimiento.

Luego de haber considerado la mejor opción se procede al diseño y selección de los elementos acordes para el banco de pruebas levas, una vez construida se realiza la adquisición de datos mediante una interfaz gráfica.

Al culminar con este proyecto se ha podido demostrar que mediante el Banco con Mecanismo de levas intercambiables se determinó el desplazamiento, velocidad, aceleración y sobreaceleración del sistema.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA

Estudio de bancos con mecanismos de levas para determinar parámetros cinemáticos en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

El proceso de trabajo de muchas máquinas conduce a la necesidad de tener entre sus componentes mecanismos en los cuales el movimiento deba ser ejecutado rigurosamente por una ley dada y coordinadamente con el movimiento de otros mecanismos. Para efectuar esta tarea los mecanismos más sencillos, compactos y económicos son los mecanismos de levas, además este tipo de mecanismo tiene la ventaja de diseñar movimientos del seguidor para producir cualquier tipo de movimiento requerido.

En el Ecuador las Universidades que cuentan con carreras técnicas relacionados con la Mecánica son muy escasas. La Universidad Técnica de Manabí posee un laboratorio de Motores de Combustión Interna y Mecanismos. Mientras que la mayor parte de universidades no cuentan con un laboratorio de Mecanismos, por ende no poseen ningún banco con mecanismo de levas para realizar las prácticas, entre ellas la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), la Universidad Técnica de Cotopaxi y la Universidad del Azuay.

En el centro del país, en la provincia de Pichincha, la cual posee el mayor número de Universidades con la Carrera de Ingeniería Mecánica, entre ellos; la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, la Universidad Internacional del Ecuador y la Escuela Politécnica Nacional, cuentan con un laboratorio de Mecanismos y

Vibraciones, mientras que la Universidad Tecnológica Equinoccial y la Universidad Politécnica Salesiana a pesar de tener un extenso y moderno número de laboratorios de Mecánica, no cuenta con uno específico para el área de mecanismos.

En la Universidad Técnica de Ambato, el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica no cuenta con un banco de pruebas de mecanismos de levas, lo que imposibilita una aplicación práctica de los mismos.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

La Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica necesita lograr altos niveles de preparación académica y tecnológica en los estudiantes, para formar profesionales con conocimientos sólidos.

Uno de los factores principales que impiden la adquisición de nuevos equipos para realizar prácticas en el laboratorio de la Facultad, es el escaso presupuesto debido al elevado costo que presentan dichos equipos, lo que conlleva al desinterés del estudiante en profundizar la materia en lo que se refiere al módulo de mecanismos. Para ello es necesario implementar un banco de pruebas con mecanismos de levas para realizar las prácticas correspondientes y así lo aprendido en la parte teórica pueda ser complementado y reforzado mediante las prácticas reales.

El campo laboral implica competencia, por tal motivo es imprescindible que el estudiante se actualice con nuevas tecnologías que conlleven a optimizar el funcionamiento de cualquier máquina o mecanismo.

1.2.3 PROGNOSIS

Al no efectuar el estudio de bancos con mecanismos de levas, el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica no dispondrá del equipo adecuado para determinar los parámetros cinemáticos del mismo, lo que dificulta la preparación académica de los estudiantes al no realizar las prácticas, con lo cual no habrá una total comprensión de la teoría adquirida en clase.

El limitado sistema de aprendizaje acerca del mecanismo de leva – seguidor, conlleva a una deficiente preparación académica y una escasez en el manejo del mismo lo que conlleva al bajo rendimiento como profesional.

Uno de los problemas que se presenta en la industria es la escasez de profesionales idóneos y más acercados a la realidad cuando se enfrentan a problemas que se presenten y sean capaces de dar solución.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿El banco con mecanismo de leva – seguidor permitirá determinar los parámetros cinemáticos en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

- ¿Qué elementos debe contener un banco de levas?
- ¿Cómo se puede adquirir datos de los parámetros cinemáticos?
- ¿Cuál es la alternativa de solución aplicable a las necesidades de la Carrera de Ingeniería Mecánica?

1.2.6 DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

1.2.6.1 DE CONTENIDO

El estudio de bancos con mecanismos de levas para determinar parámetros cinemáticos en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica se realizará dentro del campo de la Ingeniería Mecánica mediante fundamentos basados en el Área de Módulos Básicos Profesionalizantes.

1.2.6.2 ESPACIAL

Esta investigación se llevará a cabo en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi de la ciudad de Ambato. Además se complementará en la Biblioteca de la Facultad de

Ingeniería Civil y Mecánica, la cual proveerá la bibliografía para el desarrollo del proyecto.

1.2.6.3 TEMPORAL

El estudio de Bancos con Mecanismos de Levas para determinar parámetros cinemáticos se lo realizará desde el mes de julio de 2014 a julio de 2015.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El presente estudio se ha generado debido a que las prácticas son muy necesarias para complementar los conocimientos teóricos ya que se podrá ofrecer al estudiante un conocimiento teórico - práctico en el módulo de Mecanismos para que se pueda desenvolver profesionalmente.

El interés de realizar la presente investigación se basa en fomentar al estudiante al manejo de un mecanismo de levas y sus diferentes aplicaciones en la industria. Al proyectar una máquina es necesario elegir el mecanismo o serie de mecanismos que deben entrar en su composición partiendo de las operaciones a realizar o el trabajo de la misma.

El estudio es de gran importancia debido a que en el mundo, las levas son un elemento mecánico muy utilizado gracias a su propiedad de imponer un tipo de movimiento muy preciso con la simple función de desplazamiento que realiza, por lo que se utiliza en programadores de lavadoras (para la apertura y cierre de los circuitos que gobiernan su funcionamiento), en cambios de piezas mecánicas con altos tiempos de detención de procesos, cerraduras de leva fundida a presión, en el diseño de máquinas herramienta como tornos, prensas, entre otras.

Al contar la Facultad con un banco con mecanismos de leva se les facilitaría a los estudiantes la comprensión ya que permitirá realizar una comparación entre lo teórico con lo práctico, con lo cual se obtendrá una mejor preparación académica.

Lo novedoso serán los dispositivos que se utilizarán para el análisis y visualización de los parámetros cinemáticos, lo que ayudará considerablemente en la comprensión de su funcionamiento y podrán diferenciar entre lo práctico y lo aprendido en clase.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar un mecanismo de leva – seguidor que permita establecer los parámetros cinemáticos en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los elementos que debe contener un banco de levas.
- Establecer datos de los parámetros cinemáticos.
- Analizar la alternativa de solución aplicable a las necesidades de la Carrera de Ingeniería Mecánica.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, se desarrolló el Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico con el tema: MEJORAMIENTO DE LA FUNCIONALIDAD Y OPERABILIDAD DEL EQUIPO DE ANÁLISIS DE LEVAS DEL LABORATORIO DE MECANISMOS. Salas, D. (2007). Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2370/1/T-ESPE-025336.pdf>

El presente proyecto tiene como objetivo mejorar el funcionamiento y operabilidad del equipo de análisis de levas Modelo TM21 062 de la empresa TECQUIMENT. Este equipo es semiautomático y mediante la actualización de los sistemas de adquisición de datos DAQ y el programa de control, obtuvieron datos lo más cercano a la realidad, sin problemas de alteraciones en los mismos, lo cual genera análisis reales.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

Para desarrollo de esta investigación se requiere del paradigma crítico propositivo, puesto que el estudio parte de un problema real que se presenta al no disponer de un banco con mecanismos de leva, con la finalidad de buscar nuevas tecnologías que ayudarán a dar solución al problema a través del análisis del mismo. La investigación recogerá datos de varias fuentes como textos, artículos y publicaciones en internet y otros documentos que ayuden para el desarrollo de esta investigación.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

CPE INEN 003:89 Código de dibujo técnico, mecánico.

2.4 RED DE CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

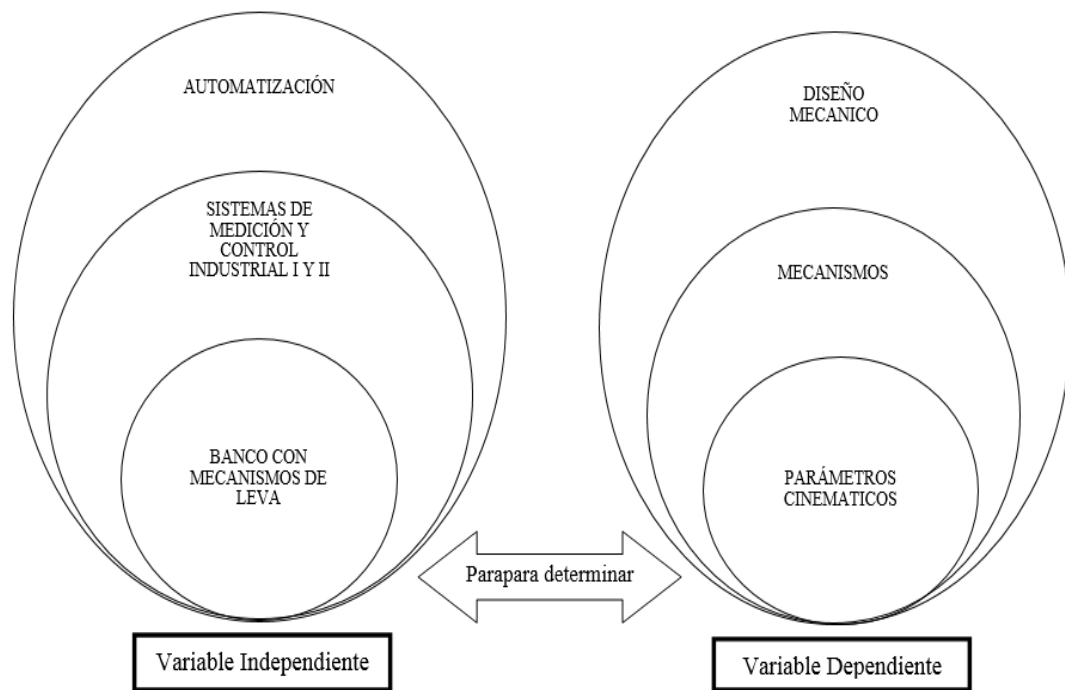


Figura 2.1 Red de categorías fundamentales

Fuente: Tannia Sailema.

2.4.1 BANCO DE PRUEBAS

Un banco de pruebas se refiere a un conjunto de elementos designados para probar un diseño.

El concepto se basa en la analogía con un banco de pruebas físico, utilizado para verificar el funcionamiento de un dispositivo. “En un banco de pruebas físico colocaremos lo que queremos probar, usualmente denominado Dispositivo Bajo Prueba (*Device Under Test* o simplemente DUT). En dicho banco de pruebas tendremos instrumentos para generar señales de entrada, también llamadas estímulos (*stimulus*) y por otro lado tendremos equipamiento para verificar las salidas de nuestro dispositivo” [1].

2.4.2 MECANISMOS DE LEVA

Un mecanismo de leva es un sistema mecánico que consiste de tres componentes; un elemento conductor llamado leva, un elemento conducido llamado seguidor y la bancada.

La referencia [2] muestra que aunque la leva y el seguidor pueden diseñarse para la generación de movimiento, trayectoria o función, la mayoría de las aplicaciones usan la leva y seguidor para la generación de función.

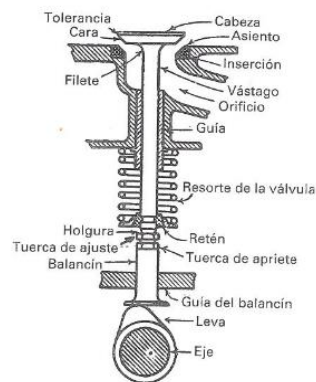


Figura 2.2 Leva generadora de función

Fuente: (Erman & Sando, 1998)

La característica más importante de una leva es que puede impartir movimientos muy diferentes a su seguidor. “De hecho, las levas sirven para obtener movimiento inusual o irregular que sería difícil o imposible conseguir con el uso de otros eslabonamientos. Como el movimiento de la leva es programable, son muy adecuadas para aplicaciones donde desplazamientos diferentes y su sincronización son de importancia fundamental” [3].

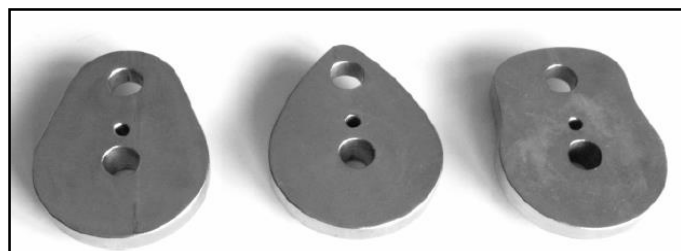


Figura 2.3 Levas

Fuente: (Avello, 2006)

2.4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS MECANISMOS DE LEVA SEGUIDOR

Mejía [4] manifiesta que la clasificación de los mecanismos de leva - seguidor puede realizarse utilizando diferentes criterios: la geometría de la leva, la geometría del seguidor, el tipo de cierre de par superior, la ley de desplazamiento, entre otros.

2.4.3.1 SEGÚN LA GEOMETRÍA DE LA LEVA

Carrizosa [5] muestra que atendiendo a su configuración física y a su forma de trabajo, las levas se clasifican en:

- **De placa o Disco**

Son el tipo de leva más simples y comunes. Este tipo de leva se moldea sobre un disco o una placa. La distancia radial a partir del centro del disco varía a lo largo de la circunferencia de la leva. Si se hace que un seguidor se mueva sobre el exterior, se proporciona al seguidor un movimiento radial.

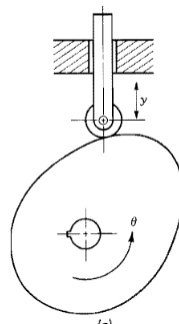


Figura 2.4 Leva de Placa

Fuente: (Carrizosas & León, 2000)

- **Traslación (bidimensionales o planas)**

Este tipo de leva se moldea sobre un bloque de translación. Se corta una ranura en el bloque con una distancia que varía desde el plano translación. Al sujetar un seguidor que se mueve en la ranura, se proporciona al seguidor un movimiento perpendicular al plano de translación.

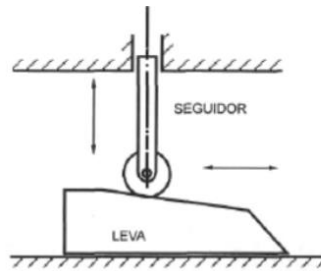


Figura 2.5 Leva de Traslación.

Fuente: (Carrizosas & León, 2000)

- **Cilíndricas (tridimensionales o espaciales)**

Esta clase de levas se moldea sobre un cilindro. Se corta una ranura en el cilindro con un desplazamiento variable a lo largo de su eje de giro. Enganchando un seguidor que se mueve en la ranura, se da al seguidor un movimiento a lo largo del eje de rotación.

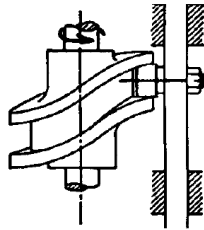


Figura 2.6 Leva Cilíndrica.

Fuente: (Carrizosas & León, 2000)

- **Cónicas**

En las levas cónicas la ranura que servirá de guía al elemento seguidor se talla sobre un elemento cónico, esta condición permite que el eje de rotación de la leva tenga cierta inclinación con respecto al eje de desplazamiento del seguidor.

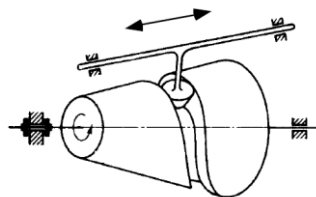


Figura 2.7 Leva Cónica

Fuente: (Carrizosas & León, 2000)

2.4.3.2 SEGÚN LA GEOMETRÍA DEL SEGUIDOR

La referencia [6] muestra que de acuerdo al tipo de seguidor que está en contacto con la leva, se clasifican en:

- **De rodillo**

Conforme la leva gira, el rodillo se mantiene en contacto con la leva y rueda sobre la superficie de esta. Es el seguidor más comúnmente usado. Sin embargo un seguidor de rodillo se podría atascar durante un desplazamiento abrupto de la leva.

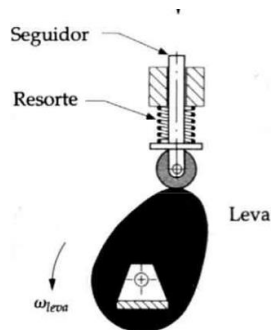


Figura 2.8 Seguidor de Rodillo.

Fuente: (Norton, 2005).

- **De cara plana**

Consiste en un seguidor formado por una superficie grande y plana de contacto con la leva. Este tipo de seguidor se utiliza con un movimiento abrupto de la leva sin que se atasque. Entonces, este tipo de seguidor causa grandes esfuerzos superficiales.

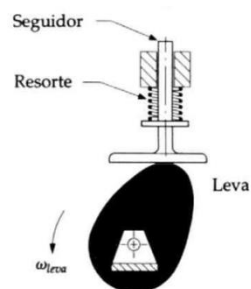


Figura 2.9 Seguidor de cara plana.

Fuente: (Norton, 2005).

- **De hongo (curva)**

Los seguidores de hongo se diseñan y fabrican sobre pedido para cada aplicación. En aplicaciones de alto volumen, como motores automotrices, las cantidades son lo suficientemente altas para garantizar un seguidor diseñado sobre pedido.

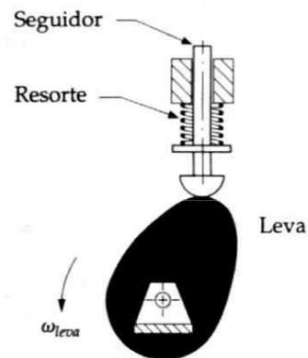


Figura 2.10 Seguidor de hongo.

Fuente: (Norton, 2005).

2.4.3.3 DE ACUERDO CON EL TIPO DE CIERRE DEL PAR SUPERIOR

- **Cierre de forma**

En este caso el seguidor está en contacto con más de una superficie a la vez, es decir, se encuentra inmerso dentro de la propia leva en una ranura o canal por donde se mueve.

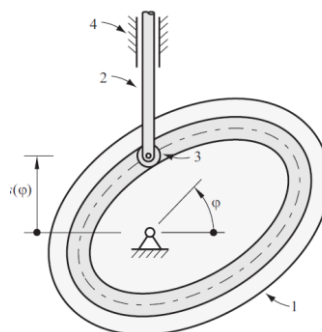


Figura 2.11 Mecanismo de leva con Rodadura

Fuente: (Norton, 2005).

Existen dos casos:

✓ **Leva de anchura**

“La leva y el seguidor tienen dos puntos de contacto proporcionados por la restricción” [7].

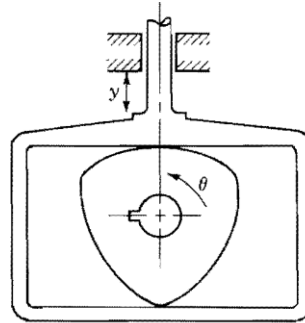


Figura 2.12 Leva de Anchura Constante con seguidor de movimiento alternativo y cara plana.

Fuente: (Shigley & Uicker, 2001).

✓ **Leva conjugada**

En la cual, además de existir una doble superficie, se tiene un doble seguidor. "No existe ranura por la que circulen los seguidores, ambos lo hacen sobre el exterior de la leva, cada uno sobre una superficie, pero de tal modo que invierten su papel activo para conseguir que el otro mantenga su contacto con el contorno por el que se mueve" [7].

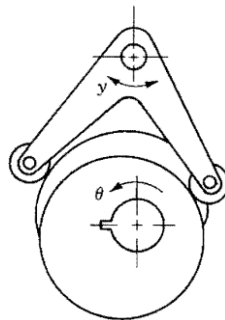


Figura 2.13 Leva Conjugada con seguidor oscilante de rodillo.

Fuente: (Shigley & Uicker, 2001).

- **Cierre de fuerza**

“Se requiere la aplicación de una fuerza externa que actúa sobre el palpador, el peso del palpador o la fuerza de un muelle” [8].

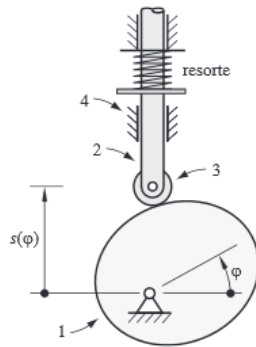


Figura 2.14 Leva con cierre de fuerza (peso o resorte).

Fuente: (Rubio H, 2010).

2.4.3.4 DE ACUERDO CON EL MOVIMIENTO DEL SEGUIDOR

- **Seguidor con movimiento de traslación**

La dirección del movimiento del seguidor con respecto al eje de rotación de la leva determina el tipo de movimiento, así se tiene seguidores:

- Radiales; el eje del seguidor pasa por el eje de rotación de la leva.
- Excéntricos; el eje del seguidor no pasa por el eje de rotación de la leva.
- Axiales; cuando el seguidor se mueve paralelo al eje de rotación de la leva.

- **Seguidor de rotación**

Presenta movimiento oscilatorio, el eje del seguidor puede ser paralelo o no al eje de la rotación de la leva.

- **Seguidor con movimiento complejo.**

El seguidor hace parte de un mecanismo.

2.4.4 SÍNTESIS DE LEVAS

La primera decisión por tomar es escoger los tipos de leva y seguidor. La aplicación específica puede dictar la combinación de la leva y seguidor.

Algunos factores que deben afectar la decisión son consideraciones geométricas: tipo de salida (rotacional o traslacional), distancia entre eje de la leva y centro de la salida oscilatoria requerida y espacio disponible para la leva y seguidor; consideraciones dinámicas: velocidad angular de leva, carga sobre la leva y seguidor, y masas que deben desplazarse y asuntos económicos: costos inicial y de mantenimiento.

Análisis de la leva

“Una vez sintetizado el perfil de leva, el diseño puede no ser aceptable por varias y distintas razones. Por ejemplo los ángulos de presión pueden ser inaceptables, el seguidor puede no ser capaz de seguir la superficie de la leva debido a condiciones locales de curvatura, puede ser requerido un resorte de retorno muy grande para mantener al seguidor en contacto con la superficie de la leva durante el ciclo” [2].

2.4.5 TIPOS DE BANCOS CON MECANISMOS DE LEVA

2.4.5.1 ANALIZADOR DE ÁRBOL DE LEVAS

Cams Make – Pro 25 es un equipo que se ocupa de la adquisición del movimiento de una leva. La leva es adquirida por puntos, en función del ángulo de rotación, que viene a coincidir con el ángulo leva.

“El software de gestión datos (“CAMS MAKE-PRO”), se ocupa de presentar el dato adquirido como gráficos y tableros exportando los datos en formato Excel, por compatibilidad con hojas de cálculo” [9].



Figura 2.15 Equipo para adquisición de perfiles de leva
Fuente: (Catálogo del Mecanismo. Empresa: SOFT-ENGINE)

2.4.5.2 MÁQUINA DE ANÁLISIS DE LEVAS

El banco consiste en una leva montada en un eje, el seguidor está unido a un carro que se ejecuta en una guía lineal de baja fricción. La masa del carro puede ser alterada por la adición de pesos adicionales. “El eje es accionado por un motor eléctrico de velocidad variable con la unidad de control electrónico. Toda la estructura está montada en una carcasa compacta con una configuración de lata y seguidor visible. Un LVDT (Transformador Diferencial Variable Lineal), se utiliza para medir el desplazamiento del seguidor. Un tacómetro digital muestra la velocidad del eje” [10].



Figura 2.16 Maquina de Análisis de levas
Fuente: (Catálogo del Mecanismo. Empresa: EdLabQuip)

2.4.5.3 MECANISMO DE LEVAS INTERCAMBIABLES

Los mecanismos de leva se utilizan en muchos campos tecnológicos, como por ejemplo en la distribución por válvulas de las máquinas de combustión interna. “Este sencillo equipo de ensayo permite demostrar rápidamente el principio de acción y puede poner de manifiesto la influencia de las diferentes formas de las levas” [11].

El seguidor de leva puede ser de rodillo, de placa plana u oscilante. La carrera se determina en base a un reloj de comparación. Un disco graduado indica el ángulo de giro correspondiente. El material didáctico, bien estructurado, representa los fundamentos y guía paso a paso por los distintos ensayos



Figura 2.17 Mecanismo de leva

Fuente: (Catálogo del Mecanismo. Empresa: GUNT HAMBURG)

2.4.6 SISTEMAS DE MEDICIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL

Sistemas de Medición

Bolton [12] explica que en general puede decirse que los sistemas de medición están formados por tres elementos:

1. Un sensor, el cual responde a la cantidad que se mide, dando como salida una señal relacionada con dicha cantidad.

2. Un acondicionador de señal, el cual toma la señal del sensor y la manipula para convertirla a una forma adecuada para su presentación visual o, como el caso de un sistema de control, para que ejerza una acción de control.
3. Un sistema de presentación visual (pantalla o display), es donde se despliega la salida producida por el acondicionador de señal.

Sistemas de control

“La determinación de la evolución de la variable de control es calculada por un controlador o regulador. El conjunto constituido por el proceso y el regulador se denomina sistema de control” [13].

2.4.7 AUTOMATIZACIÓN

“La automatización Industrial es un sistema de manufactura flexible, es de vital importancia que los dispositivos que actúan como elementos integradores del mismo, ofrezcan un nivel de seguridad que permita garantizar el desarrollo del proceso en ejecución” [14].

Daneri [15] manifiesta que los objetivos de un sistema de automatización son mejorar la eficiencia del proceso incrementando la velocidad de ejecución de las tareas, la calidad y la precisión, disminuyendo además los riesgos que se podrían tener si las mismas fuesen manuales.

Actuadores

Sánchez [16] enuncia que se entiende por accionamiento o actuador a aquel elemento o dispositivo de una máquina, encargado de suministrar energía mecánica para que ésta funcione

Tipos de actuadores:

Los actuadores, en función de la energía que transformen, los podemos clasificar en:

- Eléctricos
- Neumáticos
- Hidráulicos

Eléctricos

En estos tenemos:

- Motores de corriente alterna.
- Motores de corriente continua.
- Motores paso a paso.

Motores de corriente alterna

Vandelvira [17] manifiesta que: Son en general motores robustos, sencillos, seguros, compactos y que necesitan poco mantenimiento. Además, suelen ser más baratos que los motores de corriente continua para potencias equivalentes, se considera el motor industrial por excelencia

Los motores de corriente alterna asíncronos, tanto monofásicos como trifásicos, son los que tienen una aplicación más generalizada gracias a su facilidad de utilización, poco mantenimiento y bajo coste de fabricación. Por ello, tanto en esta unidad como en la siguiente nos centraremos en la constitución, el funcionamiento y la puesta en marcha de los motores asíncronos de inducción

Motores de Corriente Continua

Se Utilizan en casos en los que es de importancia el poder regular continuamente la velocidad del eje y en aquellos casos en los que se necesita de un toque de arranque elevado.

Además, utilizan en aquellos casos en los que es imprescindible utilizar corriente continua, como es el caso de trenes y automóviles eléctricos, motores para utilizar

en el arranque y en los controles de automóviles, motores accionados a pilas o baterías, etc.

Roldan [18] expresa que el campo (básicamente un imán o un electroimán) permite la transformación de energía eléctrica recibida por la armadura en energía mecánica entregada a través del eje. La energía eléctrica que recibe el campo se consume totalmente en la resistencia externa con la cual se regula la corriente del campo magnético. Es decir ninguna parte de la energía eléctrica recibida por el circuito del campo, es transformada en energía mecánica.

Motor paso a paso

Los motores paso a paso tienen un comportamiento del todo diferente al de los motores de corriente continua. En primer lugar, no giran libremente por sí mismos. “Los motores paso a paso, como lo indica su nombre, avanzan girando por pequeños pasos. También difieren de los motores de CC en la relación entre velocidad y torque (un parámetro que también es llamado "par motor" y "par de giro"). Los motores de CC no son buenos para ofrecer un buen torque a baja velocidad sin la ayuda de un mecanismo de reducción. Los motores paso a paso, en cambio, trabajan de manera opuesta: su mayor capacidad de torque se produce a baja velocidad” [19].



Figura 2.18 Modelos de motores paso a paso

Fuente: Empresa OSC

Los motores paso a paso tienen una característica adicional: el torque de detención ("par de detención" o incluso par/torque "de mantenimiento"), que no existe en los motores de CC. “El torque de detención hace que un motor paso a paso se mantenga

firmemente en su posición cuando no está girando” [19]. Esta característica es muy útil cuando el motor deja de moverse y, mientras está detenido, la fuerza de carga permanece aplicada a su eje, con esto se elimina la necesidad de un mecanismo de freno.

Características comunes de los motores paso a paso:

Un motor paso a paso se define por estos parámetros básicos:

Voltaje

Los motores paso a paso tienen una tensión eléctrica de trabajo. Este valor viene impreso en su carcasa o por lo menos se especifica en su hoja de datos. Algunas veces puede ser necesario aplicar un voltaje superior para lograr que un determinado motor cumpla con el torque deseado, pero esto producirá un calentamiento excesivo y/o acortará la vida útil del motor.

Resistencia eléctrica

Otra característica de un motor paso a paso es la resistencia de los bobinados. Esta resistencia determinará la corriente que consumirá el motor, y su valor afecta la curva de torque del motor y su velocidad máxima de operación.

Grados por paso

Carletti [20] expresa que el factor más importante al elegir un motor paso a paso, son los grados por paso, para un uso determinado. Este factor define la cantidad de grados que rotará el eje para cada paso completo. Una operación de medio-paso o semi-paso (half step) del motor duplicará la cantidad de pasos por revolución al reducir la cantidad de grados por paso. Cuando el valor de grados por paso no está indicado en el motor, es posible contar a mano la cantidad de pasos por vuelta, haciendo girar el motor y sintiendo por el tacto cada "diente" magnético. Los grados por paso se calculan dividiendo 360 (una vuelta completa) por la cantidad de pasos que se contaron. Las cantidades más comunes de grados por paso son: $0,72^\circ$, $1,8^\circ$, $3,6^\circ$, $7,5^\circ$, 15° y hasta 90° . A este valor de grados por paso usualmente se le llama

la resolución del motor. En el caso de que un motor no indique los grados por paso en su carcasa, pero sí la cantidad de pasos por revolución, al dividir 360 por ese valor se obtiene la cantidad de grados por paso. Un motor de 200 pasos por vuelta, por ejemplo, tendrá una resolución de $1,8^\circ$ por paso.

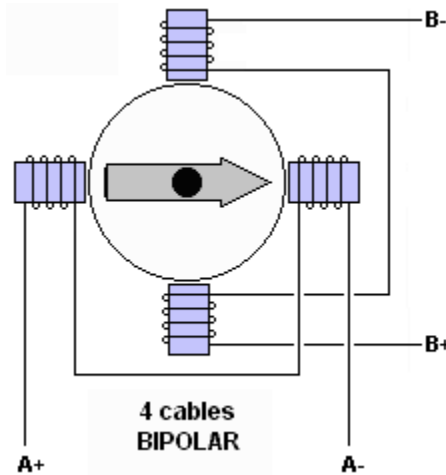


Figura 2.19 Cableado de las bobinas

Fuente: (Carletti, 2007)

2.4.8 PARÁMETROS CINEMÁTICOS

“La cinemática es la rama de la Mecánica Aplicada que estudia la geometría del movimiento sin importar las causas que lo producen y es una parte fundamental en el diseño de máquinas y de mecanismos” [21].

Movimientos de las levas

Si se le da a la leva un movimiento de rotación, este hará que el seguidor:

1. Suba a su posición más alta
2. Baje a su posición inicial.
3. Permanezca en reposo en esta última posición durante un tiempo dado, después del cual el ciclo se repite.

“El retorno del seguidor a su posición inicial se consigue por medio de alguna fuerza ajena a la leva, por ejemplo un muelle” [22]. El rodillo sirve para reducir el

rozamiento al mínimo, aunque a veces es necesario o conveniente usar un seguidor de cara plana. La parte de la cara del seguidor que entra en contacto con la leva está recubierta con una superficie endurecida para evitar el desgaste excesivo.

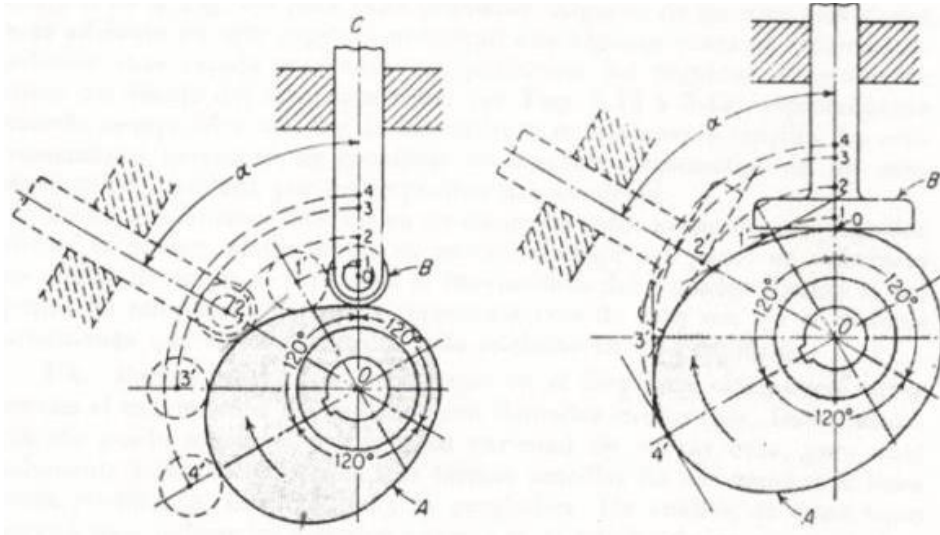


Figura 2.20 Movimiento del Mecanismo Leva-seguidor

Fuente: (Ham & Crane, 1980).

2.4.8.1 ESQUEMAS DE MOVIMIENTO DEL SEGUIDOR

Myszka [3] muestra que el objetivo en el diseño de una leva es identificar su forma adecuada. El interés principal consiste en garantizar que el seguidor logre los desplazamientos deseados. Desde luego, tales desplazamientos se describen en el diagrama de desplazamiento. La forma de la leva es simplemente el medio para obtener este movimiento.

Hay una gran variedad de esquemas de movimiento para el movimiento del seguidor. El objetivo de estos esquemas es producir el movimiento con aceleraciones suaves.

Desplazamiento

“En el trazado de un mecanismo de leva es conveniente hacer uso de un diagrama cinemático. Tal diagrama señala las especificaciones exigidas para el movimiento del seguidor en función del movimiento del órgano del motor (leva)” [22].

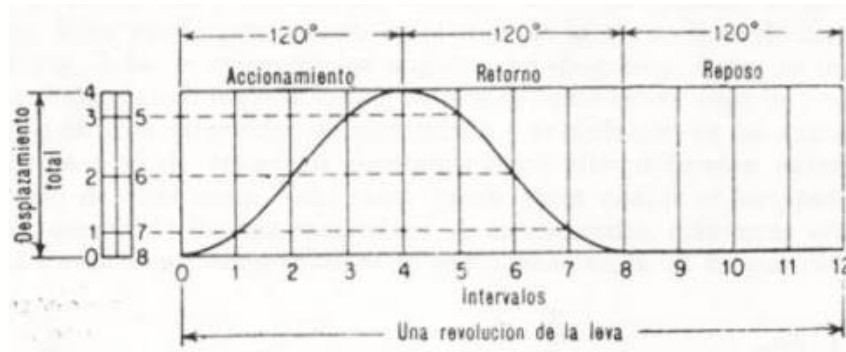


Figura 2.21 Desplazamiento de la leva.

Fuente: (Ham & Crane, 1980).

2.4.8.2 RELACIÓN CINEMÁTICA DEL MECANISMO LEVA – SEGUIDOR

Mejía [4] enuncia que la velocidad, aceleración y sobreaceleración del seguidor se determinan directamente conociendo la ley de desplazamiento del mismo junto a la velocidad, la aceleración y la sobreaceleración (sobre impulso) angular de la leva:

$$s = y(\theta) \quad (2.1)$$

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{dy}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = \frac{dy}{d\theta} \omega \quad (2.2)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2y}{d\theta^2} \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 + \frac{dy}{d\theta} \frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{d^2y}{d\theta^2} \omega^2 + \frac{dy}{d\theta} \alpha \quad (2.3)$$

$$j = \frac{da}{dt} = \frac{d^3y}{d\theta^3} \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^3 + 2 \frac{d^2y}{d\theta^2} \frac{d\theta}{dt} \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{d^2y}{d\theta^2} \frac{d\theta}{dt} \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{dy}{d\theta} \frac{d^3\theta}{dt^3}$$

$$= \frac{d^3y}{d\theta^3} \omega^3 + 3 \frac{d^2y}{d\theta^2} \omega \alpha + \frac{dy}{d\theta} \varphi \quad (2.4)$$

Donde:

s: Desplazamiento

v: Velocidad

ω : Velocidad angular

a: Aceleración

α : Aceleración angular

j : Sobreaceleración

$\theta = \theta(t)$: Ángulo de giro

2.4.8.3 TIPOS DE MOVIMIENTO

“Las levas pueden proyectarse para mover al seguidor con velocidad constante, con aceleración constante, con movimiento armónico simple, movimiento cicloidal y polinómico” [23].

a) Movimiento uniforme

“El Movimiento Uniforme es el caso más simple de movimiento que corresponde al de velocidad constante del seguidor” [21]. La gran desventaja es que en los puntos de transición ocurren discontinuidades en la velocidad y como consecuencia, aceleraciones infinitas.

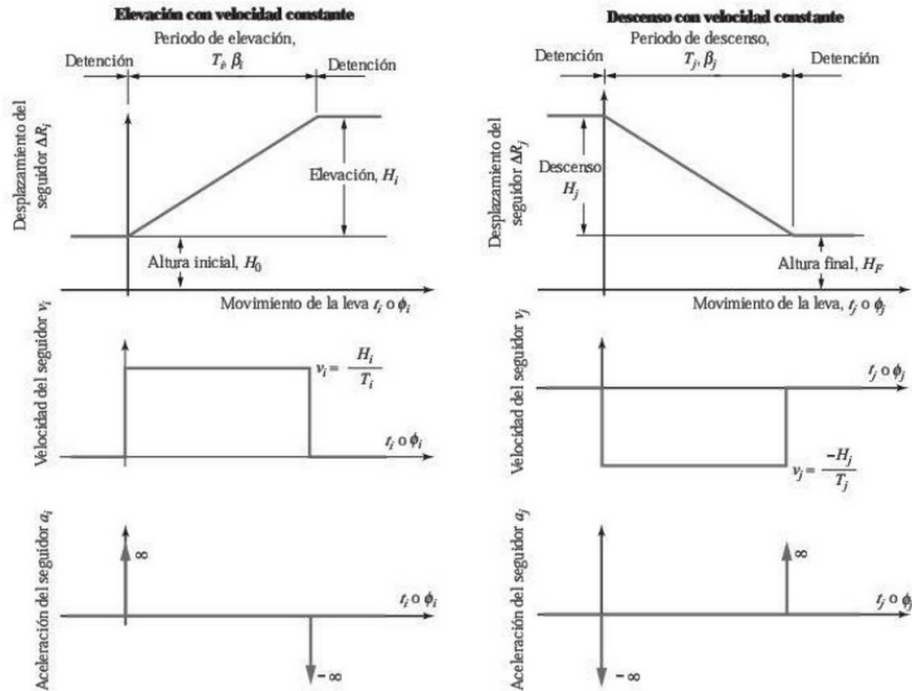


Figura 2.22 Curvas de movimiento con velocidad constante

Fuente: (Myszka, 2004)

b) Movimiento parabólico o de aceleración constante

En la primera mitad del recorrido tiene lugar un movimiento uniformemente acelerado mientras que en la segunda mitad del recorrido el movimiento es uniformemente retardado.

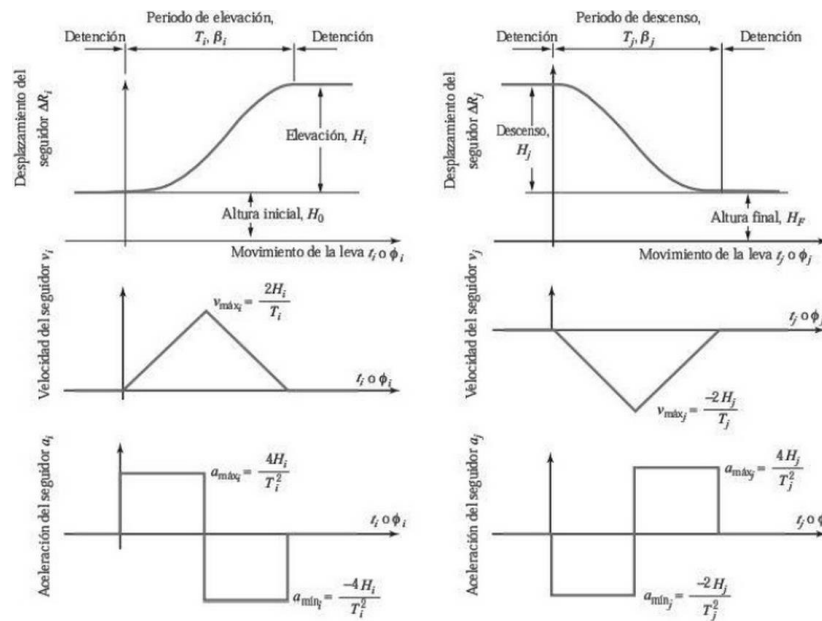


Figura 2.23 Movimiento con aceleración constante.

Fuente: (Myszka, 2004)

c) Movimiento armónico simple

“Un perfil armónico es fácilmente generado en el caso de un seguidor radial de cara plana, si se usa una leva circular excéntrica. Para una elevación L en una rotación β de la leva, las curvas de desplazamiento, velocidad, aceleración y sobreaceleración” [21].

Norton [6] manifiesta que las ecuaciones de movimiento armónico simple (MAS) para un movimiento de subida son:

$$s = \frac{h}{2} \left[1 - \cos \left(\pi \frac{\theta}{\beta} \right) \right] \quad (2.5)$$

$$v = \frac{\pi h}{\beta 2} \operatorname{sen} \left(\pi \frac{\theta}{\beta} \right)$$

$$a = \frac{\pi^2 h}{\beta^2} \cos\left(\pi \frac{\theta}{\beta}\right) \quad (2.6)$$

$$j = -\frac{\pi^3 h}{\beta^3} \sin\left(\pi \frac{\theta}{\beta}\right) \quad (2.7)$$

Donde

h : Subida total, o elevación

θ : Ángulo del árbol de levas

β : Ángulo total del intervalo de subida.

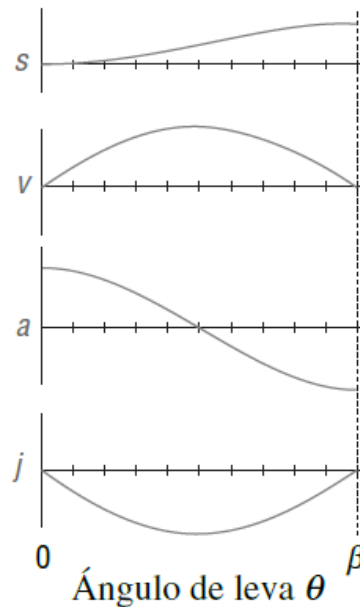


Figura 2.24 Movimiento armónico simple

Fuente: (Norton, 2009)

d) Movimiento cicloidal

“Aunque la aceleración máxima se ve más alta que en los perfiles anteriores, la sobreaceleración finita hace que el perfil cicloidal sea el mejor hasta ahora para aplicaciones de alta velocidad” [4].

Norton [6] manifiesta que la expresión para el movimiento cicloidal es:

$$s = h \left[\frac{\theta}{\beta} - \frac{1}{2\pi} \operatorname{sen} \left(2\pi \frac{\theta}{\beta} \right) \right] \quad (2.8)$$

$$v = \frac{h}{\beta} \left[1 - \cos \left(2\pi \frac{\theta}{\beta} \right) \right] \quad (2.9)$$

$$a = 2\pi \frac{h}{\beta^2} \operatorname{sen} \left(2\pi \frac{\theta}{\beta} \right) \quad (2.10)$$

$$j = 4\pi^2 \frac{h}{\beta^3} \cos \left(2\pi \frac{\theta}{\beta} \right) \quad (2.11)$$

Este tipo de movimiento tiene escaso desgaste por vibración y características de esfuerzo de todas las curvas básicas. Desde un punto de vista físico, es el movimiento de un punto sobre un disco que rueda sobre una línea recta.

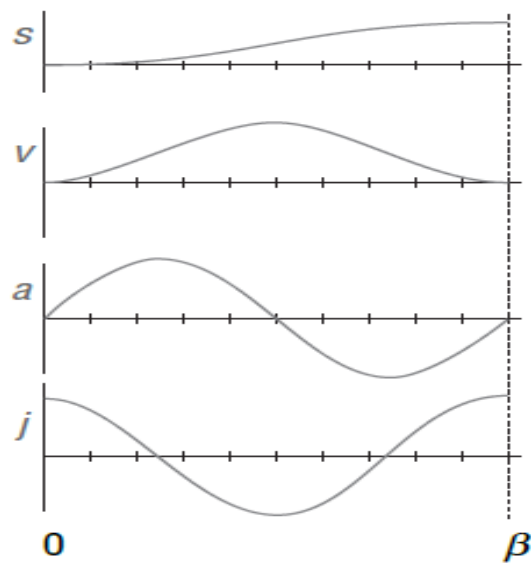


Figura 2.25 Movimiento Cicloidal

Fuente: (Norton, 2009)

e) Movimiento polinomial

Norton [6] manifiesta que la clase de funciones polinomiales es uno de los tipos más versátiles que puede utilizarse en el diseño de levas. No se limitan a

aplicaciones de detenimiento simple o doble y pueden adaptarse a muchas especificaciones de diseño.

La forma general de una función polinomial es:

$$s = C_0 + C_1x + C_2x^2 + C_3x^3 + C_4x^4 + C_5x^5 + C_6x^6 + \dots + C_nx^n \quad (2.12)$$

Donde:

s : Desplazamiento del seguidor.

x : Variable independiente, que en este caso será reemplazada por $\left(\frac{\theta}{\beta}\right)$.

C_n : Coeficientes dependen de las condiciones de frontera.

Si k representa el número de condiciones de frontera elegidos, habrá k ecuaciones en k incógnitas C_0, \dots, C_n y el grado del polinomio será $n = k - 1$. El orden del polinomio de grado n es igual al número de términos de k .

Polinomio 3-4-5

Como ejemplo de este método se supone que se tienen las siguientes condiciones de frontera para un cierto desplazamiento deseado:

$$\text{En } \theta = 0 \quad s = 0 \quad v = 0 \quad a = 0 \quad j = 0$$

$$\text{En } \theta = \beta \quad s = L \quad v = 0 \quad a = 0 \quad j = 0$$

Como se tienen 6 condiciones de frontera, entonces el polinomio será de grado 5.

$$s = C_0 + C_1\left(\frac{\theta}{\beta}\right) + C_2\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + C_3\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + C_4\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4 + C_5\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^5 \quad (2.13)$$

$$v = \frac{1}{\beta}\left(C_1 + 2C_2\left(\frac{\theta}{\beta}\right) + 3C_3\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + 4C_4\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3 + 5C_5\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^4\right) \quad (2.14)$$

$$a = \frac{1}{\beta^2}\left(2C_2 + 6C_3\left(\frac{\theta}{\beta}\right) + 12C_4\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 + 20C_5\left(\frac{\theta}{\beta}\right)^3\right) \quad (2.15)$$

Se tiene la ecuación de desplazamiento con sus respectivas derivadas y se procede a sustituir las condiciones de frontera. Se resuelve este sistema de ecuaciones y se obtiene:

$$c_0 = 0 \quad c_1 = 0 \quad c_2 = 0 \quad c_3 = 10L \quad c_4 = -15L \quad c_5 = 6L$$

Reemplazando en la ecuación (2.14), tenemos:

$$s = L \left(10 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^3 - 15 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 + 6 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 \right)$$

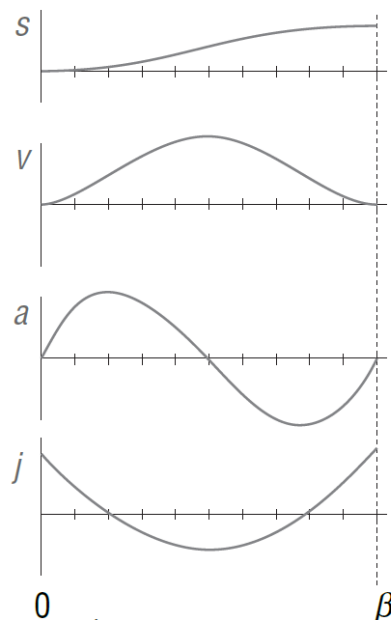


Figura 2.26 Subida polinomial 3-4-5

Fuente: (Norton, 2009)

Polinomio 4-5-6-7

Una de las principales ventajas de esta función polinomial es que se obtiene una aceleración más suave que permite controlar mejor las vibraciones. Se puede decir que a medida que se requiera de un perfil de leva más exacto la función polinomial irá aumentando de grado.

En ese caso será igual a los detenimientos en la función de golpeteo sin discontinuidades. Esto proporciona ocho condiciones de frontera y produce un polinomio de séptimo grado. Se escribe el polinomio con el número de términos apropiado, obteniendo las expresiones para todos los órdenes de condiciones de frontera. Se resuelve el sistema de ecuaciones y se obtiene:

$$y = L \left(35 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^4 - 84 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^5 + 70 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^6 - 204 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^7 \right)$$

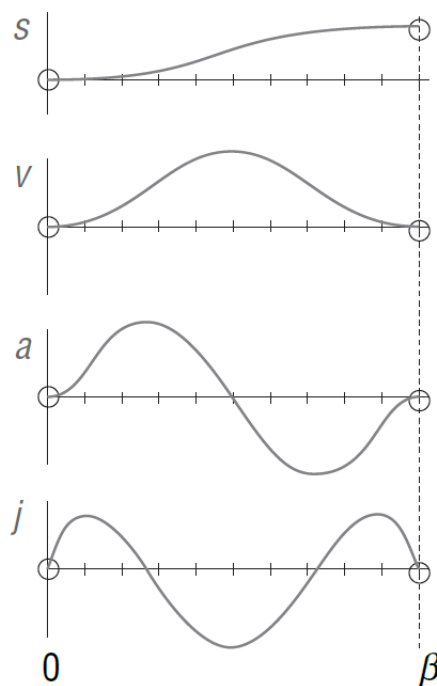


Figura 2.27 Elevación polinomial 4-5-6-7.

Fuente: (Norton, 2009)

2.4.8.4 LEVA DE DISCO CON SEGUIDOR RADIAL DE RODILLO

1. Trazado de la leva

“El primer paso para la solución consiste en dibujar la escala grafica del movimiento del seguidor sobre la trayectoria del eje del rodillo entre sus posiciones inicial 0 y final 4” [22]. Esto se puede conseguir bien trasladando las ordenadas de los puntos del diagrama cinemático, bien dibujando una semicircunferencia de 2 cm de diámetro, dividiendo en partes iguales y proyectando sobre el diámetro para

obtener las posiciones 0 a 4 mostradas sobre la línea de acción del seguidor, como se muestra en la fig. 2.28.

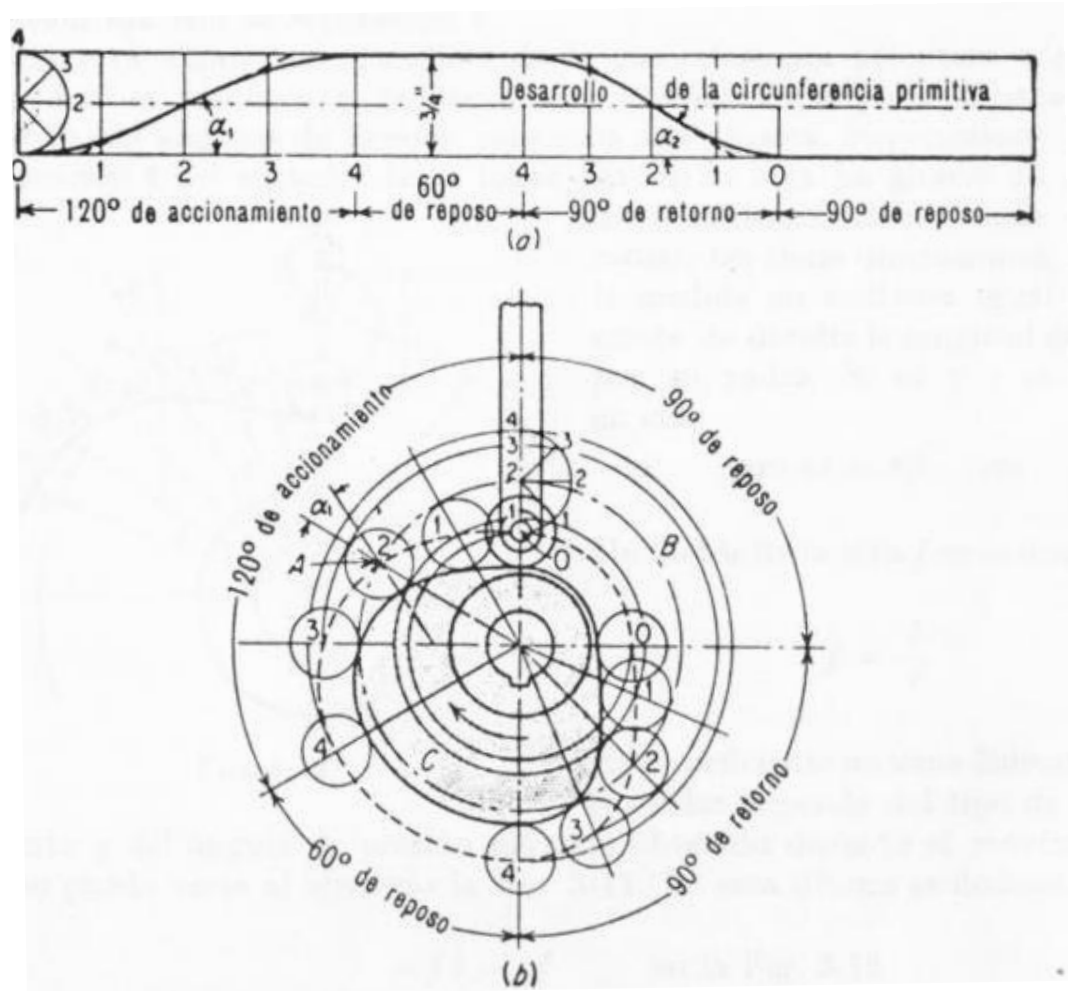


Figura 2.28 Movimiento del Seguidor

Fuente: (Ham & Crane, 1980).

2. Angulo de Presión

Para un seguidor de rodillo, el ángulo formado por la línea de acción del centro de rodillo y la normal común en el punto de contacto entre rodillo y leva es el ángulo de presión. Este ángulo indica la desviación de la dirección de la fuerza que la leva ejerce sobre el rodillo, de la del movimiento del centro de éste. Cuando mayor sea este ángulo, mayor será el esfuerzo lateral que tenderá a acuniar el vástago del seguidor en sus guías.

3. Tamaño de la leva

Para una carrera del seguidor dada, el tamaño máximo de la leva es sólo función del espacio disponible. El tamaño mínimo puede ser determinado por detalles de construcción, tales como dimensiones del árbol o el valor del ángulo de presión. El tamaño elegido debe ser lo bastante grande como para asegurar un movimiento suave del seguidor.

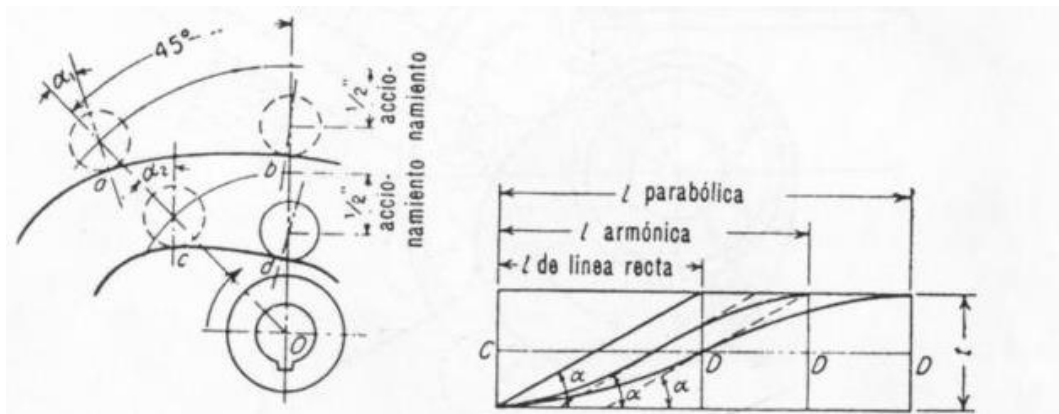


Figura 2.29 Ángulo de presión vs Tamaño de la leva.

Fuente: (Ham & Crane, 1980).

2.4.9 DISEÑO MECÁNICO

“El Diseño es un proceso innovador y altamente interactivo. También es un proceso de toma de decisiones que en ocasiones deben de tomarse con muy poca información, en otras con apenas la cantidad adecuada y en ocasiones con un exceso de información parcialmente contradictoria” [24].

Consideraciones de diseño

“Algunas veces la resistencia que requiere un elemento de un sistema significa un factor importante para determinar su geometría y dimensiones. En esa situación se dice que la resistencia es una consideración de diseño importante” [24].

Se deben considerar algunas características que influyen en el diseño del elemento o en todo el sistema. Entre las más importantes se mencionan.

- Funcionabilidad
- Resistencia/ Esfuerzo
- Distorsion / deflexion / rigidez
- Desgaste
- Costo
- Seguridad
- Confiabilidad
- Facilidad de manufactura

2.4.9.1 ESFUERZO Y RESISTENCIA

No se debe permitir que la resistencia exceda al esfuerzo por un margen suficiente, de manera que a pesar de las incertidumbres, la falla no sea frecuente. “Al enfocar la comparación esfuerzo-resistencia en un punto crítico (controlada), a menudo se busca “resistencia en la geometría y condición de uso”. Las resistencias son magnitudes de esfuerzos en los cuales ocurre algo de interés, como el límite de proporcionalidad, la fluencia desplazada 0.2 por ciento, o la fractura” [24].

La resistencia es una propiedad de un material o de un elemento mecánico. La resistencia de un elemento depende de la elección, el tratamiento y el procesamiento del material

Esfuerzos por Flexión en Vigas

El esfuerzo por flexión es directamente proporcional a la distancia y desde el eje neutro y al momento flexionante M .

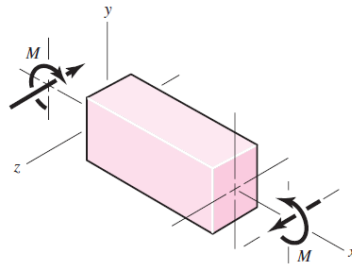


Figura 2.30 Viga recta en flexión positiva.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012).

El esfuerzo en flexión está dado por:

$$\sigma = \frac{M}{S} \quad (2.16)$$

Donde:

σ : Esfuerzo por Flexión Máximo [MPa]

M : Momento flexionante Máximo [N.m]

S : Módulo de sección [m]

Torsión

“Cualquier vector momento que sea colineal con un eje de un elemento mecánico se llama vector de par de torsión, porque el momento causa que el elemento se tuerza respecto a ese eje” [24]. Como se muestra en la figura 3-21, el par de torsión T que se aplica a una barra.

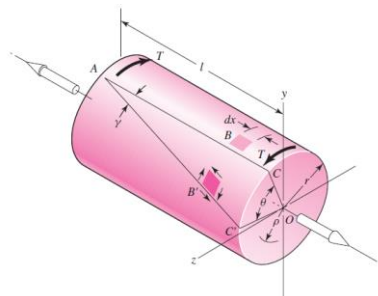


Figura 2.31 Barra sometida a torsión

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012).

A través de la sección transversal se desarrollan esfuerzos cortantes. Para un Eje de sección circular macizo:

$$\tau = \frac{16T}{\pi*d^3} \quad (2.17)$$

Donde

T : Par de torsión

d^3 : Diámetro del eje

2.4.9.2 RESISTENCIA ESTÁTICA

En forma ideal, cuando diseñamos cualquier elemento de máquina. El ingeniero debe tener a su disposición los resultados de una gran cantidad de pruebas de resistencia del material elegido. Estos ensayos deben realizarse en piezas que tengan el mismo tratamiento térmico, acabado superficial y tamaño que el elemento que se propone diseñar; además, las pruebas deben conducirse exactamente bajo las mismas condiciones de carga a que se someterá la parte en servicio.

Factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma} \quad (2.18)$$

2.4.9.3 DISEÑO POR RESISTENCIA A FATIGA

Para determinar las propiedades de los materiales que se relacionan con el diagrama esfuerzo-deformación, la carga se aplica en forma gradual, para proporcionar suficiente tiempo a fin de que la deformación se desarrolle en su totalidad.

“En diferentes casos hay que analizar elementos de máquina que ha fallado bajo la acción de esfuerzos repetidos o fluctuantes y, sin embargo, después de un cuidadoso análisis se descubre que los esfuerzos máximos reales fueron inferiores a la resistencia última del material y, muchas veces, aún menores que la resistencia de

fluencia. Sin embargo, para predecir una falla por fatiga es necesario determinar el límite de resistencia de fatiga S'_e que tiene el material” [24].

Para materiales Dúctiles (Aceros)

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Para materiales Frágiles (Hierro fundido)

$$S'_e = 0.45S_{ut} \quad S_{ut} \leq 88 \text{ Kpsi (600MPa)}$$

$$S'_e = 40 \text{ Kpsi} \quad S_{ut} > 88 \text{ Kpsi (600MPa)}$$

Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

Por lo tanto, la ecuación de Marin se escribe:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \tag{2.19}$$

Donde

S_e : Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

k_a : Factor de modificación de la condición superficial

k_b : Factor de modificación del tamaño

k_c : Factor de modificación de la carga

k_d : Factor de modificación de la temperatura

k_e : Factor de confiabilidad¹³

k_f : Factor de modificación de efectos varios

S'_e : Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

2.4.9.4 COJINETES DE RODAMIENTO

Son aquellos en los que la carga principal se transmite a través de elementos en contacto de rodadura y no de deslizamiento. “Los cojinetes se fabrican para soportar cargas radiales puras, cargas de empuje puras o una combinación de ellas” [24].

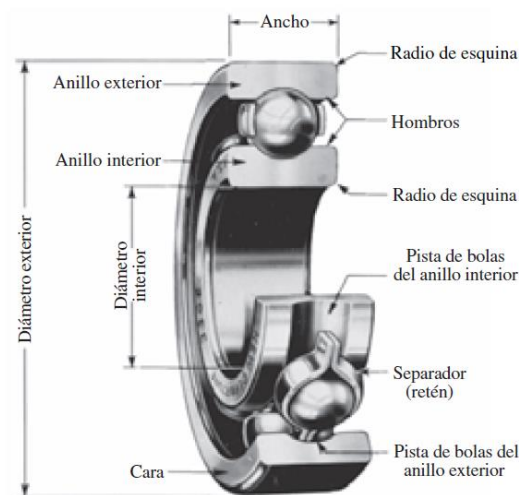


Figura 2.32 Nomenclatura de un cojinete de bolas.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012).

Tipos de Rodamientos

- Rodamientos rígidos de bolas
- Rodamientos de una hilera de bolas con contacto angular
- Rodamientos de agujas
- Rodamientos de rodillos cónicos
- Rodamientos de rodillos cilíndricos de empuje
- Rodamientos axiales de rodillos a rótula
- Rodamientos de bolas a rótula
- Rodamientos de rodillos a rótula
- Rodamientos axiales de bolas de simple efecto

2.5 HIPÓTESIS

El banco con mecanismo de leva – seguidor permitirá determinar los parámetros cinemáticos en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Banco con Mecanismos de leva - seguidor.

2.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Parámetros cinemáticos en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

2.6.3 TÉRMINO DE RELACIÓN

Permitirá.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 MODALIDADES BÁSICAS DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó basadas en las siguientes modalidades de investigación.

BIBLIOGRÁFICA: Ya que toda la información necesaria para desarrollar la investigación se obtuvo de libros, catálogos, revistas, páginas web, acerca de cada equipo para análisis de levas, con los cuales se pudo conocer precios, enfoques, conceptualizaciones y criterios de diseño, esto con la finalidad de tener las herramientas apropiadas para el diseño del mecanismo.

EXPERIMENTAL: Se empleó debido a que la investigación requiere analizar y evaluar los resultados obtenidos, mediante las gráficas de los parámetros cinemáticos del mecanismo leva -seguidor y el uso de las variables para demostración de la hipótesis.

3.2 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para esta investigación se utilizará los siguientes tipos de investigación:

EXPLORATORIO: La presente investigación alcanzó el nivel exploratorio pues se buscaron variables de interés investigativo como son los distintos Bancos con Mecanismos de Levas, además se investigaron todos y cada uno de los detalles del proyecto, tanto en su diseño como su funcionamiento.

DESCRIPTIVO: Es descriptivo porque se describieron los argumentos necesarios para el estudio de bancos con mecanismos de levas y determinar los parámetros cinemáticos.

EXPLICATIVO: Ya que se comprobó los resultados obtenidos mediante la demostración de la hipótesis y se identificaron los diversos factores que determinan el comportamiento del mecanismo de leva - seguidor.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Debido a que el proyecto es netamente técnico no se requiere de ninguna población, por tanto la muestra es nula.

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Estudio de bancos con Mecanismos de leva.

Tabla 3.1 Operacionalización de la variable independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Un banco es equipo que se emplea para realizar pruebas para comprobar teorías.	Banco	¿Qué tipos de bancos existen para el análisis de levas?	-Máquina para análisis de levas con resorte. -Analizador de Árbol de levas - Mecanismo de levas intercambiables.	-Catálogo -Tabla de Ponderación -Internet
	Pruebas	¿Qué tipo de pruebas se pueden realizar?	-Comprobación del perfil de la leva. -Comparación con los procedimientos gráficos o analíticos -Problema de despegue de levas	-Bibliográfica -Internet
Un mecanismo de leva es un sistema mecánico que transforma un movimiento en otro.	Movimiento	¿Qué tipos de movimiento proporciona el sistema?	- Movimiento lineal alternativo -Movimiento Oscilante. -Movimiento Combinado	-Catálogos -Bibliográfica

Fuente: Tannia Sailema.

3.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Parámetros cinemáticos en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Tabla 3.2 Operacionalización de la variable dependiente.

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Los parámetros cinemáticos son variables que nos permiten estudiar la geometría del movimiento del mecanismo.	Parámetros cinemáticos	¿Qué parámetros permitirán comprender el movimiento?	-Desplazamiento lineal -Velocidad lineal -Aceleración -sobreadceleracion -Tiempo -Ángulo de leva	-Catálogos -Bibliografía -Internet
		¿Qué tipo de instrumentos se utilizan para adquirir datos?	-Manual -Pluma -Reloj de comparación -Sensores	-Internet -Catálogos -Tabla de ponderación

Fuente: Tannia Sailema

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

En la recolección de datos se utilizarán las siguientes herramientas:

- Catálogos de los bancos con mecanismos de levas, los cuales servirán podrá obtener información de diferentes tipos de bancos con sus características lo que ayudará a seleccionar la más adecuada para el estudio.

- Bibliografías de diversos libros y páginas de internet, para obtener toda la información necesaria para realizar el estudio.
- Estudios anteriores sobre el análisis de levas.

3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

- Revisión crítica y Análisis de la información obtenida en la investigación, mediante los objetivos propuestos.
- Análisis de los resultados mediante una tabla de ponderación de los diferentes tipos de bancos con mecanismo de leva-, con el fin de elegir la más conveniente.
- La interpretación de los resultados de los mecanismos de leva, se realizará con el apoyo del marco teórico para una mayor comprensión.
- La comprobación de la hipótesis se hará un análisis de un sistema que permita obtener los datos del perfil de la leva.
- Tabulación de la información según la hipótesis planteada.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

De acuerdo con la investigación bibliográfica se realizó un análisis de la información obtenida mediante revistas técnicas, catálogos y páginas web, de las diversas alternativas de selección, la cual permitió optar por tres alternativas principales, con el propósito de seleccionar el banco con mecanismo leva- seguidor adecuado para la Facultad.

4.1.1 PARÁMETROS PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Dado que existen varios criterios que hay que considerar al seleccionar la alternativa adecuada al problema, se debe establecer las más importantes como son: La factibilidad de fabricación, tamaño adecuado, material, precio de adquisición o fabricación, adquisición de datos, entre otros.

A continuación se describen los parámetros más relevantes para la selección del equipo.

- Costo
- Factibilidad de fabricación
- Adquisición de datos
- Tamaño
- Mantenimiento

4.1.2 ESTUDIO DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE BANCOS CON MECANISMOS LEVA-SEGUIDOR

4.1.2.1 ALTERNATIVA 1: ANALIZADOR DE ÁRBOL DE LEVAS

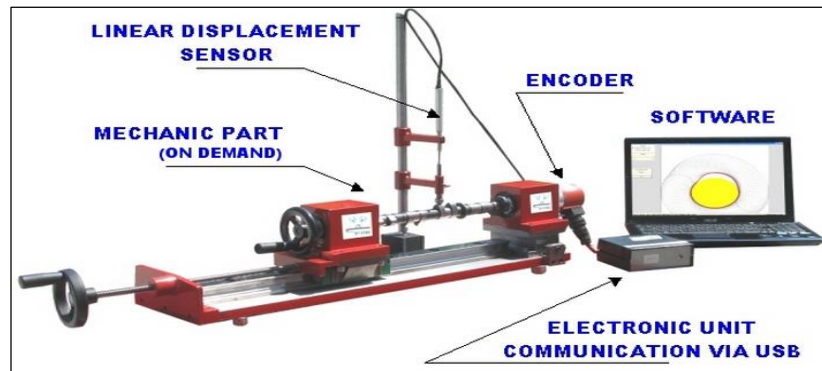


Figura 4.1 Analizador de árbol de levas

Fuente: (Empresa SOFT-ENGINE: Cams Make-Prof 25)

VENTAJAS

- Representa los datos adquiridos con gráficos y tableros.
- Puede realizar el análisis de varias levas.
- Calcula la velocidad, aceleración y tamaño de salto.
- Grafica el perfil de la leva y sus datos constructivos, en coordenadas cartesianas y polares
- El software tiene gran versatilidad y es muy potente en el análisis de los datos.
- Exporta los datos en formato Excel, por compatibilidad con hojas de cálculo.
- Exportar el perfil en DXF, (compatibilidad con máquinas para desbastar y software DAC).
- Puede avanzar y retardar los datos de leva después de que se ha medido.

- Realiza comparaciones entre dos levas para ver si su forma particular ha cambiado después de correr en el motor.

DESVENTAJAS

- La rotación del eje es manualmente, por lo que su velocidad varía constantemente.
- Costo elevado para su adquisición

4.1.2.2 ALTERNATIVA 2: MÁQUINA DE ANÁLISIS DE LEVAS



Figura 4.2 Analizador de levas

Fuente: (Empresa EdLabQuip: Education - Laboratories - Equipment)

VENTAJAS

- El Equipo posee una serie de levas, seguidores, pesos y las herramientas necesarias.
- El seguidor está unido a un carro que se mueve sobre una guía lineal de baja fricción. La masa carro puede ser alterada por la adición de pesos adicionales.

- El Mecanismo permite varias opciones de informes y gráficas para el análisis.
- Posee motor eléctrico de velocidad variable con unidad de control electrónico.

DESVENTAJAS

- Requiere gran espacio.
- Elevado costo de adquisición

4.1.2.3 ALTERNATIVA 3: MECANISMO DE LEVAS INTERCAMBIABLES



Figura 4.3 Mecanismo leva-seguidor

Fuente: (Empresa GUNT HAMBURG: Equipment for Engineering Education)

VENTAJAS

- Las levas y rodillos se pueden cambiar fácilmente, sin herramientas.
- Permite realizar rápidamente la práctica del principio de acción y la influencia de las diferentes formas de levas en sus curvas de desplazamiento.
- Representa las gráficas de los parámetros cinemáticos como velocidad, aceleración y sobreaceleración.
- Bajo costo.

- Transporta las tablas de datos a un archivo de Excel.
- Fácil de trasladar.
- Ocupa poco espacio.
- Posee cuatro tipos de levas y dos tipos de seguidores.

Desventajas

- No dispone de muchos elementos que lo complemente.
- No es aplicable para levas excéntricas.

4.2 INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

4.2.1 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ADECUADA

Método ordinal corregido de criterios ponderados

Riba [25] recomienda el método ordinal corregido de criterios ponderados que, sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados globales suficientemente significativos.

Se basa en unas tablas donde cada criterio se confronta con los restantes criterios y se asignan los valores siguientes:

***Tabla 4.1** Valores para tabulación de ponderaciones*

1	Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; >) que el de las columnas
0.5	Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente (=) al de las columnas
0	Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; <) que el de las columnas

Fuente: (RIBA, 2002)

Luego, para cada criterio, se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio.

Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio.

4.2.2 VALORACIÓN DE PÁRAMETROS PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Tabla 4.2 Valoración de los parámetros para cada criterio

<i>Costo > Factibilidad de fabricación > Adquisición de datos > Tamaño = Mantenimiento</i>							
Criterio	Costo	Factibilidad de fabricación	Adquisición de datos	Tamaño	Mantenimiento	$\Sigma + 1$	Ponderado
Costo		1	1	1	1	5	0,33
Factibilidad de fabricación	0		1	1	1	4	0,27
Adquisición de datos	0	0		1	1	3	0,20
Tamaño	0	0	0		0,5	1,5	0,10
Manejo	0	0	0	0,5		1,5	0,10
					SUMA TOTAL	15	1,00

Fuente: Tannia Sailema

4.2.2.1 COSTO

Representa un aspecto muy importante al momento de seleccionar una alternativa, puesto que debe ser accesible económicamente y tener un precio moderado, sin dejar de lado la eficiencia y la estética del equipo.

Alternativa 1: Este equipo tiene un elevado costo debido a que cuenta con un captador de desplazamiento lineal y encoder de alta definición, el precio es de \$2894 dólares.

Alternativa 2: Su costo es demasiado elevado debido a que es un equipo completo de análisis dinámico de leva. Tiene un valor aproximado de \$13017

Alternativa 3: Debido al que el equipo no es complejo su costo es menor que lo anteriores, tiene un costo aproximado de \$1000 dólares.

Tabla 4.3 Criterio Costo

<i>Alternativa 3 > Alternativa 1 > Alternativa 2</i>					
Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Alternativa 1		1	0	2	0,33
Alternativa 2	0		0	1	0,17
Alternativa 3	1	1		3	0,50
			SUMA TOTAL	6	1

Fuente: Tannia Sailema

4.2.2.2 FACTIBILIDAD DE FABRICACIÓN

Esto implica que el banco debe ser didáctica y de fácil construcción. Además los materiales que lo constituyen deben poder ser construidos con tecnología nacional y con materiales disponibles en el mercado local y de fácil acceso

Alternativa 1:

El equipo es más complejo, y se necesita de mayor precisión. Además posee una unidad de adquisición de datos USB que no se encuentra en el mercado nacional.

Alternativa 2:

Debido a su tamaño su complejidad también aumenta. Además posee un carro vertical en el que se mueve el seguidor y con ese componente su costo es elevado.

Alternativa 3:

Los materiales utilizados en el equipo son fáciles de conseguir en el mercado local, y su manufactura no es compleja.

Tabla 4.4 Criterio Factibilidad de fabricación

<i>Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1</i>					
Factibilidad de fabricación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Alternativa 1		0	0	1	0,17
Alternativa 2	1		0	2	0,33
Alternativa 3	1	1		3	0,50
			SUMA TOTAL	6	1

Fuente: Tannia Sailema

4.2.2.3 ADQUISICIÓN DE DATOS

Es muy importante que los resultados sean los más precisos. Se debe tener en cuenta no solamente la estructura del equipo sino también la tecnología utilizada para obtener los datos. Puesto que de los datos obtenidos dependerá el funcionamiento del equipo.

Alternativa 1:

El equipo posee un software avanzado, el cual está destinado para el análisis del árbol de levas en un motor.

Los resultados obtenidos por este software son muy detallados para cada perfil de leva, además realiza la comparación entre todas las levas que se encuentren en el árbol. Además se lo puede utilizar en cualquier ordenador ya sea Windows 98, XP, Vista, Windows 7, Windows 8.

Alternativa 2:

Los datos los adquiere mediante un sistema LVDT el cual incluye con la compra del equipo. Es un dispositivo de sensado de posición que puede medir hasta movimientos de unas pocas millonésimas partes de pulgada. El software es compatible con cualquier ordenador.

Alternativa 3:

La adquisición d datos se lo realiza mediante un reloj comparador que nos indica el desplazamiento que realiza el seguidor en un determinado ángulo de giro de leva. Podemos automatizarlo para adquirir los datos mediante una interfaz gráfica y tabla de datos.

Tabla 4.5 Criterio Adquisición de datos

<i>Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3</i>					
Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Alternativa 1		1	1	3	0,50
Alternativa 2	0		1	2	0,33
Alternativa 3	0	0		1	0,17
SUMA TOTAL				6	1

Fuente: Tannia Sailema

4.2.2.4 TAMAÑO

Este criterio implica las dimensiones del equipo, tiene que ser de fácil movilidad y traslado. Se debe tener en cuenta que el tamaño del equipo debe estar acorde con el espacio disponible en el laboratorio de la Facultad. Esto dependerá del diseño de cada equipo.

Alternativa 1:

Las dimensiones del equipo son aproximadamente de 1900x800x1200mm, lo que representa un mayor espacio en el laboratorio.

Alternativa 2:

El tamaño del equipo es sumamente grande, debido a lo cual no va a permitir trasladarse hacia otros sitios del laboratorio. Además de su elevado peso ocupa mucho espacio del laboratorio.

Alternativa 3:

Las dimensiones del equipo son 160 x 160 x 260 mm, de acuerdo al catálogo del mismo. Su tamaño es menor que el de los anteriores y acorde con el espacio que dispone el laboratorio.

Tabla 4.6 Criterio Tamaño

<i>Alternativa 3 > Alternativa 1 > Alternativa 2</i>					
Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Alternativa 1		1	0	2	0,33
Alternativa 2	0		0	1	0,17
Alternativa 3	1	1		3	0,50
SUMA TOTAL				6	1

Fuente: Tannia Sailema

4.2.2.5 MANTENIMIENTO

El mantenimiento es vital para prolongar su vida útil del equipo. La alternativa seleccionada deberá presentar componentes que sean factibles de recibir un mantenimiento y que exista la posibilidad de repararlos o reemplazarlos.

Alternativa 1:

Este equipo necesitara de un mantenimiento regular, ya que posee unos rieles que se deben mantener lubricados.

Alternativa 2:

El equipo necesita de un mantenimiento preventivo de su carro vertical que le sirve de guía al seguidor, y de los diferentes elementos que lo componen.

Alternativa 3:

Debido a que el equipo es sencillo su mantenimiento será fácil de realizar.

Tabla 4.7 Criterio Mantenimiento

<i>Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1</i>					
Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma + 1$	Ponderado
Alternativa 1		0,5	0	1,5	0,25
Alternativa 2	0,5		0	1,5	0,25
Alternativa 3	1	1		3	0,50
SUMA TOTAL				6	1

Fuente: Tannia Sailema

4.2.2.6 SUMATORIA DE LA VALORACIÓN DE PARÁMETROS

En la tabla se recopila la información de las tablas anteriores y se realiza el análisis para encontrar la mejor opción acorde a las necesidades.

Tabla 4.8 Sumatoria de la valoración de parámetros

Parámetro	Costo	Factibilidad de fabricación	Adquisición de datos	Tamaño	Mantenimiento	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,11	0,04	0,10	0,03	0,03	0,31	3
Alternativa 2	0,06	0,09	0,07	0,02	0,03	0,25	2
Alternativa 3	0,17	0,13	0,03	0,05	0,05	0,43	1

Fuente: Tannia Sailema

Del análisis expuesto en la ponderación, tomando en cuenta los criterios más relevantes y luego de haber obtenido los puntajes de cada tipo de banco, se optó por seleccionar el Mecanismo de levas intercambiables, ya que el banco satisface las necesidades acorde con la investigación. Además su espacio reducido.

4.2.2.7 DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

El mecanismo de levas intercambiables es un equipo sencillo que puede ser controlado a través de un software, el cual me permita visualizar las gráficas del desplazamiento, la velocidad, aceleración y sobre-aceleración, de 4 levas diferentes y dos tipos de seguidores; de rodillo y de cara plana.

El dimensionamiento del banco es acorde para el análisis cinemático de levas, el motor a pasos es el indicado para precisar el movimiento de giro y mediante la tarjeta de adquisición de datos identificar el desplazamiento del mecanismo.

4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En la investigación realizada se obtuvo varias alternativas para la selección del banco adecuado con mecanismos de levas para determinar los parámetros cinemáticos en los laboratorios de la Facultad. La verificación de la hipótesis se basó en la selección de banco en el cual dio como resultado el banco de levas intercambiables, debido a que sus especificaciones y componentes son los más apropiados a las necesidades requeridas para determinar los parámetros cinemáticos que se obtienen mediante el software utilizado. Mediante el banco se podrá verificar los datos de las gráficas de desplazamiento, velocidad y aceleración.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Mediante catálogos y fuentes bibliográficas se ha realizado el estudio de bancos con mecanismos de levas, estableciendo las características y especificaciones técnicas de cada uno de ellos. Cada equipo posee diferente sistema de adquisición de datos, pero todos determinan los parámetros cinemáticos del mecanismo, los cuales son velocidad, aceleración y sobreaceleración.
- Los elementos que contienen los bancos con mecanismos leva – seguidor son diferentes para cada tipo, siendo los principales; la leva, el seguidor y un bastidor o bancada que sirva de apoyo para el mecanismo.
- Tomando en cuenta todos los parámetros relevantes tales como el costo, factibilidad de fabricación, adquisición de datos, se pudo seleccionar el modelo para el diseño del Banco con Mecanismo leva – seguidor, que a pesar que no dispone de un sistema avanzado que adquisición de datos podemos incorporarle un programa de control para mejorar la visualización de los datos.
- Al analizar las diferentes alternativas de bancos con mecanismos de levas se realizó la ponderación, donde se realizó la comparación entre los diferentes tipos y se concluye que la mejor opción para el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica es el banco con levas intercambiables, ya que es fácil de fabricar, debido a que ocupa poco espacio y la adquisición de datos se los toma en tiempo real.

5.2 RECOMENDACIONES

- Al seleccionar la alternativa debemos tomar en consideración los materiales para su elaboración, que existan en el mercado nacional, por ahorro de tiempo, debido al tiempo de espera que la empresa extranjera nos proporciona.
- Se debe considerar en material para la elaboración de las levas, ya que es un aspecto importante al momento del análisis. Si es un material más suave el desplazamiento se podrá visualizar con escasos errores en el controlador del programa.
- Se debe seleccionar el equipo que esté acorde con las dimensiones que se disponen en el laboratorio. Debido a la disponibilidad de espacio en el mismo.
- Se debe tomar en cuenta la velocidad a la que debe trabajar el equipo para que la visualización de las gráficas sean más precisas.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS

TEMA

Diseño y construcción de un banco con mecanismo de leva - seguidor para determinar parámetros cinemáticos, en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

PERSONAL EJECUTORIO

- Tutor: Ing. MSc. Juan Correa
- Ejecutor: Egd. Tannia Sailema

UBICACIÓN

- Institución: Universidad Técnica de Ambato
- Facultad: Ingeniería Civil Y Mecánica
- Carrera: Ingeniería Mecánica

BENEFICIARIO

- Facultad: Ingeniería Civil Y Mecánica
- Carrera: Ingeniería Mecánica

TÉCNICO RESPONSABLE

Tannia Alexandra Sailema Hurtado, egresada de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

El banco de levas permitirá la adquisición de datos cinemáticos del movimiento de la leva durante un periodo determinado, los parámetros que controla el equipo son el desplazamiento, velocidad y aceleración del movimiento que proporciona el mecanismo de la leva.

Para el desarrollo del diseño y construcción de un banco con mecanismos de levas, se realizó una investigación bibliográfica, en busca de la existencia de proyectos similares, al carecer de una investigación previa sobre el diseño y construcción del banco, se ha realizado el análisis de ponderación, obteniendo la más adecuada para los laboratorios de la facultad entre los diferentes modelos existentes en el mercado.

6.3 JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto es elaborado para adquirir los parámetros cinemáticos de los mecanismos de levas en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, mediante el diseño de un banco con mecanismos de levas.

El diseño del banco se debe a la necesidad que tiene la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de adquirir un material didáctico para los estudiantes de Ingeniería Mecánica.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un banco con mecanismo leva – seguidor para determinar los parámetros cinemáticos del sistema.

6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características principales del banco.
- Seleccionar los elementos y sistemas de control que permiten el buen funcionamiento del banco.
- Realizar pruebas de funcionamiento del equipo.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

La propuesta se puede llevar a efecto debido a que se dispone de la información necesaria para el diseño y construcción del banco seleccionado.

Los materiales utilizados para la construcción del banco fueron de fácil accesibilidad en el mercado nacional, por lo que la propuesta se torna factible.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

6.6.1 DIMENSIONES DEL BANCO CON MECANISMO LEVA-SEGUIDOR SELECCIONADO

Teniendo en cuenta las dimensiones del laboratorio se ha dispuesto las siguientes medidas:

Tabla 6.1 Dimensiones del Banco con mecanismo de leva – seguidor.

Denominación	Medida	Unidades
Alto total	0.425	(m)
Ancho total	0.449	(m)

Fuente: Autor

6.6.2 ESQUEMA DEL BANCO

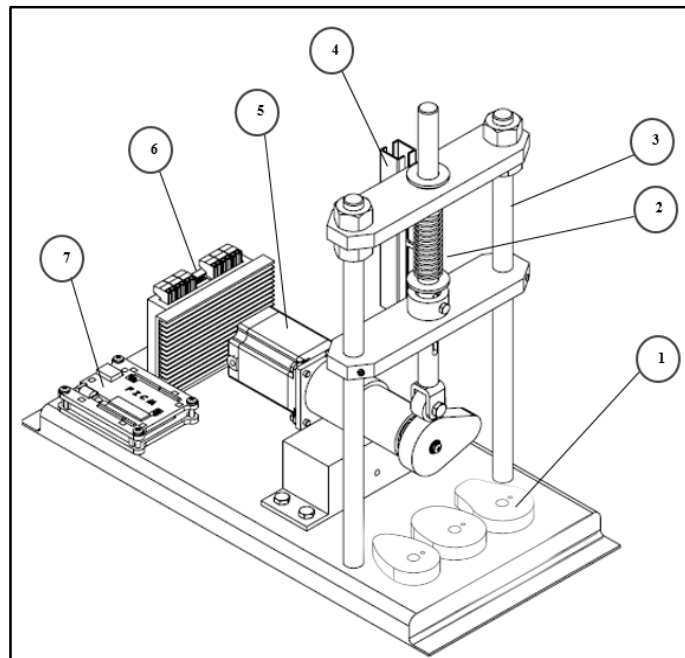


Figura 6.1 Partes del banco con mecanismo leva - seguidor.

Fuente: Tannia Sailema

1. Levas Intercambiables
2. Muelle
3. Columna
4. Soporte del Potenciómetro
5. Motor paso a paso
6. Driver motor PAP
7. Tarjeta Arduino UNO

6.6.3 SELECCIÓN DEL MOTOR

Para el funcionamiento del mecanismo de levas, el motor a seleccionar debe ser un motor a pasos, debido a su alta precisión y su velocidad constante.

Para la selección del motor a pasos debemos calcular el movimiento con la carga máxima:

$$W_R = w_1 + (w_2 + F_r) + F_R \quad (6.1)$$

Donde:

W_R : Carga total aplicada. [N]

w_1 : Peso del mecanismo seguidor. [N]

w_2 : Peso de la barra del seguidor. [N]

F_r : Fuerza de rozamiento entre materiales. [N]

F_R : Fuerza aplicada del resorte. [N]

Cálculo de la fuerza de rozamiento F_r

$$F_r = w_2 * \mu_k \quad (6.2)$$

Donde:

μ_k : Coeficiente de fricción.

$\mu_k = 0.22$ Anexo B1

$$F_r = 394,25 * 0.22$$

$$F_r = 86.74 \text{ gr. [0.85 N]}$$

Cálculo de la fuerza aplicada del resorte

$$F_R = k * x \quad (6.3)$$

Donde:

k : Constante del resorte. $\left[\frac{N}{m}\right]$

x : Deformación del resorte. [m]

$$k = \frac{Gd^4}{8D^3N} \quad (6.4)$$

Donde:

G : Módulo de elasticidad transversal del alambre del resorte. [GPa]

d : Diámetro del alambre. [m]

D : Diámetro medio del resorte. [m]

N : Número de espiras del resorte. (15)

Tabla 6.2 Módulo de Cizallamiento del material del resorte

Material	Límite elástico, porcentaje de $S_{u,t}$, tensión, torsión		Diámetro d , pulg	E		G	
				Mpsi	GPa	Mpsi	GPa
Alambre de piano A228	65-75	45-60	<0.032	29.5	203.4	12.0	82.7
			0.033-0.063	29.0	200	11.85	81.7
			0.064-0.125	28.5	196.5	11.75	81.0
			>0.125	28.0	193	11.6	80.0
Resorte estrado duro A227	60-70	45-55	<0.032	28.8	198.6	11.7	80.7
			0.033-0.063	28.7	197.9	11.6	80.0
			0.064-0.125	28.6	197.2	11.5	79.3
			>0.125	28.5	196.5	11.4	78.6
Templado en aceite A239	85-90	45-50		28.5	196.5	11.2	77.2
Resorte de válvula A230	85-90	50-60		29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo vanadio A231	88-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
			A232	29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo silicio A401	85-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
Acero inoxidable							
A313*	65-75	45-55		28	193	10	69.0
17-7PH	75-80	55-60		29.5	208.4	11	75.8
414	65-70	42-55		29	200	11.2	77.2
420	65-75	45-55		29	200	11.2	77.2
431	72-76	50-55		30	206	11.5	79.3
Bronce fosforado B159	75-80	45-50		15	103.4	6	41.4
Cobre al berilio B197	70	50		17	117.2	6.5	44.8
	75	50-55		19	131	7.3	50.3
Aleación Inconel X-750	65-70	40-45		31	213.7	11.2	77.2

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012).

$$k = \frac{(80 \times 10^9)(0.0015)^4}{8(0.0185)^3 15}$$

$$k = 533.038 \frac{N}{m}$$

$$F_R = (533.038)(0.0254)$$

$$F_R = 13.54 N$$

$$W_R = 0.772 + (3.864 + 0.85) + 13.54$$

$$W_R = 19.03 \text{ N}$$

6.6.3.1 CÁLCULO DEL MOMENTO TORSOR

Análisis del momento torsor que actúa sobre la leva cuando el seguidor se encuentra en su posición más baja.

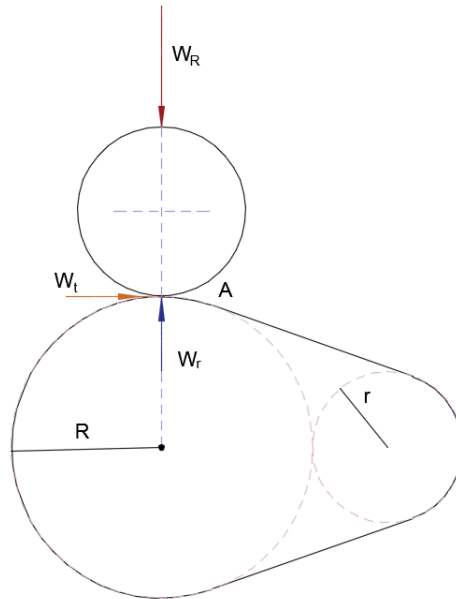


Figura 6.2 Diagrama de cuerpo libre en el punto A

Fuente: Tannia Sailema

Donde:

W_r : Fuerza Normal. [N]

W_t : Fuerza Tangencial. [N]

R : Radio Base. [cm]

$$\sum F_y = 0$$

$$W_R = W_r$$

$$\sum F_x = 0$$

$$W_t = 0$$

$$\sum T = F * d$$

$$T = 0 * R$$

$$T = 0$$

Análisis del momento torsor que actúa sobre la leva cuando el seguidor se encuentra en su posición más alta.

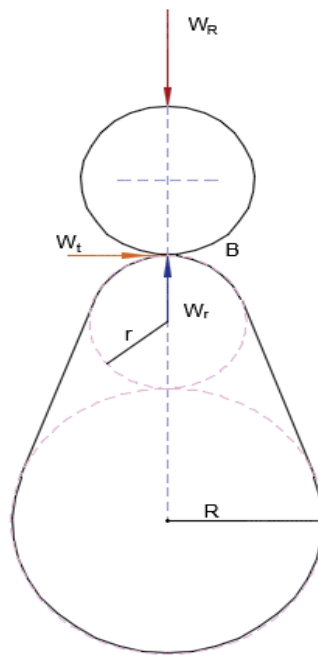


Figura 6.3 Diagrama de cuerpo libre en el punto B

Fuente: Tannia Sailema

$$\sum F_y = 0$$

$$W_R = W_r$$

$$\sum F_x = 0$$

$$W_t = 0$$

$$\sum T = F * d$$

$$T = 0 * (R + 2r)$$

$$T = 0$$

Análisis del momento torsor que actúa sobre la leva cuando el seguidor se encuentra en un punto C del perfil de la leva.

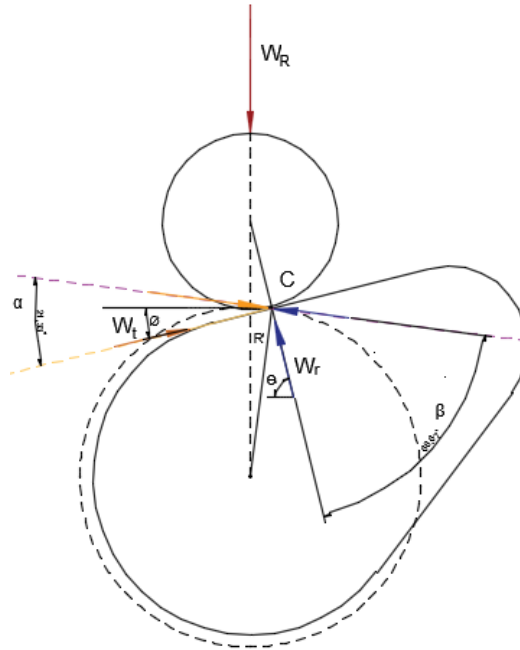


Figura 6.4 Diagrama de cuerpo libre en el punto C

Fuente: Tannia Sailema

$$\sum F_y = 0$$

$$-W_R + W_r \text{ sen } \theta + W_t \text{ sen } \phi = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$-W_r \text{ cos } \theta + W_t \text{ cos } \phi = 0$$

$$W_r = \frac{W_t \text{ cos } \phi}{\text{ cos } \theta}$$

$$-W_R + \frac{W_t \text{ cos } \phi}{\text{ cos } \theta} \text{ sen } \theta + W_t \text{ sen } \phi = 0$$

$$W_t = \frac{W_R}{\text{ cos } \phi \text{ tg } \theta + \text{ sen } \phi}$$

$$W_t = \frac{19.03}{\cos 14.03^\circ \operatorname{tg} 75.97^\circ + \operatorname{sen} 14.03^\circ}$$

$$W_t = 4.61 \text{ N}$$

$$W_r = \frac{4.61 \cos 14.03^\circ}{\cos 75.97^\circ}$$

$$W_r = 18.45 \text{ N}$$

$$\sum T = F * d$$

$$T = W_t \cos \alpha * R' - W_r \cos \beta * R'$$

$$T = R'(W_t \cos \alpha - W_r \cos \beta)$$

$$T = 2.726 \text{ cm}(4.61 \text{ N} \cos 21.33^\circ - 18.45 \text{ N} \cos 68.67^\circ)$$

$$T = -6.59 \text{ Ncm}$$

Análisis del momento torsor que actúa sobre la leva cuando el seguidor se encuentra en un punto D del perfil de la leva.

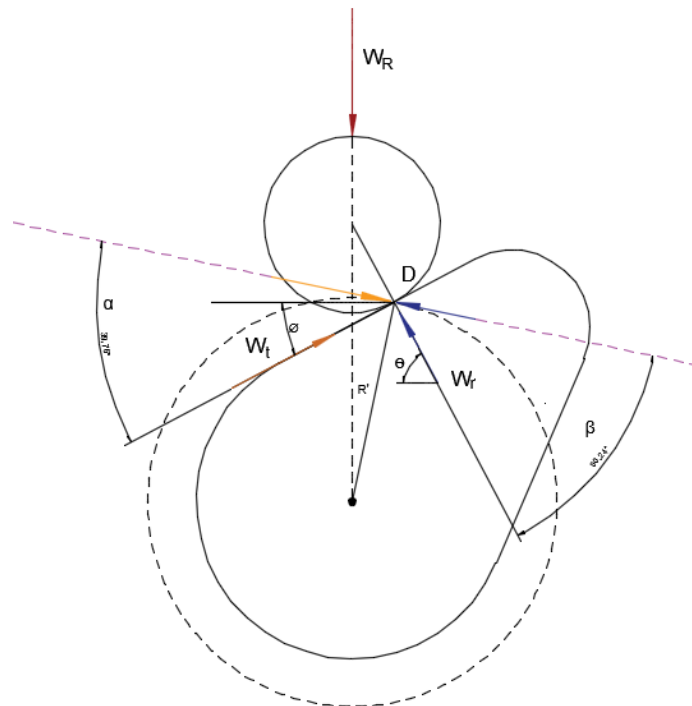


Figura 6.5 Diagrama de cuerpo libre en el punto D

Fuente: Tannia Sailema

$$\sum F_y = 0$$

$$-W_R + W_r \operatorname{sen} \theta + W_t \operatorname{sen} \phi = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$-W_r \cos \theta + W_t \cos \phi = 0$$

$$W_r = \frac{W_t \cos \phi}{\cos \theta}$$

$$-W_R + \frac{W_t \cos \phi}{\cos \theta} \operatorname{sen} \theta + W_t \operatorname{sen} \phi = 0$$

$$W_t = \frac{W_R}{\cos \phi \operatorname{tg} \theta + \operatorname{sen} \phi}$$

$$W_t = \frac{19.03}{\cos 28.03^\circ \operatorname{tg} 61.97^\circ + \operatorname{sen} 28.03^\circ}$$

$$W_t = 8.94N$$

$$W_r = \frac{8.94 \cos 28.03^\circ}{\cos 61.97^\circ}$$

$$W_r = 16.79N$$

$$\sum T = F * d$$

$$T = W_t \cos \alpha * R' - W_r \cos \beta * R'$$

$$T = R'(W_t \cos \alpha - W_r \cos \beta)$$

$$T = 3.304 \text{ cm}(8.94N \cos 39.76^\circ - 16.79N \cos 50.24^\circ)$$

$$T = -12.75 \text{ Ncm}$$

Análisis del momento torsor que actúa sobre la leva cuando el seguidor se encuentra en un punto E del perfil de la leva.

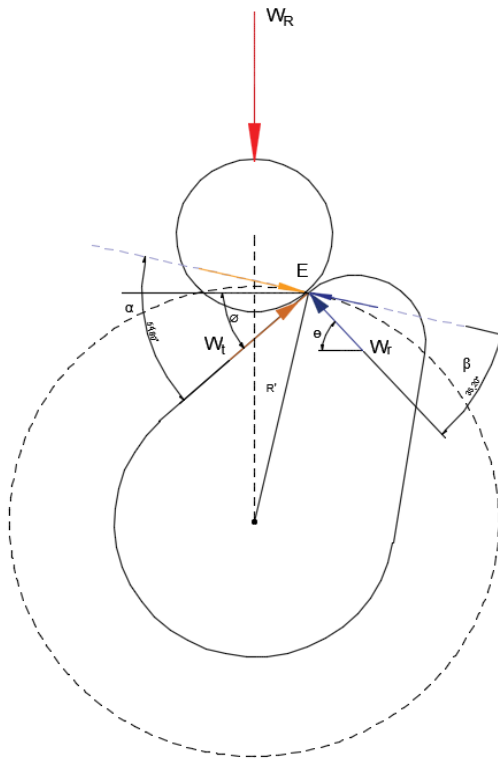


Figura 6.6 Diagrama de cuerpo libre en el punto E

Fuente: Tannia Sailema

$$\sum F_y = 0$$

$$-W_R + W_r \text{ sen } \theta + W_t \text{ sen } \phi = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$-W_r \text{ cos } \theta + W_t \text{ cos } \phi = 0$$

$$W_r = \frac{W_t \text{ cos } \phi}{\text{ cos } \theta}$$

$$-W_R + \frac{W_t \text{ cos } \phi}{\text{ cos } \theta} \text{ sen } \theta + W_t \text{ sen } \phi = 0$$

$$W_t = \frac{W_R}{\text{ cos } \phi \text{ tg } \theta + \text{ sen } \phi}$$

$$W_t = \frac{19.03}{\text{ cos } 42.03^\circ \text{ tg } 47.97^\circ + \text{ sen } 42.03^\circ}$$

$$W_t = 12.74N$$

$$W_r = \frac{12.74 \cos 42.03^\circ}{\cos 47.97^\circ}$$

$$W_r = 14.14 \text{ N}$$

$$\sum T = F * d$$

$$T = W_t \cos \alpha * R' - W_r \cos \beta * R'$$

$$T = R'(W_t \cos \alpha - W_r \cos \beta)$$

$$T = 4.398 \text{ cm}(12.74 \text{ N} \cos 54.8^\circ - 14.14 \text{ N} \cos 35.2^\circ)$$

$$T = -18.5 \text{ Ncm}$$

La eficiencia de los motores a pasos tiene un rango de (0.6 - 0.8), tomado del Manual del sistema SureStep. Para calcular el Torque requerido utilizaremos una eficiencia de 0.6; debido a que la velocidad de trabajo del motor es baja, es decir menor de 15 rpm.

$$T_R = \frac{T}{n} \tag{6.5}$$

$$T_R = \frac{18.21}{0.6}$$

$$T_R = 30.84 \text{ N.cm}$$

Con lo calculado anteriormente y según el paso (1.8° recomendado) que necesitamos se seleccionó un motor a pasos de 200 N.cm. [283 oz-in]. Según el catálogo de OSM-Anexo B2

Tabla 6.3 Motor a pasos seleccionado

Marca	Tensión Nominal (V)	Corriente Nominal (I)	Tipo	Ángulo de paso (°)	Torque(oz-in)	Modelo
OSM	24	3	Bipolar	1.8	283	NEMA 23H

Fuente: Productos Amazon

Para crear el movimiento de un motor paso a paso, la corriente a través de las bobinas debe cambiar en el orden prefijado. Esto se logra utilizando un controlador que permite la correcta secuencia de salida cuando se somete a un pulso y una dirección de señal.

Por tal motivo elegimos un driver para el motor a pasos seleccionado anteriormente:

Tabla 6.4 Driver Motor Seleccionado

Marca	Tipo de material	Modelo	Código	Corriente de salida (max)
SainSmart	Plástico	2M542	UNSPSC	4.5A

Fuente: Productos Amazon

6.6.4 DISEÑO DEL EJE MOTRIZ

Para el cálculo del eje se debe considerar el diseño de falla a carga estática en el elemento, mediante la teoría de von Mises; y a fatiga utilizando el criterio de Goodman modificado de falla.

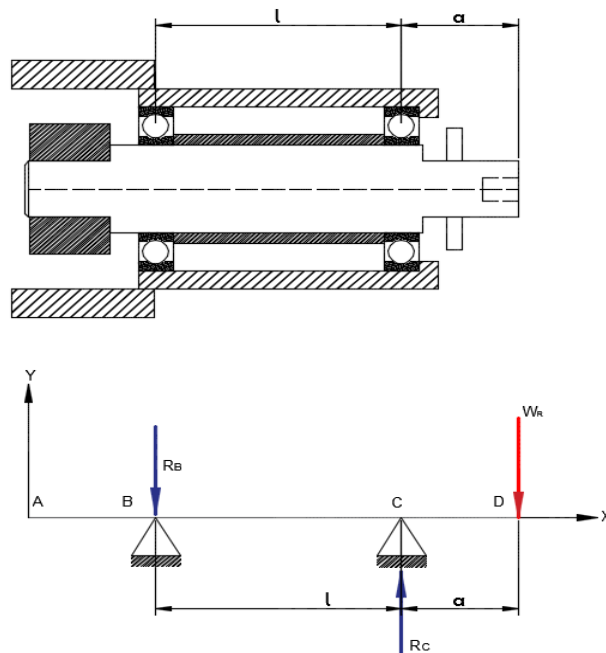


Figura 6.7 Diagrama de cuerpo libre del eje.

Fuente: Tannia Sailema

Donde:

R_B y R_C : Reacciones en los apoyos. [N]

W_R : Carga puntual aplicada. [N]

6.6.4.1 CÁLCULO DE REACCIONES

Aplicamos la fórmula de apoyos simples: carga en voladizo, y tenemos:

$$R_B = -\frac{W_R * a}{l} \quad (6.6)$$

Donde:

a : Longitud entre el apoyo y la carga puntual. [m]

l : Longitud entre apoyos. [m]

$$R_B = -\frac{(19.03) * (0.015)}{(0.077)}$$

$$R_B = -3.71 \text{ N}$$

Para el caso de la reacción en el punto C se utiliza la siguiente fórmula:

$$R_C = \frac{W_R}{l} (l + a) \quad (6.7)$$

$$R_C = \frac{(19.03) * (0.077 + 0.015)}{(0.077)}$$

$$R_C = 22.74 \text{ N}$$

Una vez obtenidas las dos reacciones podemos realizar los diagramas de fuerza cortante y momento flector para poder observar de mejor manera los parámetros necesarios para el diseño.

6.6.4.2 DIAGRAMAS DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR

Los diagramas de fuerza cortante y momento flector nos permitirán tener las fuerzas y los momentos máximos en los distintos puntos los cuales utilizaremos para el cálculo del eje.

FUERZA CORTANTE

$$V_{BI} = 0$$

$$V_{BC} = 0 - 3.71 N = -3.71 N$$

$$V_{CI} = -3.71 + 0 = -3.71 N$$

$$V_{CD} = -3.71 N + 22.74 N = 19.03 N$$

$$V_{DI} = 19.03 N + 0 = 19.03 N$$

$$V_{BD} = 19.03 N - 19.03 N = 0$$

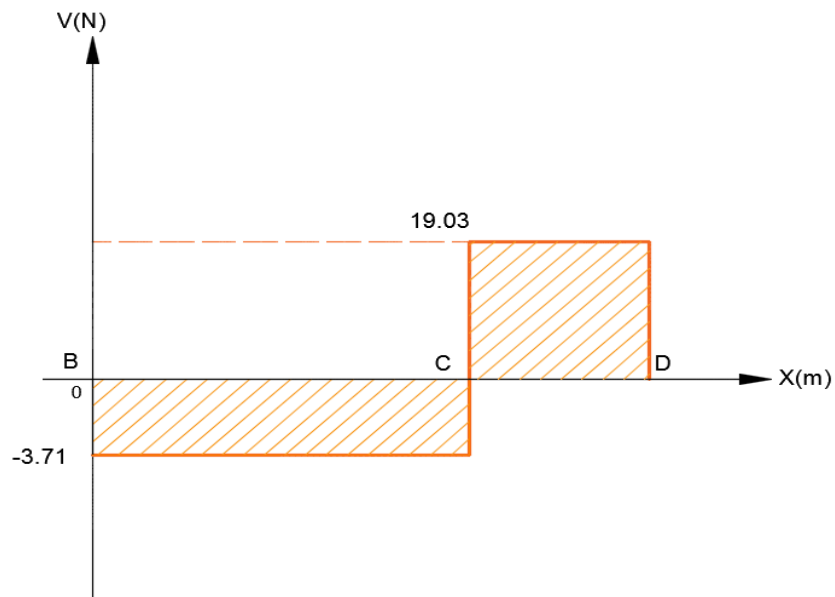


Figura 6.8 Diagrama de fuerza cortante.

Fuente: Tannia Sailema

MOMENTO FLECTOR

$$M_B = 0$$

$$M_C = M_B - (3.71 \text{ N})(0.077 \text{ m})$$

$$M_C = 0.285 \text{ Nm}$$

$$M_D = M_C + (19.03 \text{ N})(0.015 \text{ m})$$

$$M_D = 0$$

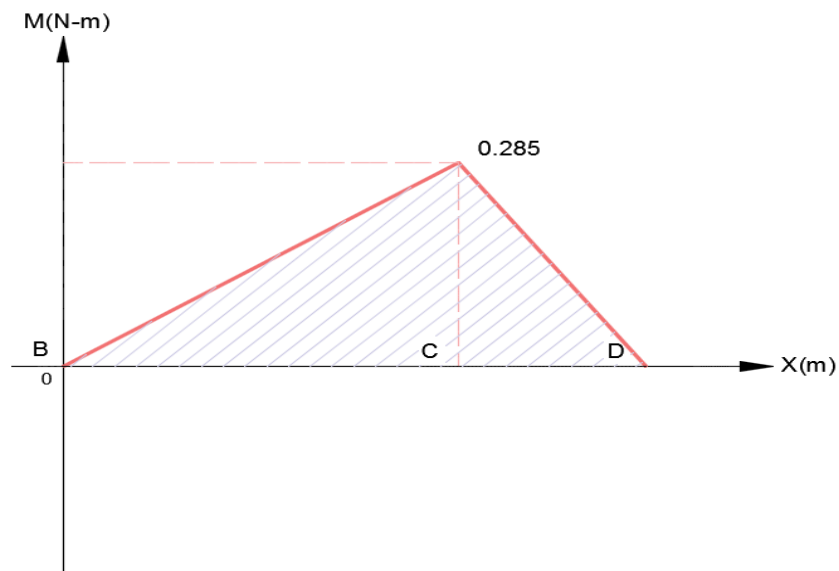


Figura 6.9 Diagrama de momento flector

Fuente: Tannia Sailema

El momento flector máximo se encuentra en el punto C

$$M_C = 0.285 \text{ Nm}$$

6.6.4.3 DISEÑO ESTÁTICO DEL EJE

Para el diseño se debe considerar lo siguiente:

- Material a usar que se encuentre disponible en el mercado, se optó por un acero AISI 1018 cuya resistencia a la fluencia (S_y) es 220 MPa, leído en el Anexo B3

- Factor de seguridad 2.5

Esfuerzo máximo por flexión

$$\sigma_x = \frac{M_C}{S} \quad (6.8)$$

$$\sigma_x = \frac{M_C}{\frac{\pi d^3}{32}}$$

$$\sigma_x = \frac{2.903}{d^3}$$

Esfuerzo máximo por torsión

$$\tau_x = \frac{16 T}{\pi * d^3} \quad (6.9)$$

$$\tau_x = \frac{16 (0.185)}{\pi * d^3}$$

$$\tau_x = \frac{0.94}{d^3}$$

Teoría de Von Mises

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xz}^2} \quad (6.10)$$

$$\sigma' = \sqrt{\left(\frac{2.903}{d^3}\right)^2 + \left(\frac{0.94}{d^3}\right)^2}$$

$$\sigma' = \frac{3.05 Nm}{d^3}$$

Factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (6.11)$$

Reemplazando σ' en (6.11), se obtiene:

$$n = \frac{S_y}{\frac{3.05 Nm}{d^3}}$$

$$2.5 = \frac{220 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}{\frac{3.05 Nm}{d^3}}$$

$$d^3 = \frac{3.05 (2.5)}{220 \times 10^6}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{3.05 (2.5)}{220 \times 10^6 \frac{N}{m^2}}}$$

$$d = 3.26 \text{ mm}$$

Debido a que la carga aplicada no es muy alta, se obtiene el valor de 3 mm de diámetro. Debido al dimensionamiento del equipo y las condiciones de trabajo de debe optar por un diámetro mayor para el eje, el cual se complementa con el diseño dinámico del mismo.

6.6.4.4 DISEÑO DINÁMICO DEL EJE

Mediante el diseño dinámico se toma en cuenta la falla del material por fatiga, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Material Acero AISI 1018
- Suponemos que $k_a k_b k_c k_d k_e k_f = 0.3$ porque no se conoce el diámetro del eje.
- Para el diseño se considera una vida infinita.

Límite de Resistencia a fatiga

Resistencia a la tensión $S_{ut} = 400 \text{ MPa}$, leído del Anexo B3.

$$S'_e = 0.5 S_{ut} \tag{6.12}$$

$$S'_e = 0.5(400)$$

$$S'_e = 200MPa$$

Límite de Resistencia a fatiga en el punto C

$$S_e = 0.3 S'_e \tag{6.13}$$

$$S_e = 0.3 * (200)$$

$$S_e = 60MPa$$

Suponiendo una vida infinita, tenemos:

$$n = \frac{S_e}{\sigma} \tag{6.14}$$

$$n = \frac{S_e * \pi * d^3}{32M}$$

$$d^3 = \frac{32M * n}{S_e * \pi}$$

$$d^3 = \frac{32 * 0.285 * 2.5}{60 * 10^6 * \pi}$$

$$d = 4.94 \text{ mm}$$

Para normalizar y según los catálogos existentes en el mercado se puede seleccionar un eje de 1/2 y de 5/8, para realizar cualquier tipo de maquinado a la pieza, se optará por un eje 5/8 [15.875 mm]

Refinamiento del cálculo con d=15.875 mm

Factor de superficie

$$k_a = aS_{ut}^b \tag{6.15}$$

Donde:

a : Parámetro de la condición superficial. [MPa]

b : Exponente de la condición superficial

$$\left. \begin{array}{l} a = 4.51 \\ b = -0.265 \end{array} \right\} \text{Maquinado, leídos en el Anexo B4}$$

$$k_a = (4.51)(400)^{-0.256}$$

$$k_a = 0.97$$

Factor de tamaño

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

$$k_b = 1.24(d)^{-0.107} \tag{6.16}$$

$$k_b = 1.24(15.875)^{-0.107}$$

$$k_b = 0.92$$

Factor de carga

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases}$$

$$k_c = 1$$

Factor de temperatura

$$k_d = 1, \text{ leída en el Anexo B5}$$

Factor de confiabilidad

$$k_e = 0.897; \text{ leída en el Anexo B6}$$

Factor de efectos varios

$$k_f = 1$$

Límite de resistencia a fatiga

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (6.17)$$

$$S_e = 0.97 * 0.92 * 1 * 1 * 0.897 * 1 * 200 \text{MPa}$$

$$S_e = 160.09 \text{MPa}$$

Factor de concentración del esfuerzo por fatiga

Se determinan los factores de concentración del esfuerzo por fatiga para cada uno de los esfuerzos K_f para los esfuerzos por flexión.

Para hallar el factor K_f , se utiliza la ecuación de Neuber, la cual está dada por:

$$K_f = 1 + \frac{K_t - 1}{1 + \sqrt{\frac{a}{r}}} \quad (6.18)$$

Para determinar el factor de concentración de esfuerzo K_t se utiliza la Fig. 6.10,

$$\text{con } \frac{D}{d} = \frac{15}{12} = 1.25 \text{ y } \frac{r}{d} = \frac{3}{12} = 0.25$$

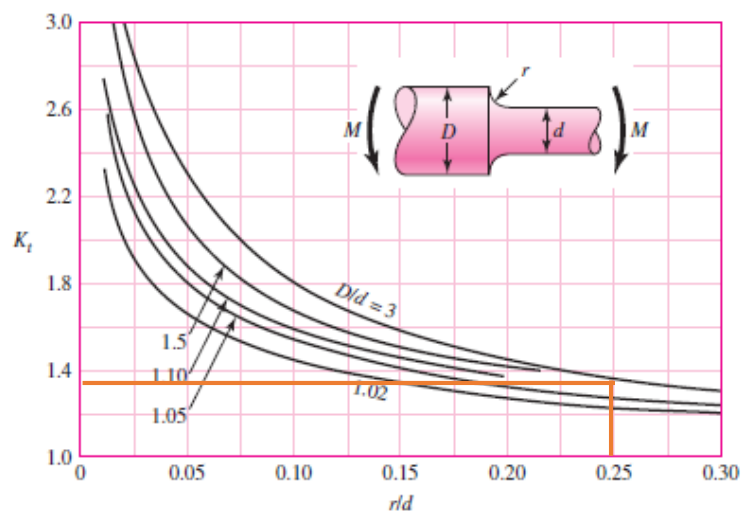


Figura 6.10 Factores teóricos de concentración del esfuerzo para flexión

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012).

$$K_t = 1.38$$

$$\sqrt{a} = 0.245799 - 0.307794(10^{-2})S_{ut} + 0.150874(10^{-4})S_{ut}^2 - 0.2266978(10^{-7})S_{ut}^3 \quad (6.19)$$

Donde:

$$S_{ut} = 58 \text{ Kpsi}$$

$$\sqrt{a} = 0.022\sqrt{pulg} = 0.11\sqrt{mm}$$

Entonces:

$$K_f = 1 + \frac{1.38 - 1}{1 + \frac{0.11}{\sqrt{3}}}$$

$$K_f = 1.36$$

El esfuerzo flexionante reversible, suponiendo una vida infinita, es

$$\sigma = K_f \frac{M_C}{\frac{\pi d^3}{32}} \quad (6.20)$$

$$\sigma = 1.36 \frac{0.285}{\frac{\pi(0.015875)^3}{32}}$$

$$\sigma = 0.98 \text{ MPa}$$

$$\sigma \leq S_e$$

$$0.98 \text{ MPa} \leq 160.09 \text{ MPa}$$

Análisis por deflexión para verificar el valor del diámetro.

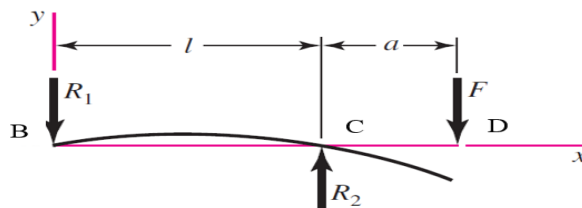


Figura 6.11 Apoyos simples: carga en voladizo

Autor: Tannia Sailema

$$y_c = \frac{1}{1000} * CD \quad (6.21)$$

$$y_c = 0.015 \text{ mm}$$

$$y_c = -\frac{Fa^2}{3EI}(l + a) \quad (6.22)$$

$$I = -\frac{Fa^2}{3Ey_c}(l + a)$$

$$I = -\frac{Fa^2}{3Ey_c}(l + a)$$

$$\frac{\pi d^4}{64} = -\frac{Fa^2}{3Ey_c}(l + a)$$

$$d^4 = -\frac{64Fa^2}{3\pi Ey_c}(l + a)$$

$$d^4 = -\frac{64(18.75)(0.015)}{3\pi(205 * 10^6)(0.015)}(0.077 + 0.015)$$

$$d = 0.01546 \text{ m}$$

$$d = 15.46 \text{ mm}$$

Una vez realizado el diseño de resistencia estática y a fatiga, y el análisis por deflexión escogeremos el eje de 15 mm de diámetro, por tal razón utilizaremos un eje AISI 1018 de 5/8 in.

Tabla 6.5 Eje diseñado

Material	Diámetro	Longitud
Acero 1018	5/8 in = 15.87 mm	108 mm

Fuente: Tannia Sailema

6.6.5 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Los rodamientos permiten el giro del eje que proporciona el movimiento de la leva. La selección del rodamiento se lo realizó mediante el catálogo SKF. Se debe seleccionar considerando los siguientes factores.

- Temperatura de funcionamiento de 50 °C
- Velocidad del eje $n = 17$ rpm
- Funcionamiento suave.
- Confiabilidad de 95%
- Factor de servicio $s=1$

Eje motriz

Los rodamientos deben soportar cargas radiales

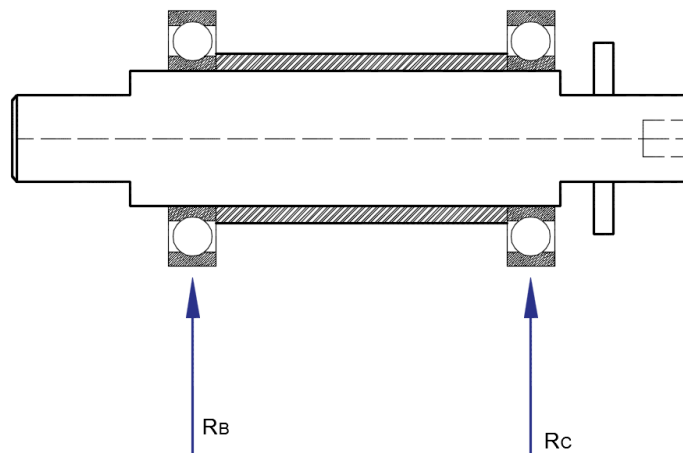


Figura 6.12 Eje motriz

Fuente: Tannia Sailema

Como los rodamientos soportan las mismas cargas se realizará el análisis para los dos puntos B y C.

Capacidad de carga estática

$$P_0 = 22.74N$$

$$C_o = f_s * P_o \quad (6.23)$$

Donde:

f_s : Factor de esfuerzos estáticos.

C_o : Capacidad de carga estática. [KN]

P_o : Carga estática equivalente. [KN]

Tabla 6.6 Valores del factor f_s de carga estática permisible

Condiciones de funcionamiento	Valor mínimo de f_s	
	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
Aplicaciones con bajo nivel de ruido	2.0	3.0
Rodamientos sujetos a vibraciones y cargas de impacto	1.5	2.0
Condiciones de funcionamiento normales	1.0	1.5

Fuente: Catálogo SKF

$$C_o = (2)(22.74N)$$

$$C_o = 45.48 N$$

Capacidad de carga dinámica

$$C = P \sqrt[p]{\frac{Lh * n * 60}{1000000 * a_1 * a_{23}}} \quad (6.24)$$

Donde:

C: Capacidad de carga dinámica [KN]

P: Carga Dinámica equivalente. [KN]

p : Exponente de vida

Lh: Vida nominal del rodamiento [horas]

n: Velocidad de funcionamiento del rodamiento. [rpm]

a_1 : Factor de probabilidad de fallo.

a_{23} : Factor para el material y las condiciones de servicio.

Según el catalogo SKF el factor para el material y las condiciones de servicio a_{23} debe estar entre 1 y 3.5 por lo que se toma el valor de:

$$a_{23} = 1.8 \quad \text{Impuesto}$$

$$s = 1$$

Tabla 6.7 Factor de fiabilidad a_1

Fiabilidad (%)	90	95	96	97	98	99
a_1	1.00	0.62	0.53	0.44	0.33	0.21

Fuente: Catálogo SKF

$$a_1 = 0.62$$

$p = 3$ para rodamientos de bolas

$p = \frac{10}{3}$ para rodamientos de rodillos

$$p = 3$$

$$C = 22.74 N \sqrt[3]{\frac{25000 * 17 * 60}{1000000 * 0.62 * 1.8}}$$

$$C = 64.52 N$$

Con la carga determinada seleccionamos el siguiente rodamiento:

Rodamiento 6202

$$D = 35 \text{ mm}$$

$$d = 15 \text{ mm}$$

$$C_o = 3.75 \text{ KN}$$

Seleccionamos este rodamiento debido al diámetro del eje que es de 15 mm, por lo tanto nos acogemos al diseño de la máquina y entramos al catálogo de la FAG con la medida de dicho agujero y con la carga más baja tanto estática como dinámica.

Comprobación:

$$dm = \frac{D+d}{2} \tag{6.25}$$

$$dm = \frac{35 \text{ mm} + 15 \text{ mm}}{2}$$

$$dm = 25 \text{ mm}$$

Con $n = 17 \text{ rpm}$

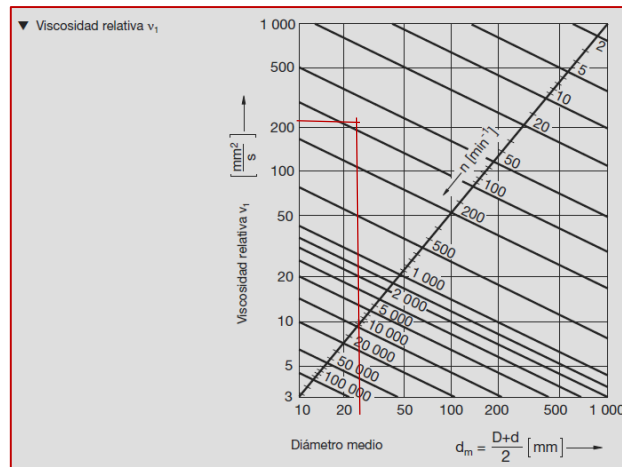


Figura 6.13 Viscosidad relativa v_1

Fuente: Catálogo SKF

$$V_1 = 250 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

Con $V_1 = 250$ y $T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$

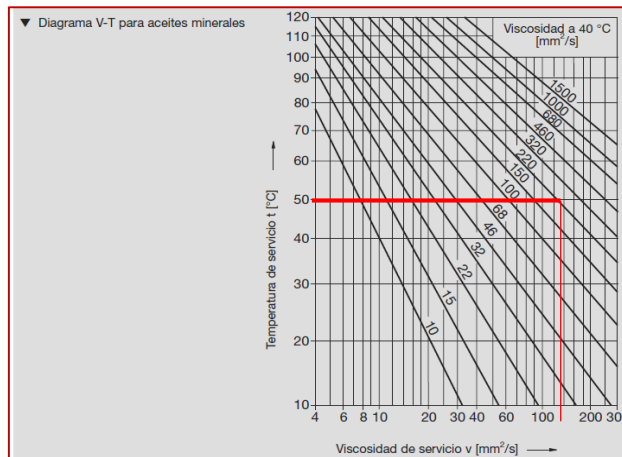


Figura 6.14 Diagrama V-T

Fuente: Catálogo SKF

$$V = 150 \frac{mm^2}{s}$$

$$k = \frac{V}{V_1} \tag{6.26}$$

$$k = \frac{150 \frac{mm^2}{s}}{250 \frac{mm^2}{s}}$$

$$k = 0.6$$

Con $k=0.6$ tenemos:

$$a_{23} = 0.48 \text{ Anexo B12}$$

$$C = P \sqrt[3]{\frac{Lh * n * 60}{1000000 * a_1 * a_{23}}}$$

$$C = 22.74 N \sqrt[3]{\frac{25000 * 17 * 60}{1000000 * 0.62 * 0.48}}$$

$$C = 0.1 KN$$

Escogemos el rodamiento:

Rodamiento SKF 6202

$$D = 35 \text{ mm}$$

$$d = 15 \text{ mm}$$

$$C = 8.06 KN$$

$$C_o = 3.75 KN$$

6.6.6 DISEÑO DE COLUMNAS (SOPORTE 1)

La carga axial que soporta la columna está dada por la sumatoria de todos los pesos que interviene en el banco, por lo tanto la carga a soportar por cada columna de Acero 1018 con límite de fluencia (220 MPa), será:

$$P_o = 15.92 \text{ N}$$

La columna se diseñará para una carga crítica de:

$$P_{cr} = n_d * P_o \tag{6.27}$$

Donde:

P_o : Carga de diseño. [N]

$n_d = 6$: Criterio de diseño

$$P_{cr} = 4(15.92)$$

$$P_{cr} = 63.68 \text{ N}$$

Con esta carga se selecciona el diámetro de la columna circular

$$d = \sqrt[4]{\left(\frac{64P_{cr}L^2}{\pi^3CE}\right)} \tag{6.28}$$

Donde:

C : Condiciones de extremos

L : Longitud de la columna [m]

$$L = 35 \text{ cm}$$

Tabla 6.8 Constantes de condiciones finales de las columnas.

Condiciones de extremos de columnas	Constante C de condición de extremos		
	Valor teórico	Valor conservador	Valor recomendado*
Empotrado-libre	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
Articulado-articulado	1	1	1
Empotrado-articulado	2	1	1.2
Empotrado-empotrado	4	1	1.2

*Para usarse sólo con factores de seguridad amplios cuando la carga de la columna se conozca con exactitud.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

$$d = \sqrt[4]{\left(\frac{64(63.68)(0.35)^2}{\pi^3(2)(205 * 10^9)}\right)}$$







$$d = 14.38 \text{ mm}$$

Con este diámetro seleccionamos un eje de 5/8 [15.875 mm]

6.6.6.1 ANÁLISIS DE PANDEO DE COLUMNA

Realizaremos el análisis solo en una de las columnas, ya que por simetría es la misma. Para el análisis de pandeo de una columna debemos tomar en cuenta la restricción en los extremos y su efecto en la capacidad de carga.

Tabla 6.9 Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K .

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna						
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son aproximadas	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0

Fuente: (McCormac & Stephen, 2012)

La relación de esbeltez para el eje de 5/8 in [15.875 mm] es:

$$\frac{kL}{r} = \frac{kL}{\frac{d}{4}} \tag{6.29}$$

$$\frac{kL}{r} = \frac{(0.8) * (0.35m)}{\frac{0.015875m}{4}}$$

$$\frac{kL}{r} = 70.56$$

Análisis en el punto de tangencia de la curva para columnas.

$$\left(\frac{kL}{r}\right)_1 = \sqrt{\frac{2\pi^2 * C_1 * E}{S_y}} \quad (6.30)$$

$$\left(\frac{kL}{r}\right)_1 = \sqrt{\frac{2\pi^2 * (2) * (205 * 10^9 Pa)}{(220 * 10^6 Pa)}}$$

$$\left(\frac{l}{k}\right)_1 = 33.25$$

Con estos valores verificamos si cumplen la condición:

$$\frac{l}{k} > \left(\frac{l}{k}\right)_1$$

$$70.56 > 33.25$$

Lo anterior indica que, en efecto, es una columna de Euler y aplicamos la siguiente ecuación;

$$\frac{P}{A} = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} \quad (6.31)$$

Donde:

P : Carga de pandeo. [N]

$$P = \frac{1.979 * 10^{-4} * (2) * \pi^2 * 205 * 10^9}{(70.56)^2}$$

$$P = 160846.7 \text{ N}$$

Como:

$$P > P_{cr}$$

$$160846.7 \text{ N} > 63.68 \text{ N}$$

Por lo tanto la columna no falla por pandeo y con esto verificamos las dimensiones del eje para las columnas.

Tabla 6.10 Columna seleccionada

Columnas	Diámetro	Material	Longitud
2	5/8 in	Acero 1018	35 cm

Fuente: DIPAC

6.6.7 ANÁLISIS DE UNIONES EMPERNADAS

Para el cálculo de va a considerar al eje como un perno.

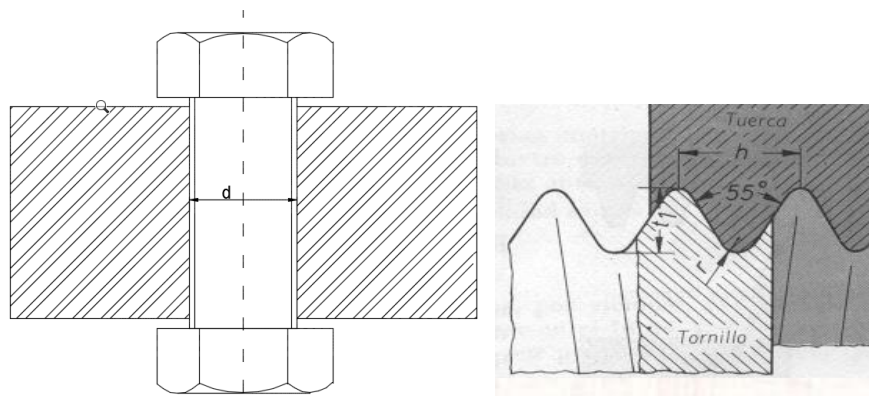


Figura 6.15 Eje Roscado

Fuente: Tannia Sailema

Esfuerzo de aplastamiento

$$\sigma_{apl} = \frac{4F}{\pi n(d^2 - dr^2)h} \quad (6.32)$$

Donde:

dr : Diámetro menor [m]

h : Paso de rosca [m]

n : Hilos por pulgada

Tabla 6.11 Pasos preferidos para roscas

d , pulg	$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	2	$2\frac{1}{2}$	3
p , pulg	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2012)

$$dr = d - h \quad (6.33)$$

$$dr = 0.015875 - 0,003175$$

$$dr = 0.0127 \text{ m}$$

$$n = \frac{4F}{\sigma_{apl} * \pi * (d^2 - dr^2)h}$$

$$\sigma_{apl} = S_y$$

$$n = \frac{4(18.75 \text{ N})}{(220 * 10^6)\pi * ((0.015875\text{m})^2 - (0.0127\text{m})^2) * 0,003175 \text{ m}}$$

$$n = 0.37\text{mm} = 7.875 \text{ hilos/pulg}$$

Tabla 6.12 Tuercas Seleccionadas

Denominación	Diámetro	Material
NG	5/8	Acero de bajo carbono martensítico, templado y revenido

Fuente: DIPAC

6.6.8 SISTEMA DE CONTROL

Una vez que se ha realizado la selección de los dispositivos, se debe realizar un programa que permita el control de los sistemas que intervienen.

6.6.8.1 PROGRAMAS DE CONTROL

a) MAT-LAB

MATLAB es el lenguaje de alto nivel y un entorno interactivo utilizado por millones de ingenieros y científicos de todo el mundo. Se le permite explorar y visualizar ideas y la colaboración entre disciplinas, incluyendo procesamiento de señales e imágenes, comunicaciones, sistemas de control, y las finanzas computacionales.

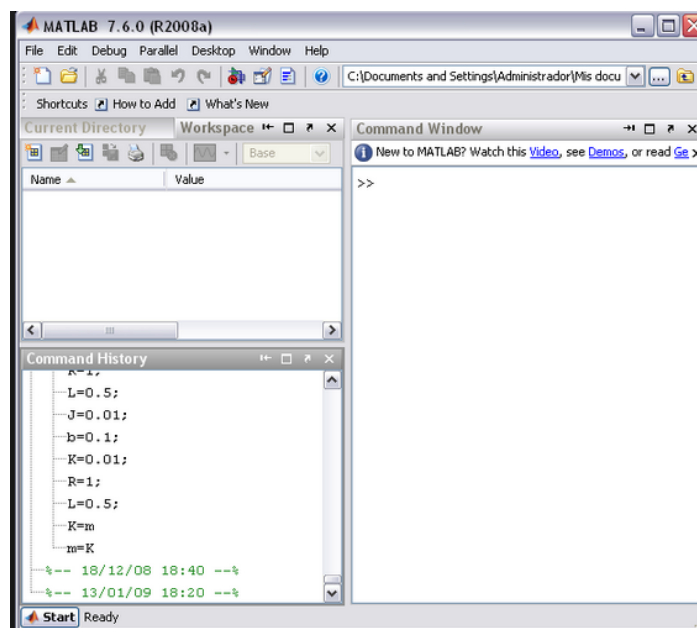


Figura 6.16 Ventana de Matlab

Fuente: Tannia Sailema

Sin embargo, para realizar un programa de control con este programa, se necesita un gran conocimiento del mismo. Debido a esto, este programa presenta grandes dificultades para realizar el control de sistemas de adquisición de datos, por lo tanto debemos considerar un programa alternativo.

b) LABVIEW

LabVIEW es una plataforma de programación gráfica que ayuda a ingenieros a escalar desde el diseño hasta pruebas y desde sistemas pequeños hasta grandes sistemas.

El software LabVIEW es ideal para cualquier sistema de medidas y control. Al integrar todas las herramientas que los ingenieros y científicos necesitan para construir una amplia variedad de aplicaciones en mucho menos tiempo, NI LabVIEW es un entorno de desarrollo para resolver problemas, productividad acelerada y constante innovación.



Figura 6.17 Ventana de labview

Fuente: Tannia Sailema

6.6.8.2 LÓGICA DE FUNCIONAMIENTO

Diagrama de flujo del Mecanismo leva - seguidor

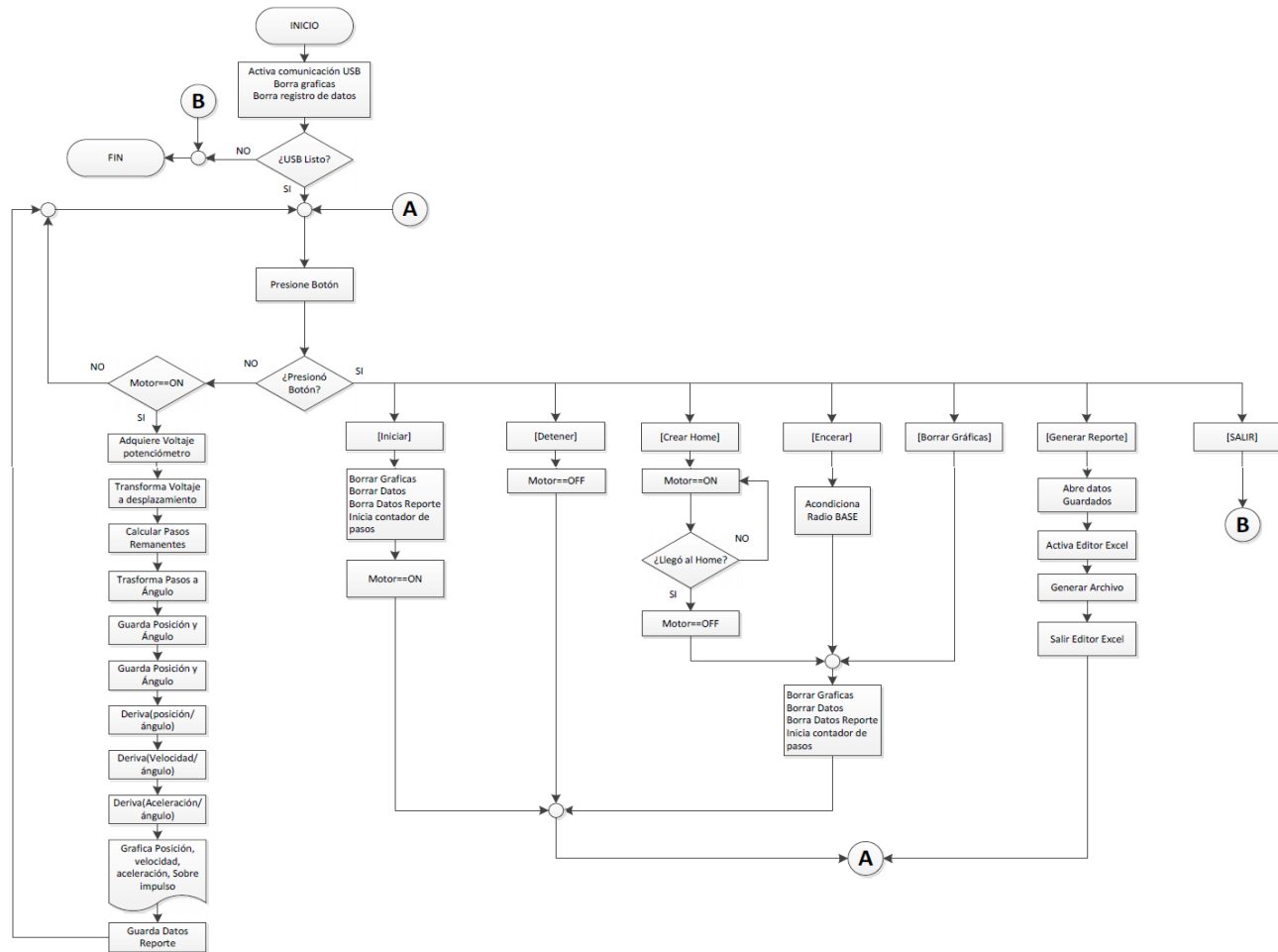


Figura 6.18 Diagrama de flujo del control
Fuente: Tannia Sailema

6.6.8.3 INTERFASE ENTRE LA TARJETA Y EL PROGRAMA

Es muy importante tener la comunicación entre la computadora y el hardware debido a que sin su comunicación no habrá adquisición alguna, y por lo tanto no se realizará el control.

El ARDUINO UNO tiene una serie de instalaciones para comunicarse con un ordenador, otro Arduino u otros microcontroladores. Sin embargo, en Windows, es necesario un archivo .inf. El software de Arduino incluye un monitor de serie que permite a los datos textuales sencillos para ser enviados hacia y desde la placa Arduino.



Figura 6.19 LIFA_Base de Arduino

Fuente: Tannia Sailema

Una vez que reconozca al ARDUINO se abrirá un puerto el cual configuraremos para la entrada de datos.

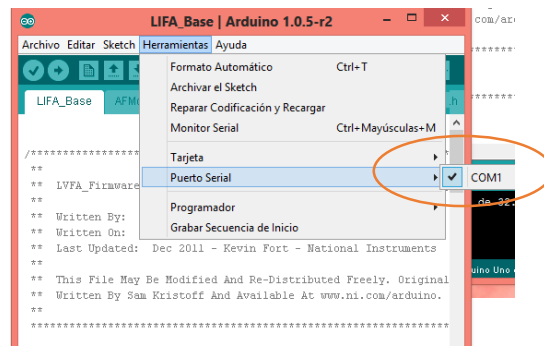


Figura 6.20 Identificación del puerto.

Fuente: Tannia Sailema

CONEXIÓN DE LOS ELEMENTOS A LA TARJETA ARDUINO UNO

- ✓ El potenciómetro lineal se conectará a una entrada analógica A0 del ARDUINO UNO
- ✓ La salida del encoder a una entrada digital P1 del ARDUINO UNO
- ✓ Alimentar con 5v desde la fuente a la tarjeta.
- ✓ La salida digital P3 al driver del motor.

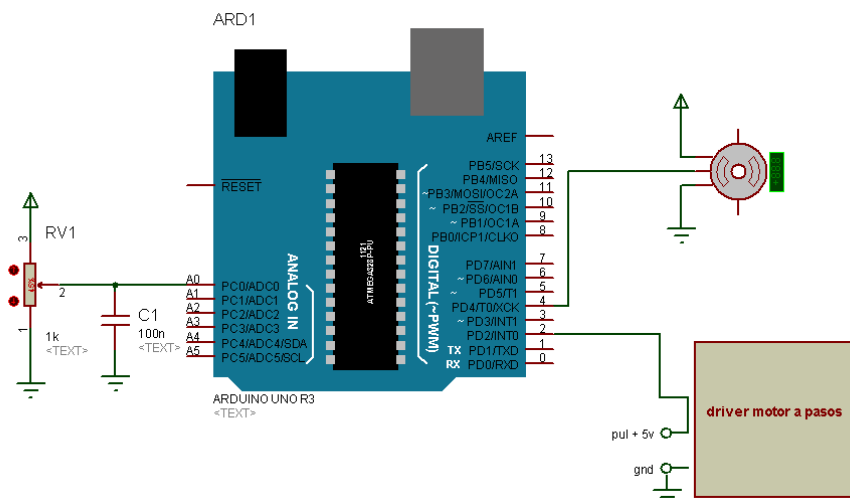


Figura 6.21 Circuito de Control ARDUINO

Fuente: Tannia Sailema

6.6.8.4 PROGRAMACIÓN EN LABVIEW

Empezaremos abriendo el programa de LabView, luego escogemos la opción “Create Project”



Figura 6.22 Inicio del Proyecto en labview

Fuente: Tannia Sailema

Luego elegimos un “Blank VI”

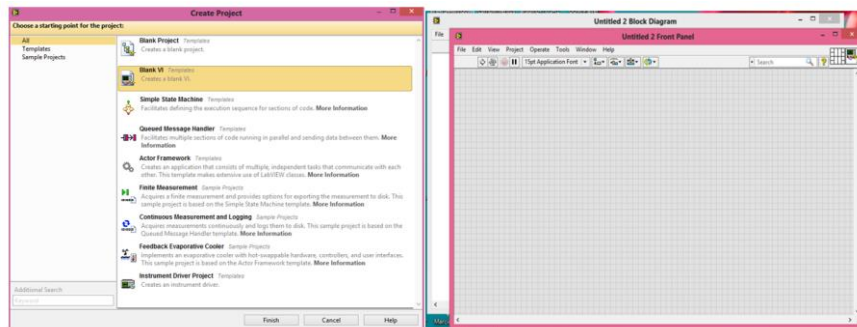


Figura 6.23 Blank VI en labview

Fuente: Tannia Sailema

a) Programación del Potenciómetro lineal

Para comenzar una programación debemos ubicarnos en el diagrama de bloques y buscamos la función de *Arduino* en *Functions Palette*

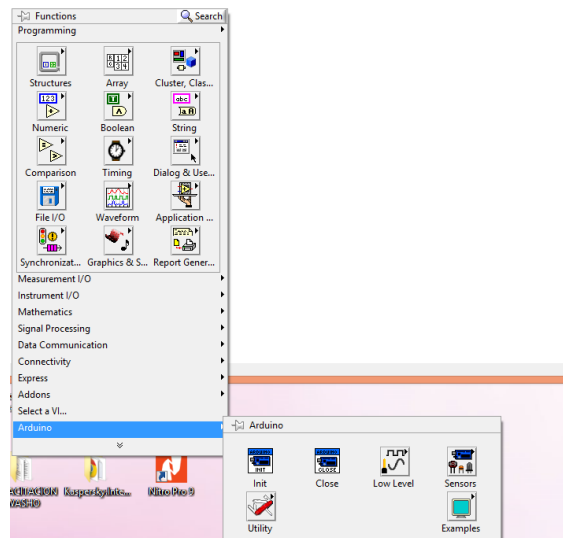


Figura 6.24 Paquete de Arduino en labview

Fuente: Tannia Sailema

Escogemos el *int* para comunicación con el puerto de la tarjeta, y luego para la lectura/escritura nos ubicamos en *low level*, cerramos el programa con el *close*.

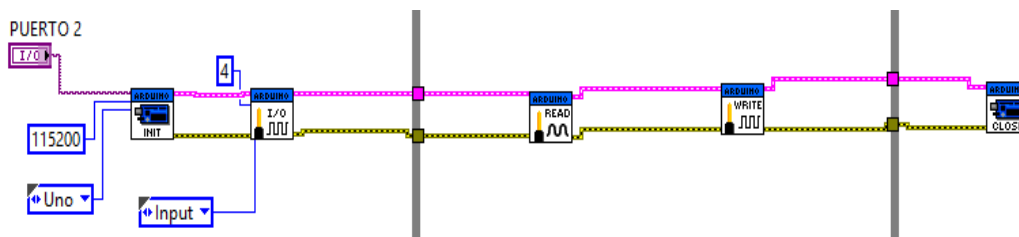


Figura 6.25 Lectura y escritura en Arduino

Fuente: Tannia Sailema

Para usar la señal que genera el potenciómetro en el programa, se debe realizar una curva característica del sensor, ya que la entrada que genera es voltaje y necesitamos una salida de distancia (mm).

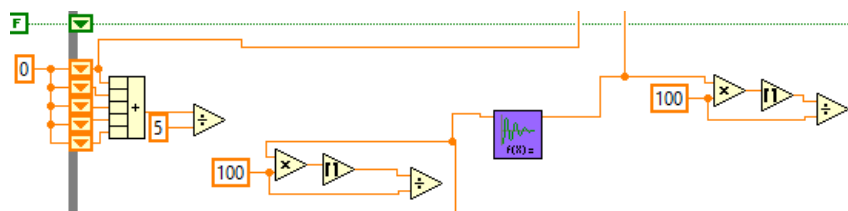


Figura 6.26 Potenciómetro lineal

Fuente: Tannia Sailema

Después realizamos la derivación para encontrar la velocidad y aceleración, para ello utilizamos la derivación de punto que se encuentra en *Mathematics > Integration >> Integral & Differentiation >> Derivative*.

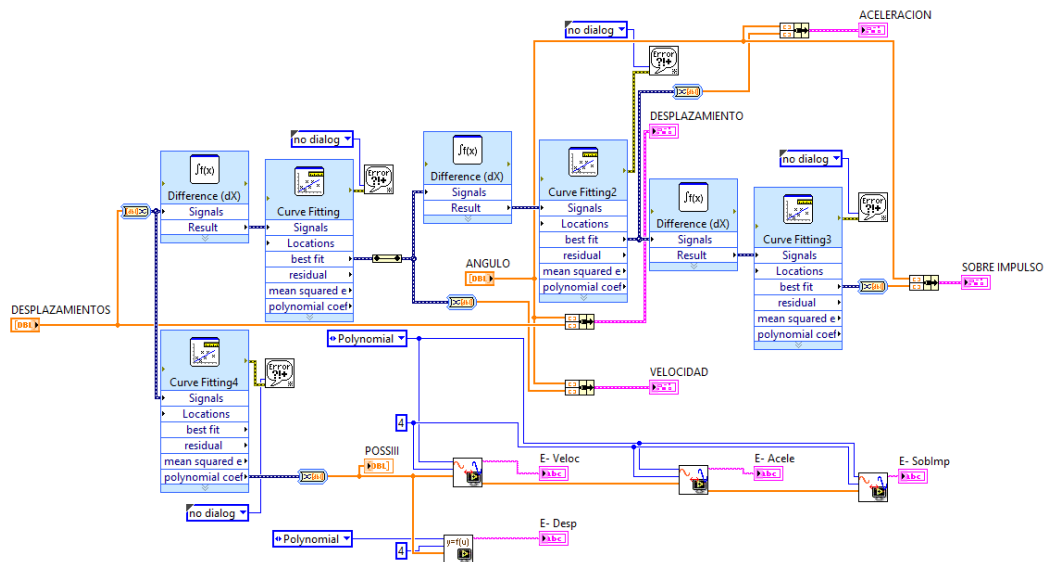


Figura 6.27 Programa de derivación

Fuente: Tannia Sailema

b) Programación para el control del motor

Nos ubicamos en el diagrama de bloques, buscamos la función arduino, que es un complemento del labview. Luego escogemos *Sensors >> Stepper Motor*.

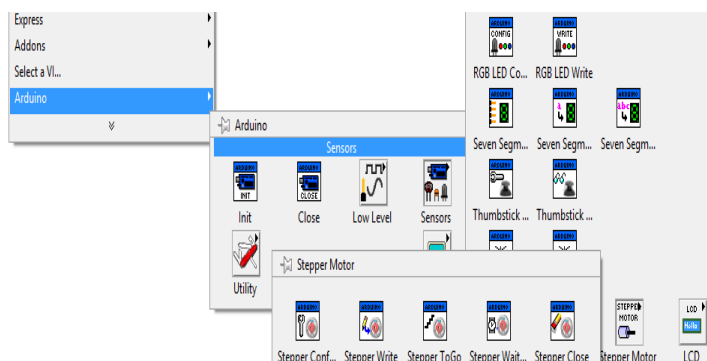


Figura 6.28 Controladores de motor a pasos

Fuente: Tannia Sailema

Utilizaremos un *Event Structure*, en el cual ubicaremos los botones de: *Inicial*, *Detener* y *Borrar*

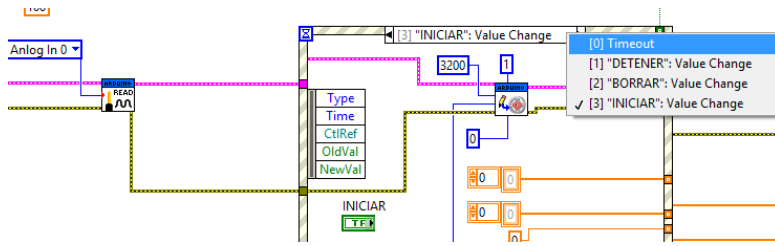


Figura 6.29 Programa para el encendido del motor.

Fuente: Tannia Sailema

c) Control del sensor de barrera

Lo que debemos hacer es declarar una salida digital para contar el número de pulsos y giros que da la leva al desplazarse.

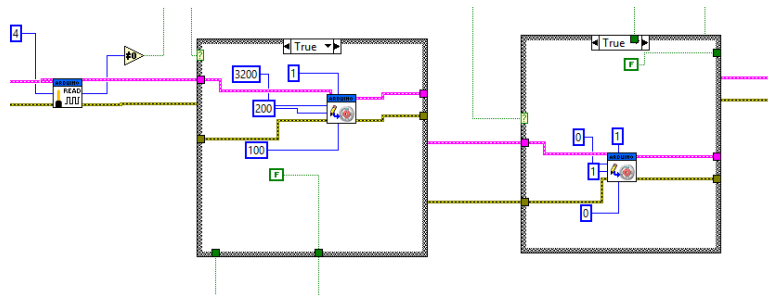


Figura 6.30 Programa para el sensor de barrera

Fuente: Tannia Sailema

Para guardar todos los datos y hacer el reporte utilizaremos el *Icono_Reporte.vi*, que es un complemento de labview.

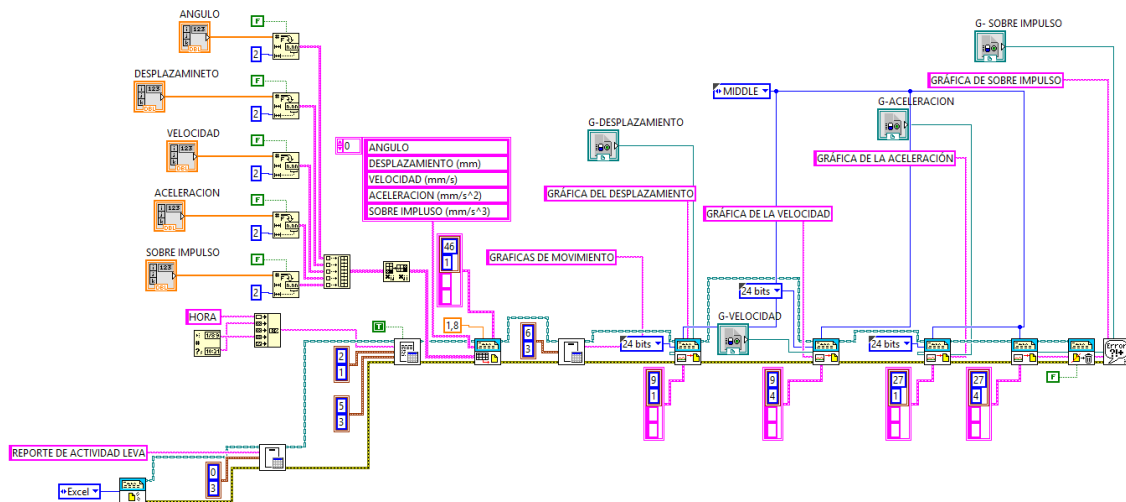


Figura 6.31 Generación de reporte

Fuente: Tannia Sailema

Esta parte del programa lo colocaremos en un *SubVI*.

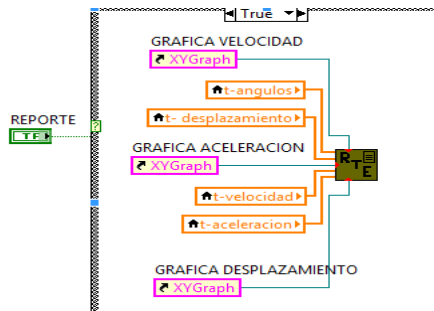


Figura 6.32 SubVIs del reporte

Fuente: Tannia Sailema

Por último se arregla el panel frontal para una correcta visualización de los datos.

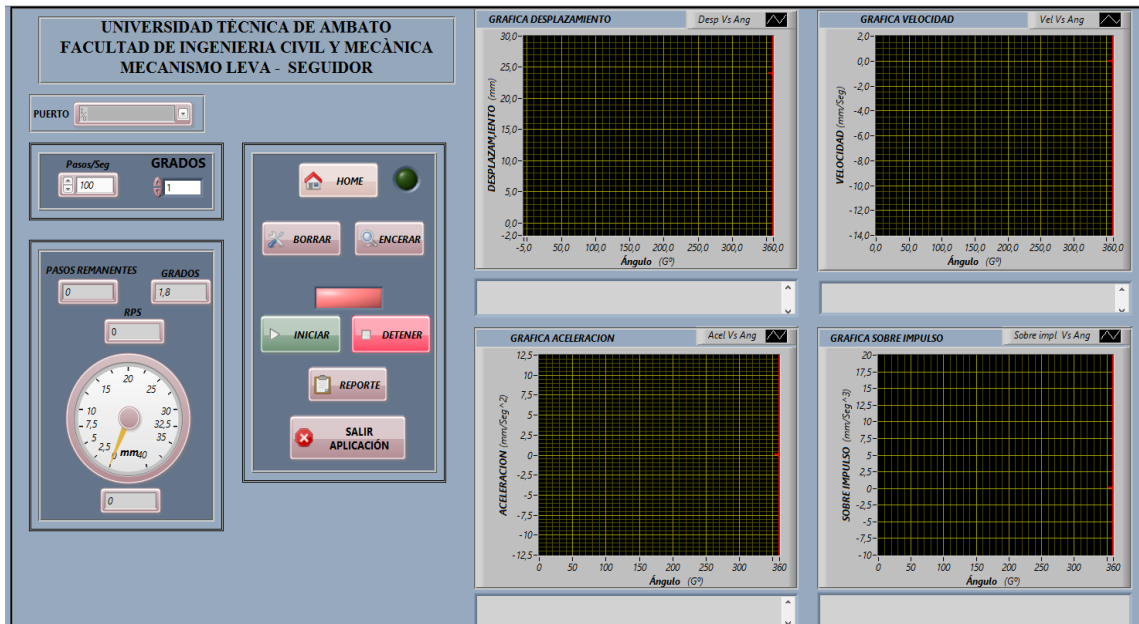


Figura 6.33 Panel Frontal del Programa

Fuente: Tannia Sailema

6.6.9 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Se realizó las pruebas con cuatro tipos de levas planas en dirección anti-horaria. Además con esta prueba se debe determinar el funcionamiento del sistema de adquisición de datos y de cada uno de los componentes del equipo. A continuación se presenta las tablas de datos, los cuales fueron transferidos a una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

6.6.9.1 LEVA TANGENCIAL CON SEGUIDOR DE RODILLO

Tabla 6.13 Resultados obtenidos con la Leva Tangencial

<i>Ángulo</i>	<i>Desplazamiento (mm)</i>	<i>Velocidad (mm/s)</i>	<i>Aceleración (mm/s²)</i>	<i>Sobre impulso (mm/s³)</i>
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0,04	0,04	0,04	0,04
9	0,12	0,08	0,04	0
10	0,16	0,04	-0,04	-0,08
11	0,19	0,05	-0,05	-0,085
12	0,31	0,11	0,07	-0,09
13	0,38	0,07	-0,04	-0,11
14	0,49	0,11	0,03	0,07
50	8,74	0,46	0,03	-0,28
51	8,93	0,19	-0,27	-0,3
52	9,34	0,41	0,22	0,49
53	9,89	0,55	0,14	-0,08
54	10,17	0,29	-0,26	-0,4
55	10,63	0,46	0,17	0,43
56	11,12	0,48	0,03	-0,15
57	11,39	0,27	-0,21	-0,24
58	11,76	0,37	0,1	0,31
59	12,15	0,4	0,03	-0,07
60	12,45	0,29	-0,1	-0,13
80	22,83	0,45	-0,01	-0,13
81	23,2	0,36	-0,09	-0,08
82	23,63	0,43	0,07	0,16
83	23,89	0,27	-0,17	-0,23
84	24,29	0,4	0,13	0,3
85	24,32	0,03	-0,36	-0,49
86	24,49	0,17	0,13	0,5
87	24,59	0,1	-0,07	-0,21
88	24,62	0,03	-0,07	0
89	24,96	0,03	0	0,07

Tabla 6.13 (Continuación)

90	25,05	-0,03	-0,06	-0,06
91	24,63	0,03	0,06	0,13
92	24,66	0	-0,03	-0,1
93	24,66	0	0	0,03
94	24,62	-0,03	-0,03	-0,03
95	24,29	-0,33	-0,3	-0,27
96	23,35	-0,94	-0,6	-0,3
97	23,03	-0,32	0,62	1,22
98	22,58	-0,45	-0,13	-0,75
99	22,17	-0,42	0,03	0,16
100	21,41	-0,76	-0,34	-0,37
150	1,02	-0,14	0,07	0,11
151	0,88	-0,14	0	-0,07
152	0,67	-0,21	-0,07	-0,07
153	0,6	-0,07	0,14	0,21
154	0,43	-0,17	-0,1	-0,24
155	0,33	-0,1	0,07	0,17
156	0,23	-0,1	0	-0,07
157	0,1	-0,13	-0,03	-0,03
158	0,03	-0,07	0,07	0,1
159	0	-0,03	0,03	-0,03
160	0	0	0,03	0
350	0	0	0	0
351	0	0	0	0
352	0	0	0	0
353	0	0	0	0
354	0	0	0	0
355	0	0	0	0
356	0	0	0	0
357	0	0	0	0
358	0	0	0	0
359	0	0	0	0
360	0	0	0	0

Fuente: Tannia Sailema

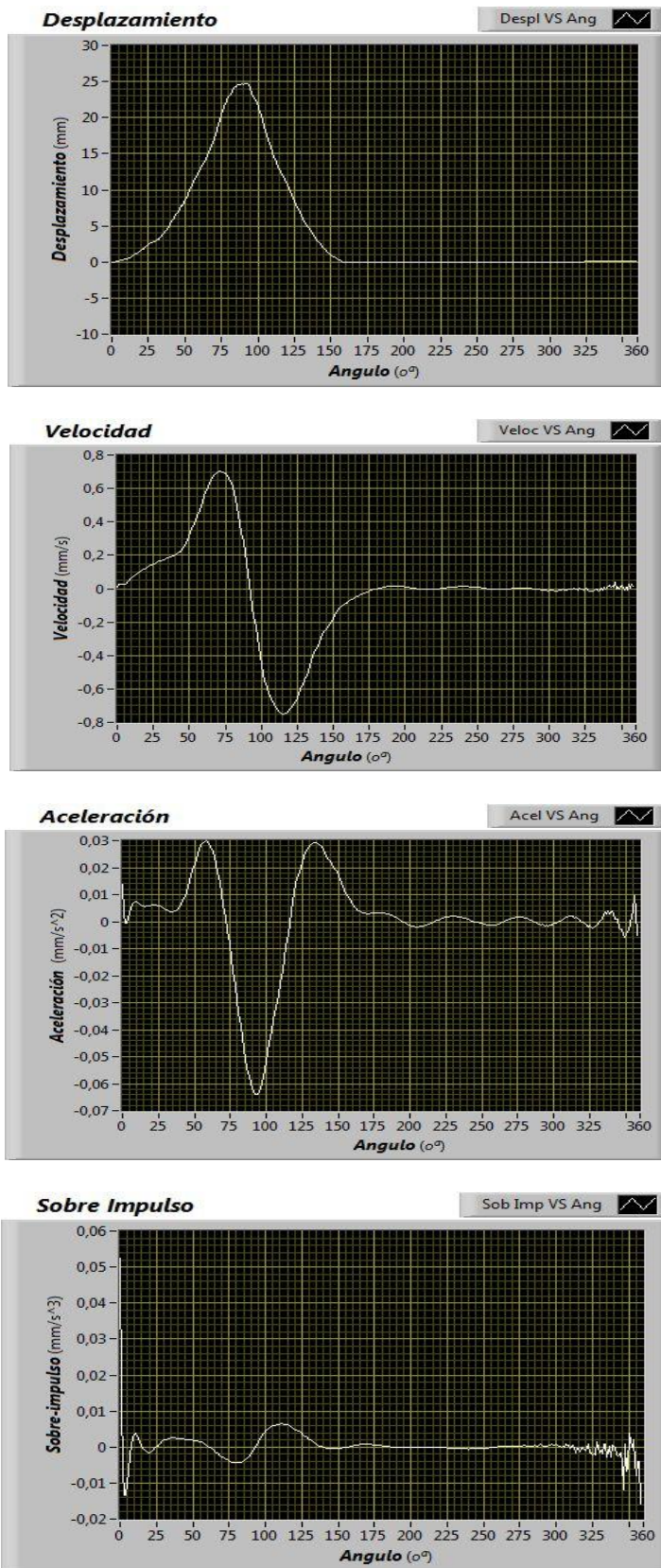


Figura 6.34 Gráficas obtenidas a partir de la digitalización del perfil de la leva tangencial.

Autor: Tannia Sailema

Utilizando el programa MATHCAD se realizó la gráfica ideal del desplazamiento vs ángulo para cada tipo de leva con la que cuenta el equipo.

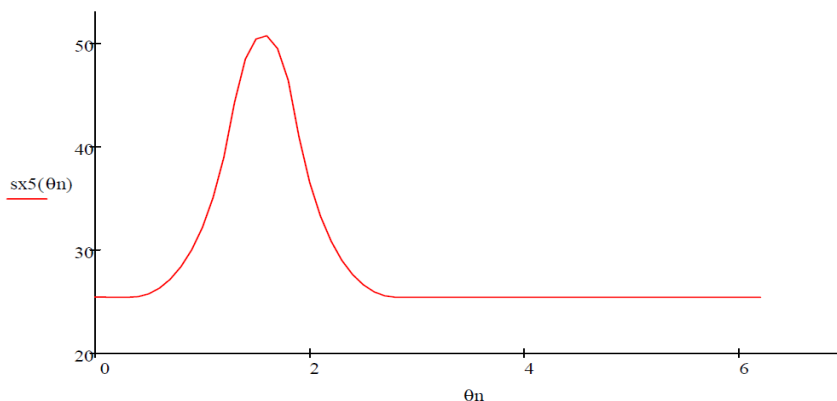


Figura 6.35 Gráfica ideal del desplazamiento de la leva Tangencial

Fuente: Tannia Sailema

6.6.9.2 LEVA CÓNCAVA CON SEGUIDOR DE RODILLO

Tabla 6.14 Resultados obtenidos con la Leva Cóncava.

Angulo	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)	Aceleración (mm/s ²)	Sobre impulso (mm/s ³)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0,03	0,03	0,03	0,03
6	0,09	0,06	0,03	0
7	0,11	0,03	-0,03	-0,06
8	0,14	0,03	0	0,03
9	0,17	0,03	0	0
10	0,2	0,03	0	0
11	0,23	0,03	0	0
12	0,26	0,03	0	0
13	0,29	0,03	0	0
14	0,32	0,03	0	0
15	0,35	0,03	0	0
50	9,12	0,39	-0,2	-0,4
51	9,35	0,23	-0,16	0,04
52	9,82	0,46	0,23	0,39

Tabla 6.14 (Continuación)

54		10,39	0,57	0,11	-0,12
55		10,72	0,34	-0,23	-0,34
56		10,98	0,26	-0,08	0,16
57		11,49	0,51	0,25	0,33
58		11,63	0,14	-0,36	-0,61
60		12,16	0,53	0,39	0,75
85		16,11	0,06	0,06	0,19
86		16,12	0	-0,06	-0,13
87		16,21	0,03	0,03	0,1
88		16,15	-0,03	-0,06	-0,1
89		16,39	0,03	0,06	0,13
90		16,42	-0,03	-0,06	-0,13
92		16,38	-0,03	0	0,06
93		16,21	0	0,03	0,03
94		16,11	0	0	-0,03
95		16,09	-0,06	-0,06	-0,06
97		15,92	-0,13	-0,06	0
98		15,83	-0,1	0,03	0,1
99		15,76	-0,06	0,03	0
100		15,67	-0,1	-0,03	-0,06
125		8,57	-0,63	-0,28	-0,35
126		8,13	-0,44	0,19	0,47
127		7,65	-0,48	-0,04	-0,23
129		7,01	-0,64	-0,16	-0,12
130		6,6	-0,4	0,24	0,4
350		0	0	0	0
351		0	0	0	0
352		0	0	0	0
353		0	0	0	0
354		0	0	0	0
355		0	0	0	0
356		0	0	0	0
357		0	0	0	0
358		0	0	0	0
359		0	0	0	0
360		0	0	0	0

Fuente: Tannia Sailema

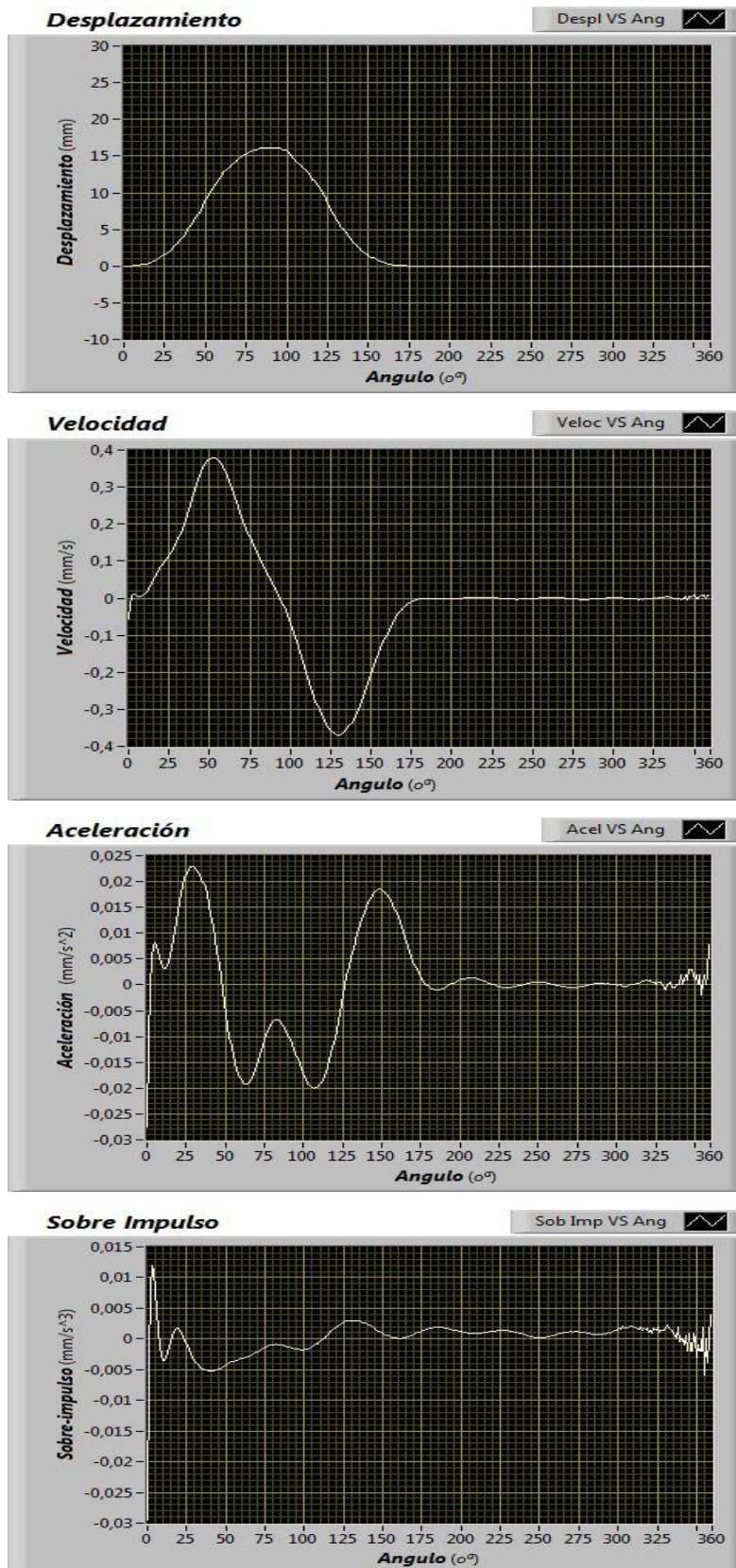


Figura 6.36 Gráficas obtenidas a partir de la digitalización del perfil de la leva cóncava.

Fuente: Tannia Sailema

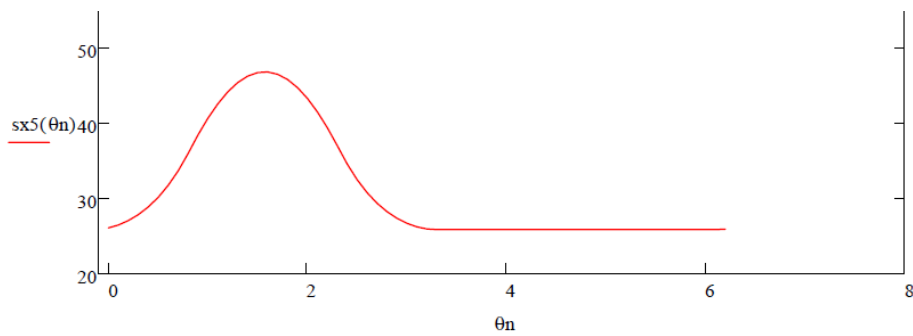


Figura 6.37 Gráfica ideal del desplazamiento de la leva cóncava.

Fuente: Tannia Sailema

6.6.9.3 LEVA CÓNCAVA CON SEGUIDOR DE CARA PLANA

Tabla 6.15 Resultados de la Leva Cóncava con seguidor de cara plana.

Angulo	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)	Aceleración (mm/s ²)	Sobre impluso (mm/s ³)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0,1	0,1	0,1	0,1
6	0,1	0	-0,1	-0,21
7	0,2	0,1	0,1	0,2
8	0,3	0,1	0	-0,1
9	0,4	0,1	0	0
10	0,4	0	-0,1	-0,1
11	0,61	0	-0,2	-0,3
12	0,71	0,1	0,1	0,3
13	0,9	0,19	0,09	0
14	1,09	0,19	0	-0,1
15	1,63	0,54	0,35	0,35
50	15,53	0,52	0,28	0,8
51	16,34	0,81	0,28	0
52	16,82	0,48	-0,32	-0,61
53	17,46	0,64	0,16	0,48
54	18,06	0,59	-0,05	-0,2
55	18,49	0,43	-0,16	-0,12
56	18,99	0,5	0,07	0,24
57	19,56	0,57	0,07	0
58	19,82	0,26	-0,31	-0,38

Tabla 6.15 (Continuación)

59	20,38	0,55	0,29	0,6
60	20,74	0,36	-0,19	-0,48
85	24,78	0,1	0,03	0,1
86	24,87	0,1	0	-0,03
87	24,91	0,03	-0,06	-0,06
88	24,97	0,06	0,03	0,1
89	25,13	0,06	0	-0,03
90	25,22	0	-0,06	-0,06
91	25,16	0,03	0,03	0,1
92	25,06	0,1	-0,03	-0,06
93	25,04	0,12	-0,04	0,03
94	24,87	0,13	-0,06	-0,13
95	24,75	0,19	0,06	0,13
96	24,67	0,1	-0,1	-0,16
97	24,63	0,13	0,03	0,13
98	24,61	0,06	-0,06	-0,1
99	24,56	0,1	0,03	0,1
100	24,4	0	0,06	0,06
150	6,06	-0,11	0,31	0,53
151	5,63	-0,43	-0,32	-0,63
152	5,46	-0,17	0,26	0,59
153	4,95	-0,5	-0,33	-0,6
154	4,39	-0,56	-0,06	0,27
155	4,05	-0,34	0,23	0,29
156	3,63	-0,42	-0,09	-0,31
157	2,96	-0,67	-0,24	-0,16
158	2,6	-0,36	0,3	0,55
159	1,97	-0,63	-0,27	-0,57
160	1,63	-0,34	0,29	0,56
350	0	0	0	0
351	0	0	0	0
352	0	0	0	0
353	0	0	0	0
354	0	0	0	0
355	0	0	0	0
356	0	0	0	0
357	0	0	0	0
358	0	0	0	0
359	0	0	0	0
360	0	0	0	0

Fuente: Tannia Sailema

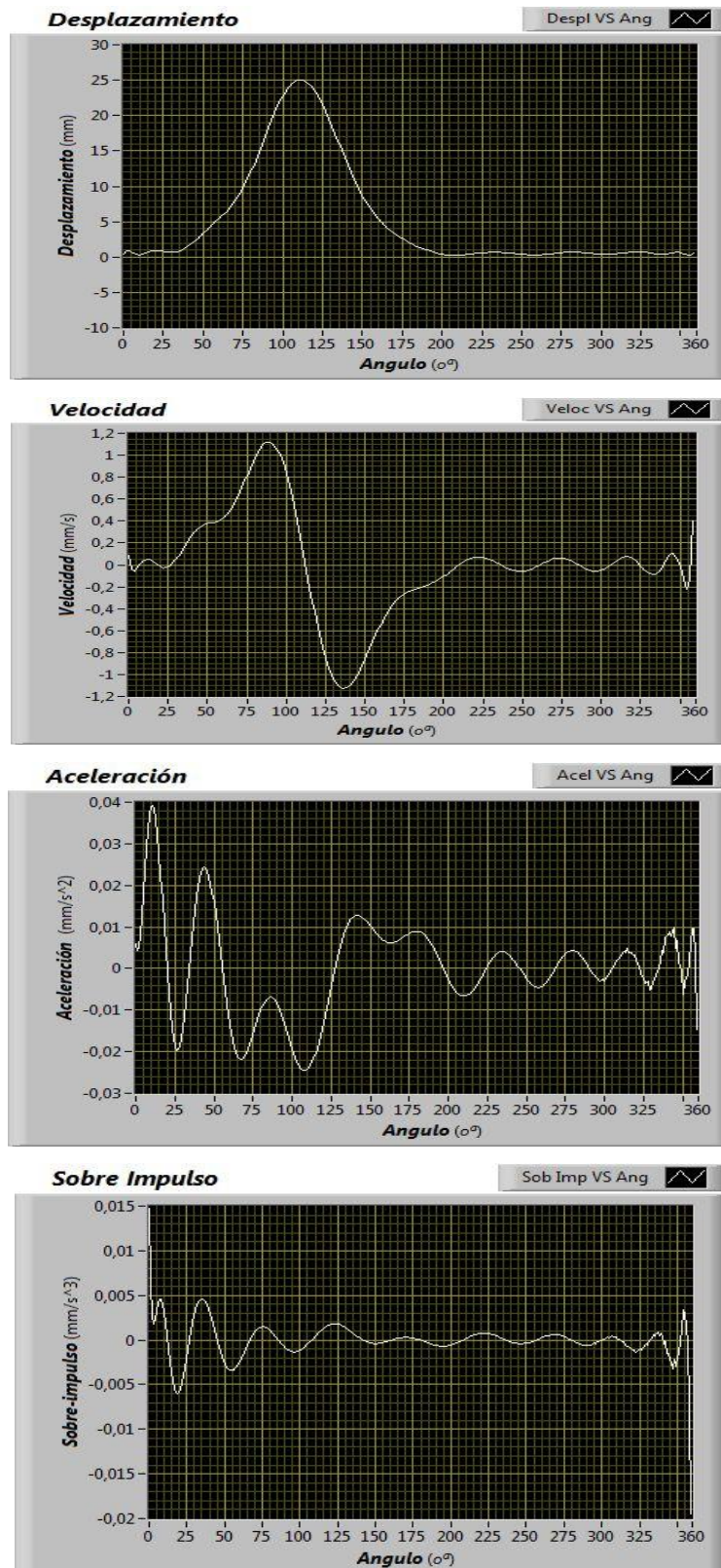


Figura 6.38 Gráficas obtenidas a partir de la digitalización del perfil de la leva cóncava con seguidor de cara plana.

Fuente: Tannia Sailema

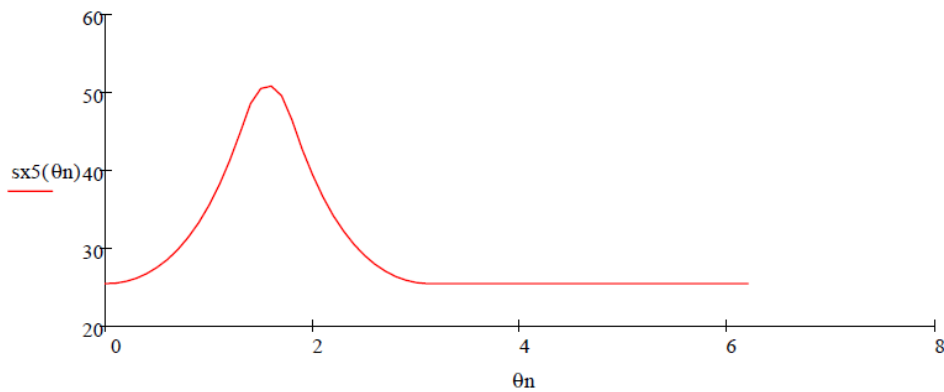


Figura 6.39 Gráfica ideal del desplazamiento de la leva cóncava con seguidor de cara plana.

Fuente: Tannia Sailema

6.6.9.4 LEVA CONVEXA CON SEGUIDOR DE RODILLO

Tabla 6.16 Resultados obtenidos con la Leva Convexa

Angulo	Desplazamiento (mm)	Velocidad (mm/s)	Aceleración (mm/s ²)	Sobre impulso (mm/s ³)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0,03	-0,03	-0,03	-0,03
9	0,06	0,06	0,06	0,06
10	0,14	0,09	0,03	-0,03
11	0,23	0,09	0	-0,03
12	0,31	0,09	0	0
13	0,4	0,09	0	0
14	0,55	0,15	0,06	0,06
15	0,73	0,18	0,03	-0,03
80	18,52	0,52	0,11	-0,03
81	18,77	0,25	-0,27	-0,39
82	19,13	0,36	0,11	0,39
83	19,35	0,22	-0,14	-0,25
84	19,57	0,22	0	0,14
85	19,91	0,34	0,12	0,11
86	20,07	0,15	-0,19	-0,3
87	20,26	0,19	0,04	0,23

Tabla 6.16 (Continuación)

89	20,34	0,08	-0,12	-0,16
90	20,38	0,04	-0,04	0,08
91	20,3	-0,08	-0,08	-0,04
92	20,03	-0,27	-0,19	-0,11
93	20,07	0,04	0,31	0,5
94	20,03	-0,04	-0,08	-0,39
95	20,07	0,04	0,08	0,15
96	19,2	-1,06	-1,1	-1,14
97	19,06	-0,15	0,91	2,01
98	18,73	-0,32	-0,18	-1,09
99	18,38	-0,35	-0,03	0,15
100	18,06	-0,31	0,04	0,07
140	1,17	-0,29	-0,13	-0,3
141	1,08	-0,1	0,19	0,32
142	0,8	-0,28	-0,19	-0,38
143	0,68	-0,12	0,16	0,34
144	0,5	-0,18	-0,06	-0,22
145	0,35	-0,15	0,03	0,09
146	0,26	-0,09	0,06	0,03
147	0,14	-0,12	-0,03	-0,09
148	0,11	-0,03	0,09	0,12
149	0,06	-0,06	-0,03	-0,12
150	0,03	-0,03	-0,03	-0,03
350	0	0	0	0
351	0	0	0	0
352	0	0	0	0
353	0	0	0	0
354	0	0	0	0
355	0	0	0	0
356	0	0	0	0
357	0	0	0	0
358	0	0	0	0
359	0	0	0	0
360	0	0	0	0

Fuente: Tannia Sailema

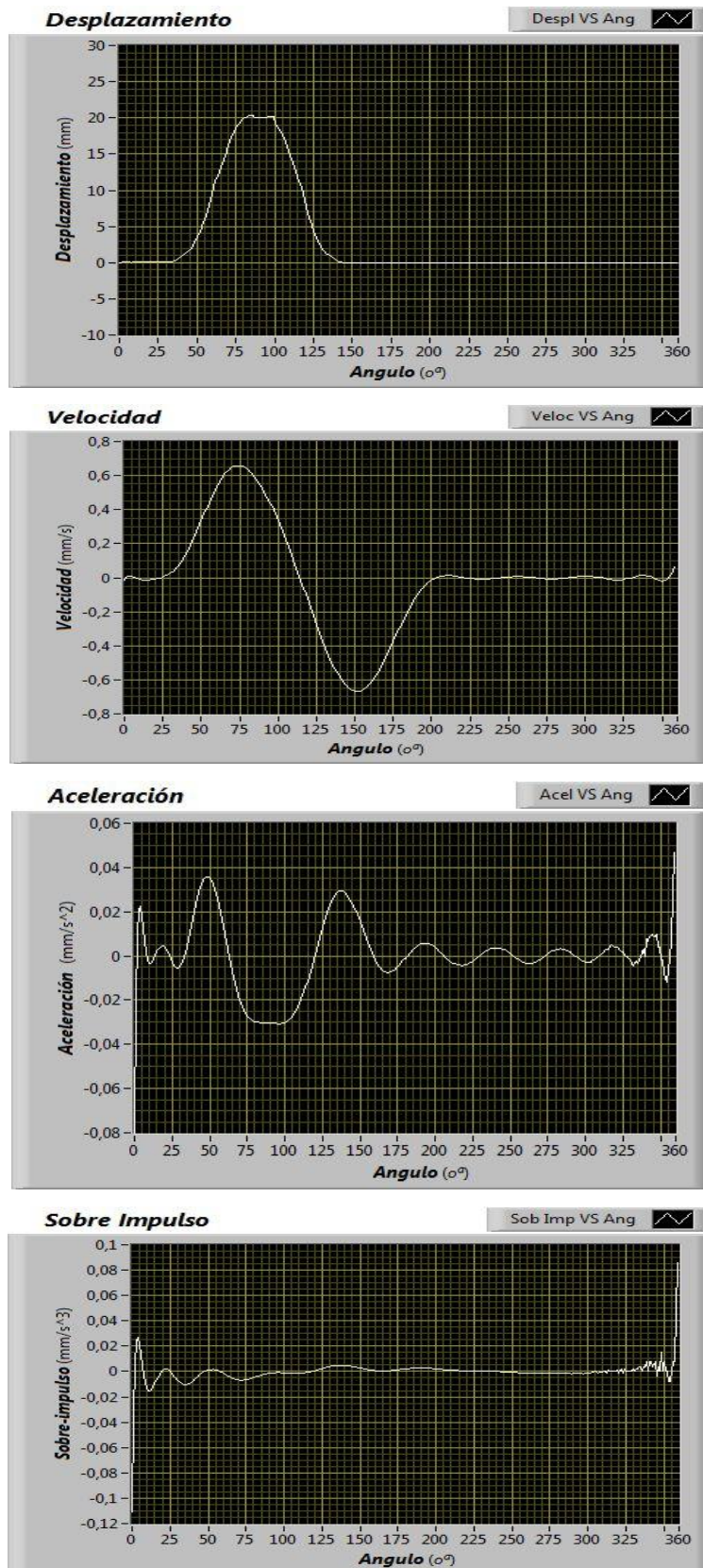


Figura 6.40 Gráficas obtenidas a partir de la digitalización del perfil de la leva convexa

Fuente: Tannia Sailema

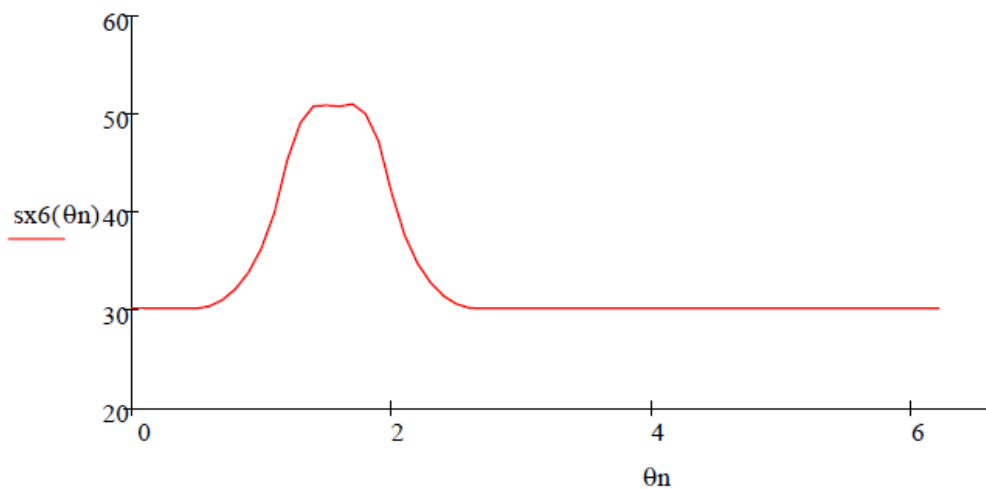


Figura 6.41 Gráfica ideal del desplazamiento de la leva convexa

Fuente: Tannia Sailema

6.7 METODOLOGÍA

A continuación se detalla el proceso utilizado para la construcción de cada elemento.

6.7.1 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO

Para la elaboración de la estructura del banco, iniciamos por la base, en la cual se utilizó una plancha de acero ASTM A-36

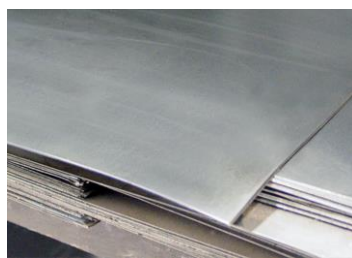


Figura 6.42 Plancha de Acero A36

Fuente: Catálogo DIPAC

Columnas

Para las columnas se escogió el Acero de transmisión AISI 1018. Luego se realizó el roscado y lo colocamos en la base.

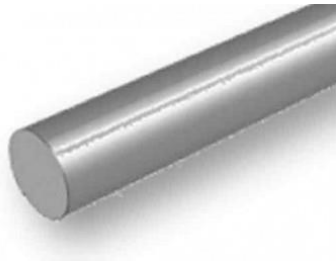


Figura 6.43 Eje AISI 1018

Fuente: Catálogo DIPAC

Soporte del eje motriz

El soporte del eje motriz se lo realizó con Acero A36, el cual ira en la base, con pernos M5.



Figura 6.44 Base eje motriz

Fuente: Tannia Sailema

Eje Motriz

Una vez colocado la base del eje, se ubicará el eje motriz, el cual proporciona el movimiento de la leva, está construido de Acero AISI 1018 HR.



Figura 6.45 Eje motriz

Fuente: Tannia Sailema

Placa guía

Son placas de Acero 1010 y la guía es de bronce para el desplazamiento del mecanismo del seguidor, las dos son regulables para diferentes tipos de levas.

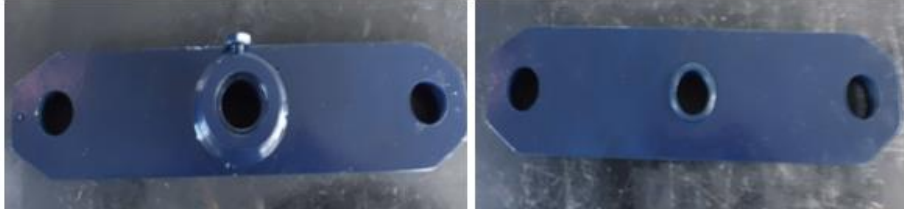


Figura 6.46 Placas Guías

Fuente: Tannia Sailema

Mecanismo seguidor

Es un eje AISI 1018 con una chaveta para mayor sujeción y ajuste al momento de desplazarse.



Figura 6.47 Mecanismo del Seguidor

Fuente: Tannia Sailema

6.7.2 LEVAS

Elegimos el material para la elaboración de las levas. Se seleccionó nylon, ya que es un material de fácil Maquinabilidad.



Figura 6.48 Nylon para el maquinado de las levas

Fuente: Catálogo Prometal

Luego de haber realizado el diseño del perfil de la leva y su movimiento, se realiza el maquinado de las 4 levas diferentes.



Figura 6.49 Levas Maquinadas

Fuente: Tannia Sailema

6.8 ADMINISTRACIÓN

Se debe tomar mucho en consideración los materiales y los equipos que invirtieron para la construcción y automatización del banco.

6.8.1 COSTOS DIRECTOS

Se consideró costos directos a los materiales utilizados

Tabla 6.17 Costos Directos

N°	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
				(\$)	(\$)
1	Plancha de Acero A36 (200m x 400m x 4mm)	1	Unidad	19,5	19,5
2	Eje de acero AISI 1018 (d=5/8")	130	cm	7,5	7,5
3	Eje de acero de transmisión AISI 1018 (d=5/8")	2	Unidad	20	40
4	Placas de acero AISI 1010	2	Unidad	20	40
5	Motor a pasos NEMA 23	1	Unidad	55	55
6	Prisioneros	10	Unidad	0,2	2
7	Driver	1	Unidad	50	50
8	Tarjeta ARDUINO UNO	1	Unidad	40	40
9	Potenciómetro 50k	1	Unidad	3,5	3,5
10	ENCODER	1	Unidad	10	10

Tabla 6.17 (Continuación)

11	Pernos (5" x 1/4) con tuerca	4	Unidad	0,35	1,4
12	Tuerca de 5/8	2	Unidad	2,25	4,5
13	Cables para proto	1	Unidad	4,5	4,5
14	Cromado	1	Unidad	50	50
15	Nylon	120x80x15	mm	20	20
16	Nylon	70x80x13	mm	17	17
17	Rodamientos	2	Unidad	3,5	7
18	Bocín de Bronce Fosfórico	2	Unidad	20,5	41
18	Electrodos 6011 Marca AGA	2	kg	1,85	3,7
20	Fondo	1	Lt	7,8	7,8
21	Pintura negra	1	Lt	10	10
22	Arandelas	3	Unidad	0,1	0,3
23	Transporte de envío	1	Unidad	100	100
TOTAL					534,7

Fuente: Tannia Sailema

6.8.2 COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos representan los egresos por motivo de mano de obra, alquiler del taller, etc.

Tabla 6.18 Costos Indirectos

Nº	Descripción	Costo(\$)
1	Mano de obra y taller	250
2	Traslados	80
3	Gastos informáticos	100
4	Impresiones	80
5	Imprevistos	80
TOTAL		590

Fuente: Tannia Sailema

6.8.3 COSTO TOTAL DEL PROYECTO

El costo total de la inversión está constituido por los costos directos e indirectos.

Tabla 6.19 Costo Total

Nº	Descripción	Costo(\$)
1	Costos directos	534,7
2	Costos indirectos	590
TOTAL		1124,7

Fuente: Tannia Sailema

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

El banco con mecanismo de leva está construido con la finalidad de visualizar el perfil de las levas y el de sus parámetros cinemáticos como lo son la velocidad y aceleración de cada una de ellas, para ver su comportamiento una vez que se realiza el maquinado.

Los parámetros que se pueden controlar son la velocidad, la forma de obtener las tablas de datos y la posición mediante el sensor de barrera para realizar las lecturas desde un punto de referencia común para todas las levas. Para ello se debe realizar una guía de práctica, la cual nos permitirá utilizar adecuadamente el mecanismo y obtener datos correctos del perfil.

BIBLIOGRAFÍA

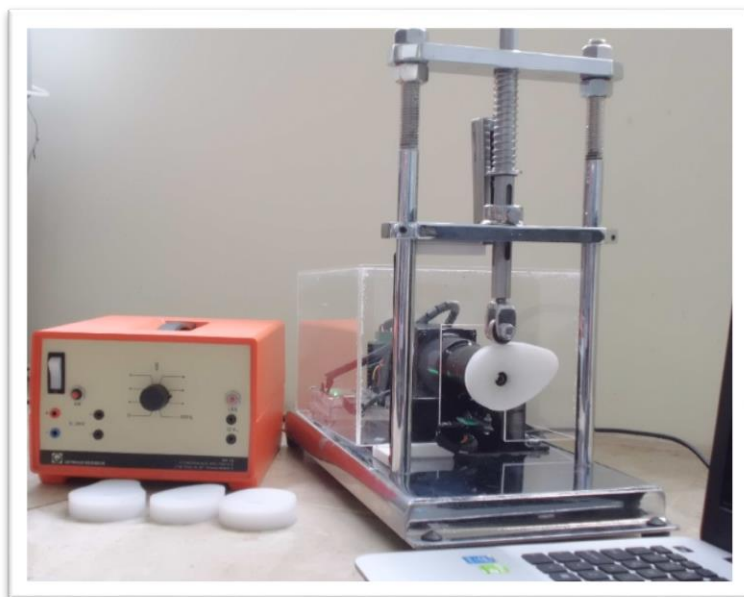
- [1] S. Tropea. (2001). *Proyecto FPGA libre*. [Online]. Disponible: <http://fpgalibre.sourceforge.net/testbenches/intro-concepto.html>.
- [2] A. Edman y G. Sando, *Diseño de Mecanismos*, Mexico: Margareteweist, 1998.
- [3] D. Myszka, *Máquinas y Mecanismos*, México: Pearson Educación, 2006.
- [4] A. Mejía. (2012). *Mecanismos de leva y seguidor*. Universidad Tecnológica de Pereira. [Online]. Disponible: <http://blog.utp.edu.co>
- [5] S. Carrizosa y G. León , *Introducción a los Mecanismos*, México: Instituto Politecnico Nacional, 2000.
- [6] R. Norton, *Diseño de Maquinaria*, México: McGraw-Hill, 2005.
- [7] J. Shigey y J. Uicker, *Teoria de Máquinas y Mecanismos*, México: McGraw-Hill, 1985.
- [8] H. Rubio. (2010). *Mecanismo de leva*. Universidad Carlos III Madrid. [Online]. Disponible: https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads
- [9] M. Falconara, *Catálogo CM 25*, Sof-Engine, Italia, 2014.
- [10] A. Salem, *Catálogo ME 450*, EdLabQuip, Alemania, 2014.
- [11] H. Renken, *Catálogo GL 110*, Gunt Hamburg, Alemania, 2014.
- [12] W. Bolton, *Mecatrónica*, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2002.
- [13] Bolzern, Axattolini y Schiavoni, *Fundamentos de Control Automático*, Madrid: McGraw-Hill, 2009.

- [14] I. Escalona , *Transductores y Sensores en la Automatización Industrial*, Argentina: Cid Editor, 2007.
- [15] P. Daneri, *Automatización y Control Industrial, Argentina*: Editorial HASA, 2008.
- [16] R. Sánchez, *Accionamiento y Actuadores Eléctricos*, España: Universidad de Huelva, 2008.
- [17] A. Vandelvira, *Motores Asíncronos de Inducción*, España: Departamento de SAP, 2011.
- [18] J. Roldan, *Motores Eléctricos*, Madrid: Paraninfo, 2002.
- [19] F. Conti, *Motores paso a paso*, Buenos Aires : Alsina, 2011.
- [20] E. Carletti. (2007.) *Motores paso a paso, Características Básicas, Robots*. [Online]. Disponible: http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm.
- [21] C. López y M. Ceccarrelli, *MECANISMOS*, Mexico: Trillas, 2008.
- [22] C. Ham y E. Crane, *Mecánica de Máquinas*, México: McGraw-Hill, 1980.
- [23] T. French, Vierck y Charles, *Dibujo de Ingeniería*, México: McGraw-Hill, 2011.
- [24] R. Budynas y J. Nisbett, *Diseño en Ingeniería Mecánica*, México: McGraw-Hill, 2012.
- [25] R. Riba, *Diseño Concurrente*, Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya, 2002.

ANEXOS

ANEXO A: MANUAL DE USUARIO

BANCO DE PRUEBAS CON MECANISMO DE LEVA - SEGUIDOR



MANUAL DE INSTRUCCIONES

Índice de Contenidos

1. Introducción
2. Estructura y función
 - 2.1 Finalidad
 - 2.2 Estructura
 - 2.3 Función
3. Especificaciones técnicas
4. Configuración de programa
5. Procedimiento de pruebas
6. Mantenimiento

Introducción

El objetivo de este manual es proporcionar al usuario una herramienta para comprender el procedimiento para realizar pruebas en el banco, incluso si el usuario no tiene ningún conocimiento acerca del tema.

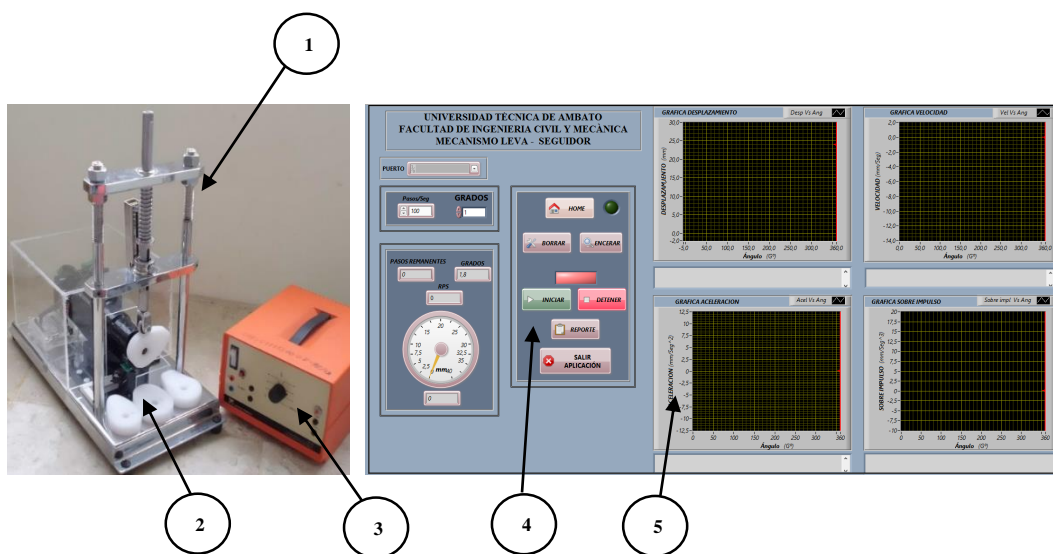
En el manual el usuario podrá encontrar información importante relacionada con los componentes que conforman el banco, el procedimiento de instalación de los componentes y las pruebas para verificar el perfil de la leva así como sus parámetros cinemáticos.

2. Estructura y función

2.1 Finalidad

El banco de pruebas se ha previsto para comprobar el perfil de diferentes levas y sus parámetros cinemáticos.

2.3 Estructura



1. Banco.

2. Levas.

3. Fuente de energía.

4. Botones de Control.

5. Gráficas de control de perfil de leva.

2.3 Función

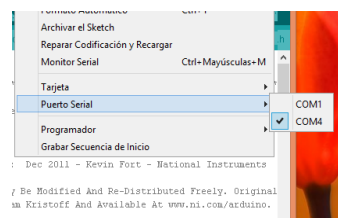
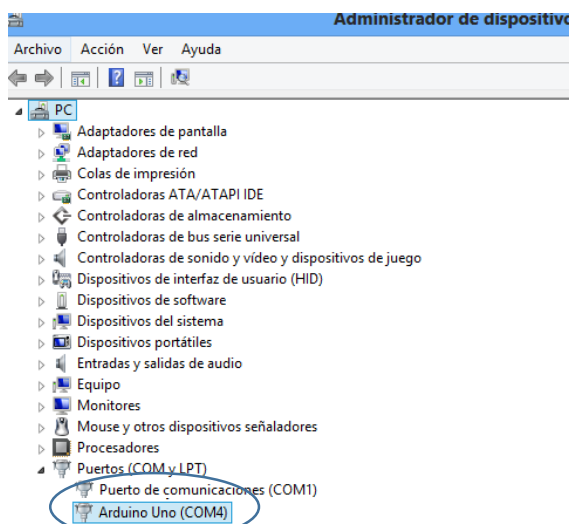
Mediante el banco de pruebas se pueden realizar la verificación del perfil de la leva, en él se incluyen cuatro levas diferentes. Las variables que se pueden medir con estas pruebas son: el desplazamiento, la velocidad, la aceleración y el sobreimpulso.

3. Especificaciones técnicas

- Alimentación Driver : 24-50V / 1-4.5 A
- Alimentación Motor a pasos: 24 V/ 3A
- Arduino se alimenta con un voltaje de 5V

4. Configuración del programa

- Primero antes de abrir el programa verificar el puerto de comunicación del Arduino. En el administrador de dispositivos debe aparecer en los puertos COM.



- Escogemos el puerto del COM que se ha instalado en el computador

5. Procedimiento de pruebas

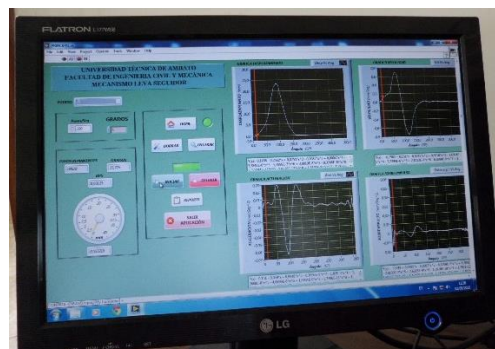
1. Ubicar el banco en una zona adecuada.
2. Conectar el la tarjeta ARDUINO
3. Conectar el tomacorriente de la fuente a un enchufe de 220v asegurándose que este sea monofásico.



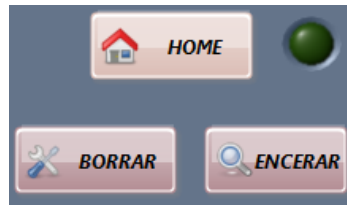
4. Colocamos la leva con la que se desea realizar la práctica



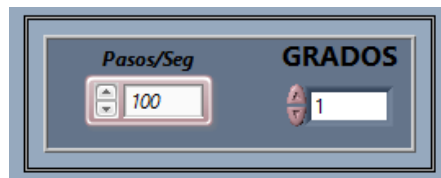
5. Abrimos el Project de labview y seleccionamos el panel principal.



6. Trasladamos la leva a su posición de inicio, luego borramos y enceramos.



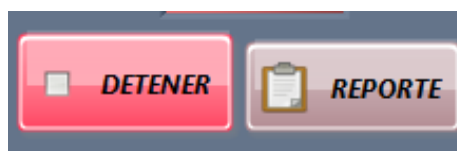
7. Seleccionamos la velocidad la cual viene en pasos por segundo y los grados para obtener los datos en un cierto intervalo.



8. Luego de configurar la velocidad pulsamos INICIAR y la leva empieza a desplazarse.



9. Cuando ya se finaliza el desplazamiento de la leva y queremos obtener el reporte de su perfil, pulsamos primero DETENER y luego REPORTE.



5. Mantenimiento

- Limpiar el banco cada vez que lo este se utilice
- Revisar los terminales de las conexiones
- Revisar el amperaje que entra al motor por posible recalentamiento.
- Revisar los cables de alimentación por posibles grietas en el aislante.

ANEXO B: DISEÑO MECÁNICO

ANEXO B1: Coeficiente de rozamiento entre materiales.

MATERIAL 1	MATERIAL 2	FRICCIÓN SECA	FRICCIÓN CON LUBRICACIÓN
BRONCE	ACERO	0.22	0.13
GRAFITO	ACERO	0.1	0.1
DIAMANTE	ACERO	0.15	0.1
DIAMANTE	DIAMANTE	0.1	0.05

ANEXO B2: Catálogo de selección de motor a pasos



Series	Nema	Size(mm)	Step Angle(°)	Holding Torque(Ncm)
8HS	8	20x20	1.8	1.6-4
11HS	11	28x28	1.8	2-12
14HM	14	35x35	0.9	5-20
14HS	14	35x35	1.8	5-20
14HR	14	36(Round)	0.9	4-12
16HM	16	39x39	0.9	8-25
16HS	16	39x39	1.8	6.5-32
17HM	17	42x42	0.9	11-44
23HM	23	57x57	0.9	30-150
23HT	23	57x57	1.2	45-170
23HS	23	57x57	1.8	30-280
24HS	24	60x60	1.8	100-400
34HF	34	86x86	0.72	220-620
34HT	34	86x86	1.2	230-680
34HS	34	86x86	1.8	280-1300

ANEXO B3: Propiedades de los aceros

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

ANEXO B4: Factor de la condición superficial

Acabado superficial	Factor <i>a</i>		Exponente <i>b</i>
	<i>S_{utr}</i> kpsi	<i>S_{utr}</i> MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3. núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Horger (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

ANEXO B5: Factor de temperatura

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

*Fuente de datos: figura 2-9.

ANEXO B6: Factor de confiabilidad

Tabla 6-5

Factores de confiabilidad k_e correspondientes a 8 desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga

Confiabilidad, %	Variación de transformación α_e	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

ANEXO B7: Propiedades Mecánicas del Acero Estructural ASTM A36

Propiedades mecánicas (ASTM A36/A36M-08):

Propiedad		ksi	MPa
Límite Elástico (Yield Strength)	Min	36	250
	Max	---	---
Resistencia a la Tensión (Tensile Strength)	Min	58	400
	Max	80	550
Elongación en 200 mm (%) (*)	Min	20	
	Max	---	
Elongación en 50 mm (%) (*)	Min	23	
	Max	---	

* Para placas de ancho mayor a 600mm, los requerimientos de elongación se reduce en dos puntos porcentuales.
 ** La orientación de las piezas para prueba deberán ser acorde a ASTM A6

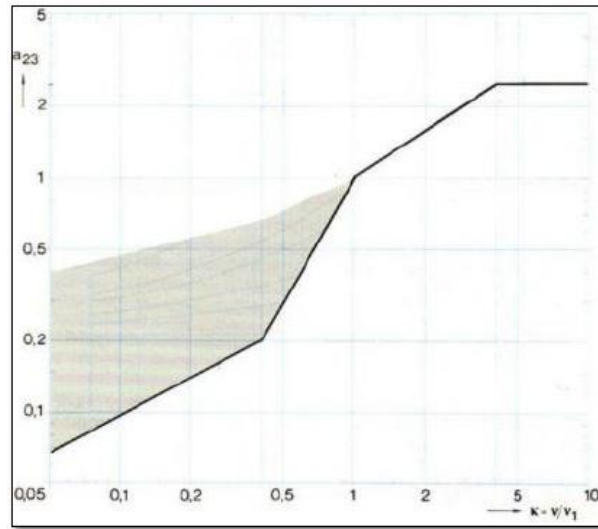
ANEXO B8: Valores de la duración L_{10h} para diferentes clases de máquinas.

Clases de máquinas	L_{10h} horas de servicio
Electrodomésticos, máquinas, agrícolas instrumentos, aparatos técnicos para uso medico.	300 a 3000
Máquinas de uso intermitentes o por cortos periodos: Máquinas-herramientas portátiles, aparatos elevadores en talleres, máquinas para la construcción.	3 000 a 8 000
Máquinas para trabajar con alta habilidad de funcionamiento durante cortos periodos o intermitentes. Ascensores, grúas para mercancías embaladas o cabecillos de tambores, embaladoras, etc.	8 000 a 1 200
Máquinas para 8 horas de trabajo, no totalmente utilizadas: Transmisiones de engranajes para uso general, motores eléctricos para uso industrial, machacadoras giratorias.	10 000 a 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas: Máquinas herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria mecánica general, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de imprimir centrifugas y separadoras.	20 000 a 30 000
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día: Cajas de engranajes para laminadoras, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil.	40 000 a 50 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria propulsora para transatlánticos.	60 000 a 100 000
Maquinaria para la fabricación de papel y pasta de papel, maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, bombas y ventiladores para minas, rodamientos para la línea de ejes transatlánticos.	□ 100 000

ANEXO B9: Rodamientos de bolas Catálogo SKF

Dimensiones principales			Capacidad de carga		Referencias Rodamientos base	Velocidad límite				
d	D	B	C	C_0		Rodamientos para temperaturas extremas VA208	VA201 VA228	Rodamientos SKF DryLube ¹⁾ VA210, VA260 VA2101 VA2103, VA270 VA261		VA237 VA267
mm			kN			rpm				
10	26	8	4,75	1,96	6000	250	500	830	3 300	6 700
	30	9	5,4	2,36	6200	230	450	750	3 000	6 000
	35	11	8,52	3,4	6300	200	400	670	2 700	5 300
12	28	8	5,4	2,36	6001	230	450	750	3 000	6 000
	32	10	7,28	3,1	6201	200	410	680	2 700	5 500
	37	12	10,1	4,15	6301	180	370	610	2 400	4 900
15	32	9	5,85	2,85	6002	190	380	640	2 600	5 100
	35	11	8,06	3,75	6202	180	360	600	2 400	4 800
	42	13	11,9	5,4	6302	160	320	530	2 100	4 200

ANEXO B10: Factor a23



ANEXO B11: Propiedades de pernos

Diámetros y área de roscas unificadas de tornillo UNC y UNF

Designación de tamaño	Diámetro mayor nominal pulg	Serie gruesa-UNC			Serie fina-UNF		
		Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión A_s , pulg ²	Área del diámetro menor A_r , pulg ²	Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión A_s , pulg ²	Área del diámetro menor A_r , pulg ²
0	0.0600				80	0.001 80	0.001 51
1	0.0730	64	0.002 63	0.002 18	72	0.002 78	0.002 37
2	0.0860	56	0.003 70	0.003 10	64	0.003 94	0.003 39
3	0.0990	48	0.004 87	0.004 06	56	0.005 23	0.004 51
4	0.1120	40	0.006 04	0.004 96	48	0.006 61	0.005 66
5	0.1250	40	0.007 96	0.006 72	44	0.008 80	0.007 16
6	0.1380	32	0.009 09	0.007 45	40	0.010 15	0.008 74
8	0.1640	32	0.014 0	0.011 96	36	0.014 74	0.012 85
10	0.1900	24	0.017 5	0.014 50	32	0.020 0	0.017 5
12	0.2160	24	0.024 2	0.020 6	28	0.025 8	0.022 6
$\frac{1}{4}$	0.2500	20	0.031 8	0.026 9	28	0.036 4	0.032 6
$\frac{5}{16}$	0.3125	18	0.052 4	0.045 4	24	0.058 0	0.052 4
$\frac{3}{8}$	0.3750	16	0.077 5	0.067 8	24	0.087 8	0.080 9
$\frac{7}{16}$	0.4375	14	0.106 3	0.093 3	20	0.118 7	0.109 0
$\frac{1}{2}$	0.5000	13	0.141 9	0.125 7	20	0.159 9	0.148 6
$\frac{9}{16}$	0.5625	12	0.182	0.162	18	0.203	0.189
$\frac{5}{8}$	0.6250	11	0.226	0.202	18	0.256	0.240
$\frac{3}{4}$	0.7500	10	0.334	0.302	16	0.373	0.351
$\frac{7}{8}$	0.8750	9	0.462	0.419	14	0.509	0.480
1	1.0000	8	0.606	0.551	12	0.663	0.625
$1\frac{1}{4}$	1.2500	7	0.969	0.890	12	1.073	1.024
$1\frac{1}{2}$	1.5000	6	1.405	1.294	12	1.581	1.521

*Esta tabla se compiló de la norma ANSI B1.1-1974. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación $d_r = d - 1.299\ 038p$ y el diámetro de paso o partir de $d_p = d - 0.649\ 519p$. Para calcular el área de esfuerzo de tensión se usaron la media del diámetro de paso y el diámetro menor.

ANEXO C: SISTEMA DE CONTROL

ANEXO C1: Características técnicas del ARDUINO UNO

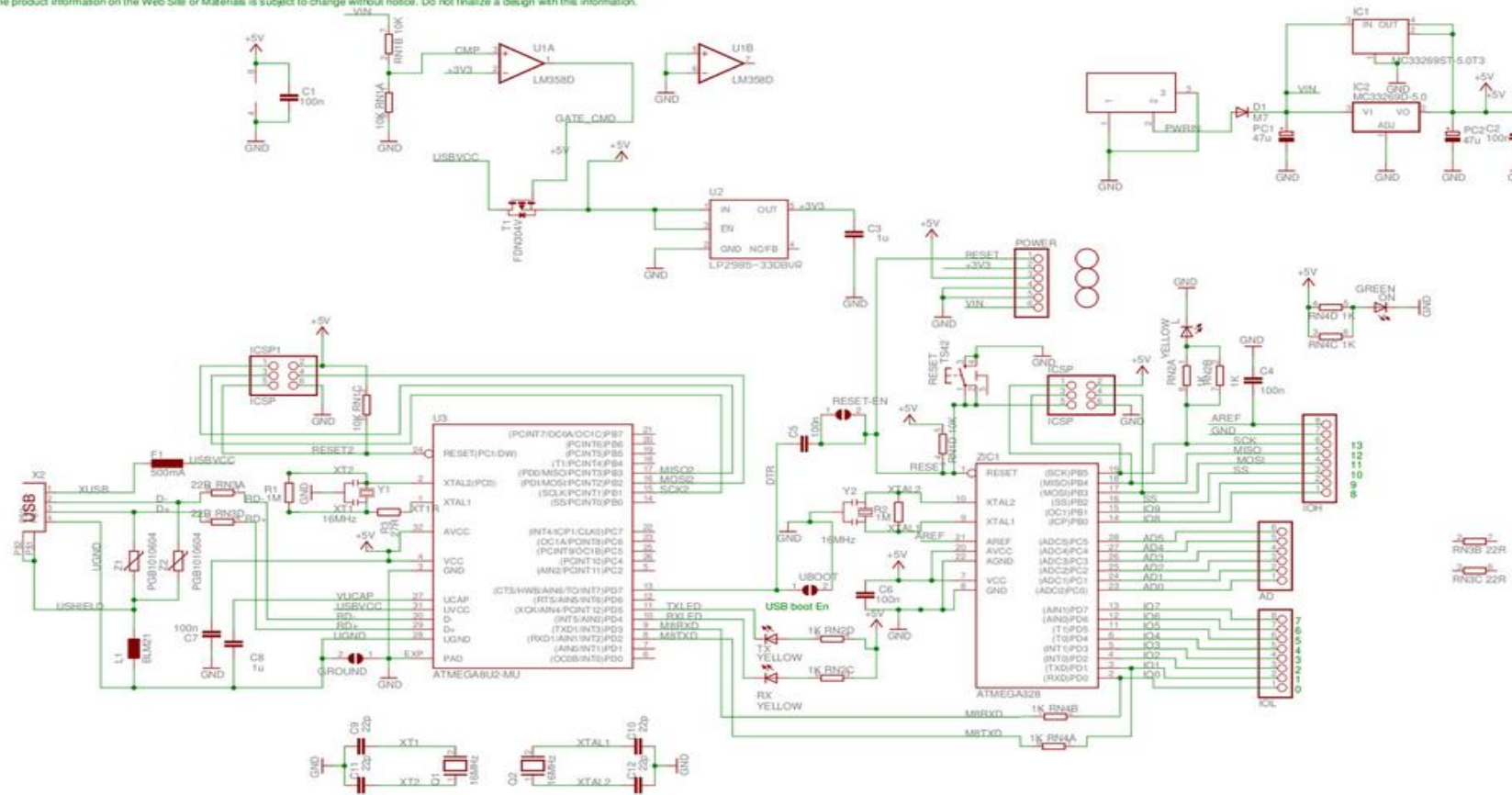
Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de operación	5V
Voltaje de entrada (Recomendado)	7 – 12V
Voltaje de entrada (Límite)	6 – 20V
Pines para entrada- salida digital.	14 (6 pueden usarse como salida de PWM)
Pines de entrada analógica.	6
Corriente continua por pin IO	40 mA
Corriente continua en el pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (0,5 KB ocupados por el bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz

ANEXO C2: Esquema ARDUINO UNO

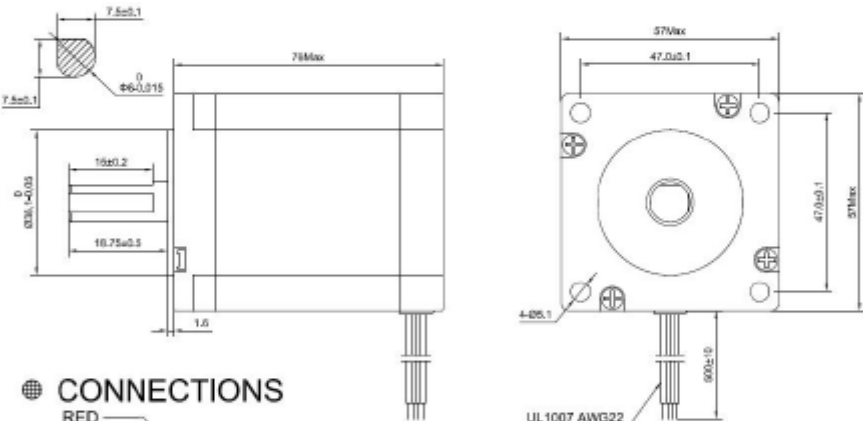




Arduino™ UNO Reference Design

Reference Designs ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS". Arduino DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.

Arduino may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." Arduino reserves the right for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.

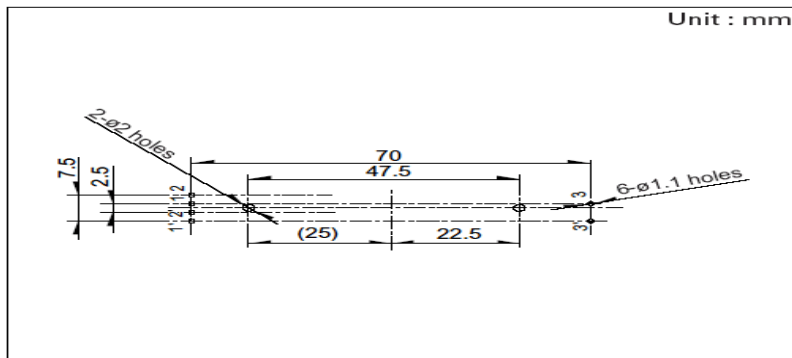
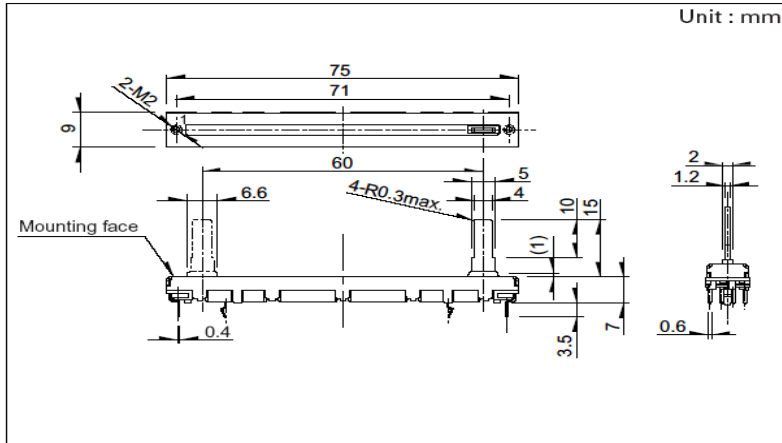


ANEXO C3: Motor a pasos

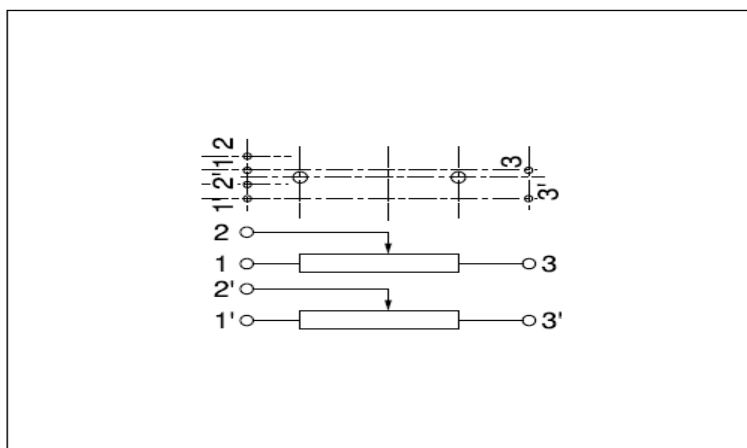
<h1 style="margin: 0;">Nema 23 Hybrid Stepper Motor</h1>		Rev: A																																				
		Date: 140306																																				
<p>COMMON RATINGS</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%;">Step angle : 1.8°</td> <td style="width: 33%;">Dielectric strength : 500VAC</td> <td style="width: 33%;"></td> </tr> <tr> <td>Positional accuracy : ±5%</td> <td>Insulation resistance : 100Mohm(500VDC)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Number of Phase : 2</td> <td>Ambient Temperature :-10℃~50℃</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Temperature rise : 80℃MAX</td> <td>Insulation class : B</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rotor Inertia : 460gcm²</td> <td>Weight : 1.0Kg</td> <td></td> </tr> </table>			Step angle : 1.8°	Dielectric strength : 500VAC		Positional accuracy : ±5%	Insulation resistance : 100Mohm(500VDC)		Number of Phase : 2	Ambient Temperature :-10℃~50℃		Temperature rise : 80℃MAX	Insulation class : B		Rotor Inertia : 460gcm ²	Weight : 1.0Kg																						
Step angle : 1.8°	Dielectric strength : 500VAC																																					
Positional accuracy : ±5%	Insulation resistance : 100Mohm(500VDC)																																					
Number of Phase : 2	Ambient Temperature :-10℃~50℃																																					
Temperature rise : 80℃MAX	Insulation class : B																																					
Rotor Inertia : 460gcm ²	Weight : 1.0Kg																																					
<p>SPECIFICATIONS</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="font-size: small;">Holding Torque (2 phases on) oz-in/N.m</th> <th style="font-size: small;">Rated Current/Phase (Amps DC)</th> <th style="font-size: small;">Phase Resistance (ohms) ±10%</th> <th style="font-size: small;">Voltage Current/Phase (V DC)</th> <th style="font-size: small;">Phase Inductance (mH)±20%(1KHz) Typical</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>283.0/2.0</td> <td>3.0</td> <td>1.5</td> <td>4.5</td> <td>4.2</td> </tr> </tbody> </table>			Holding Torque (2 phases on) oz-in/N.m	Rated Current/Phase (Amps DC)	Phase Resistance (ohms) ±10%	Voltage Current/Phase (V DC)	Phase Inductance (mH)±20%(1KHz) Typical	283.0/2.0	3.0	1.5	4.5	4.2																										
Holding Torque (2 phases on) oz-in/N.m	Rated Current/Phase (Amps DC)	Phase Resistance (ohms) ±10%	Voltage Current/Phase (V DC)	Phase Inductance (mH)±20%(1KHz) Typical																																		
283.0/2.0	3.0	1.5	4.5	4.2																																		
<p>DIMENSIONS unit=mm</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div>																																						
<p>CONNECTIONS</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>RED A</p>  </div> <div style="margin-right: 20px;"> <p>GRN A</p>  </div> <div style="margin-right: 20px;"> <p>YEL B</p>  </div> <div> <p>BLU B</p>  </div> </div> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;">Note: 1. Lead Wires Should Be Stripped & Tinned. 2. All The Parts Are CE & RoHS Certified.</p>																																						
23HS30-3004S		技术规格书																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <tr> <th>标记</th> <th>数量</th> <th>分区</th> <th>更改文件号</th> <th>签名</th> <th>日期</th> </tr> <tr> <td>设计</td> <td></td> <td></td> <td>标准化</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>审核</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>工艺</td> <td></td> <td></td> <td>批准</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		标记	数量	分区	更改文件号	签名	日期	设计			标准化			审核						工艺			批准			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: x-small;"> <tr> <td style="width: 25%;">阶段</td> <td style="width: 25%;">标记</td> <td style="width: 25%;">重量</td> <td style="width: 25%;">比例</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">共 张</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">第 张</td> </tr> </table>	阶段	标记	重量	比例					共 张		第 张	
标记	数量	分区	更改文件号	签名	日期																																	
设计			标准化																																			
审核																																						
工艺			批准																																			
阶段	标记	重量	比例																																			
共 张		第 张																																				
OSM TECHNOLOGY																																						

ANEXO C4: Dimensiones del potenciómetro 10K

Dimensions



Disposición de terminales Diagrama / Circuito

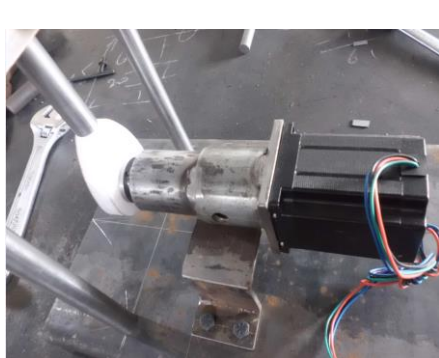


ANEXO D: FOTOS

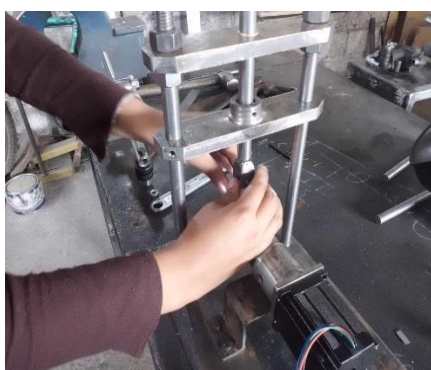
Anexo D1: Construcción de la base del eje motriz



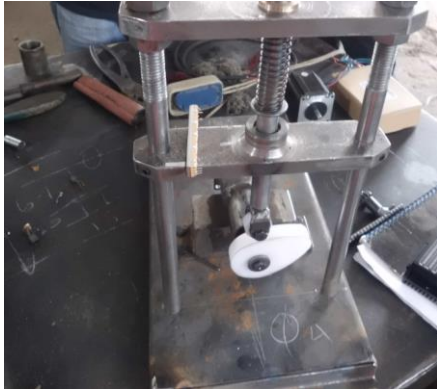
Anexo D2: Construcción de la estructura



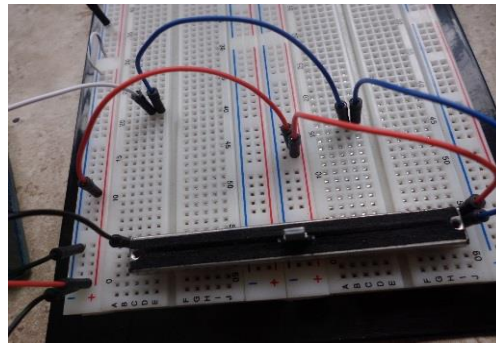
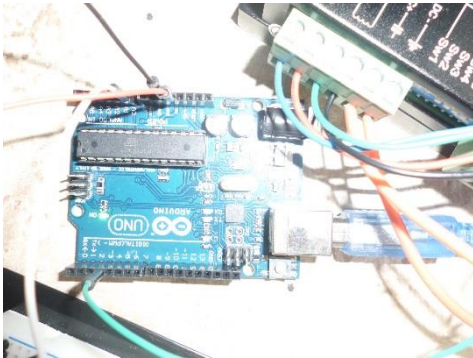
Anexo D3: Construcción de mecanismo del seguidor



Anexo D4: Colocación del potenciómetro lineal



Anexo D5: Pruebas con el ARDUINO y el potenciómetro

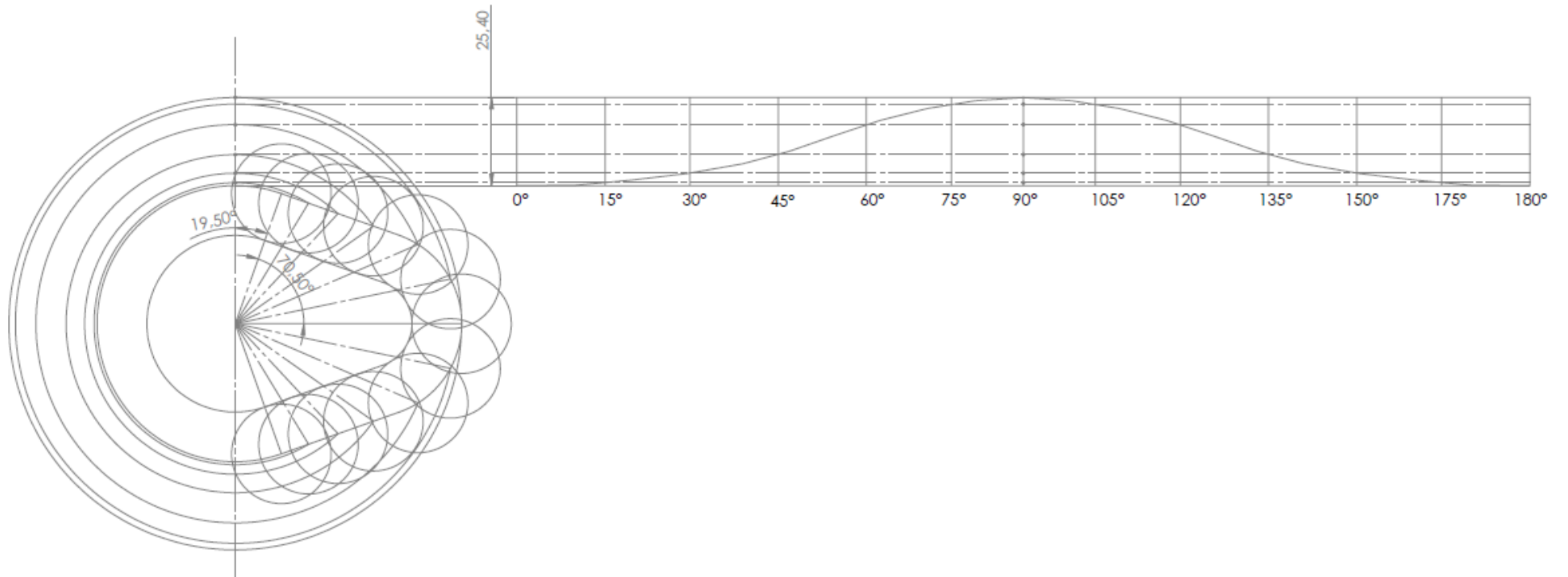


Anexo D6: Pruebas de Funcionamiento

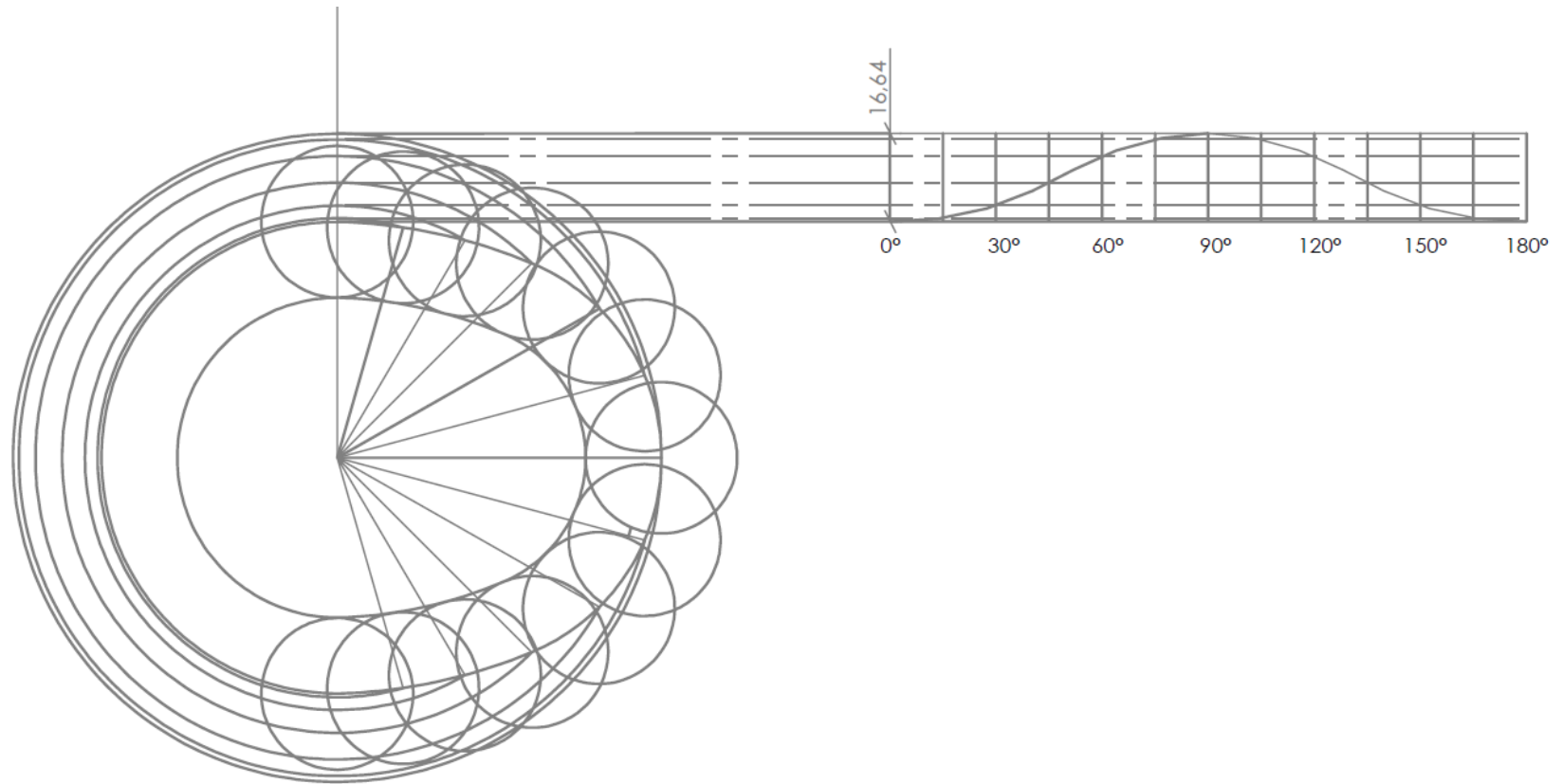


ANEXO E: DIAGRAMAS DE DESPLZAMIENTO DEL SEGUIDOR

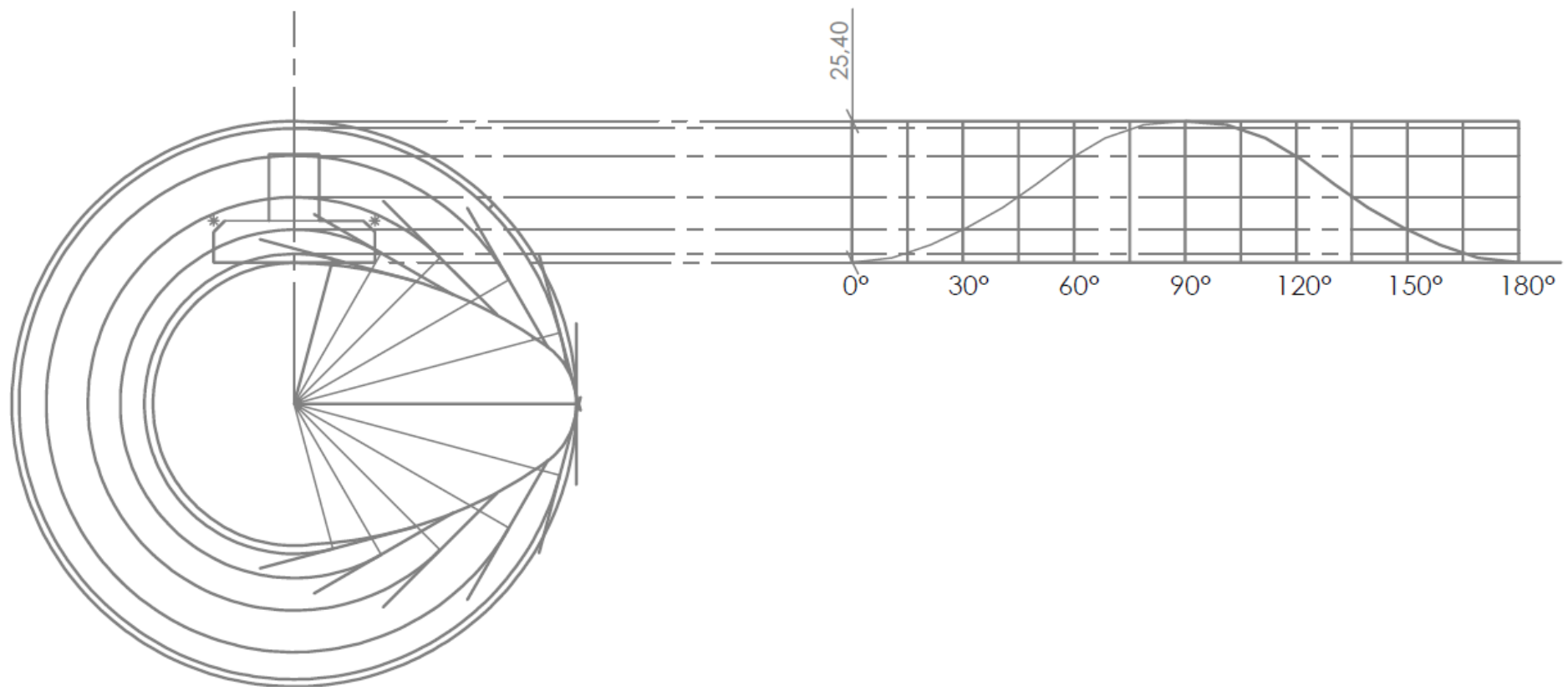
Anexo E1: Diagrama de desplazamiento de la leva tangencial con seguidor de rodillo.



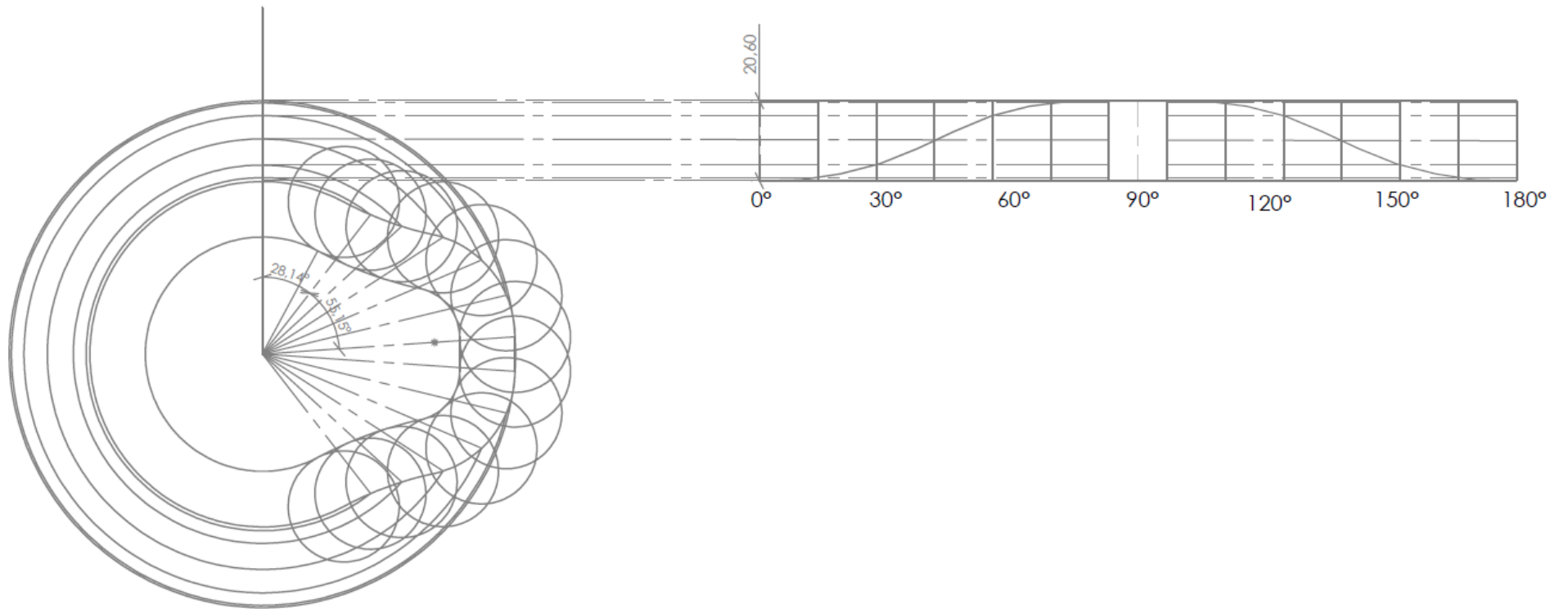
Anexo E2: Diagrama de desplazamiento de la leva cóncava con seguidor de rodillo.



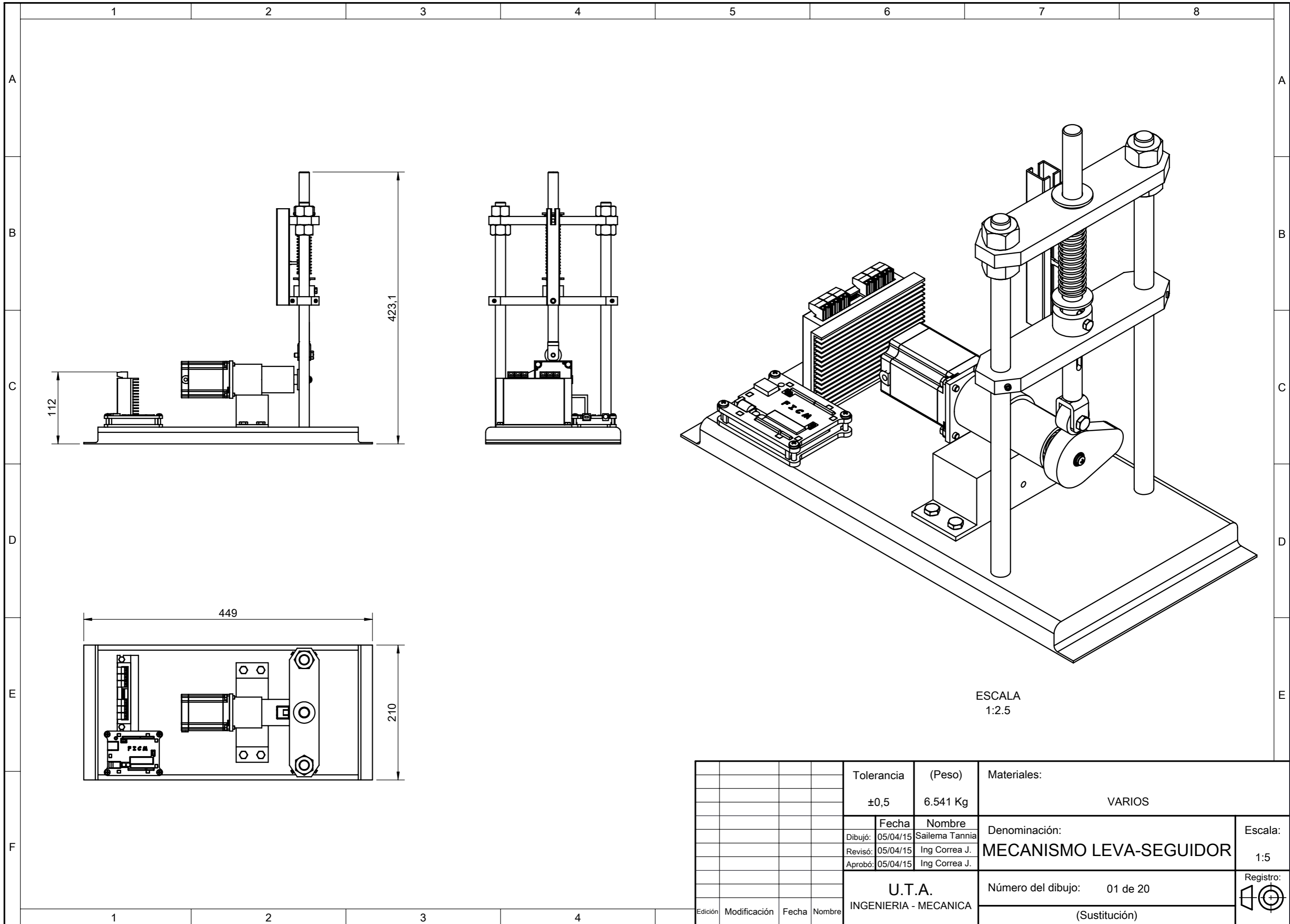
Anexo E3: Diagrama de desplazamiento de la leva cóncava con seguidor de cara plana.

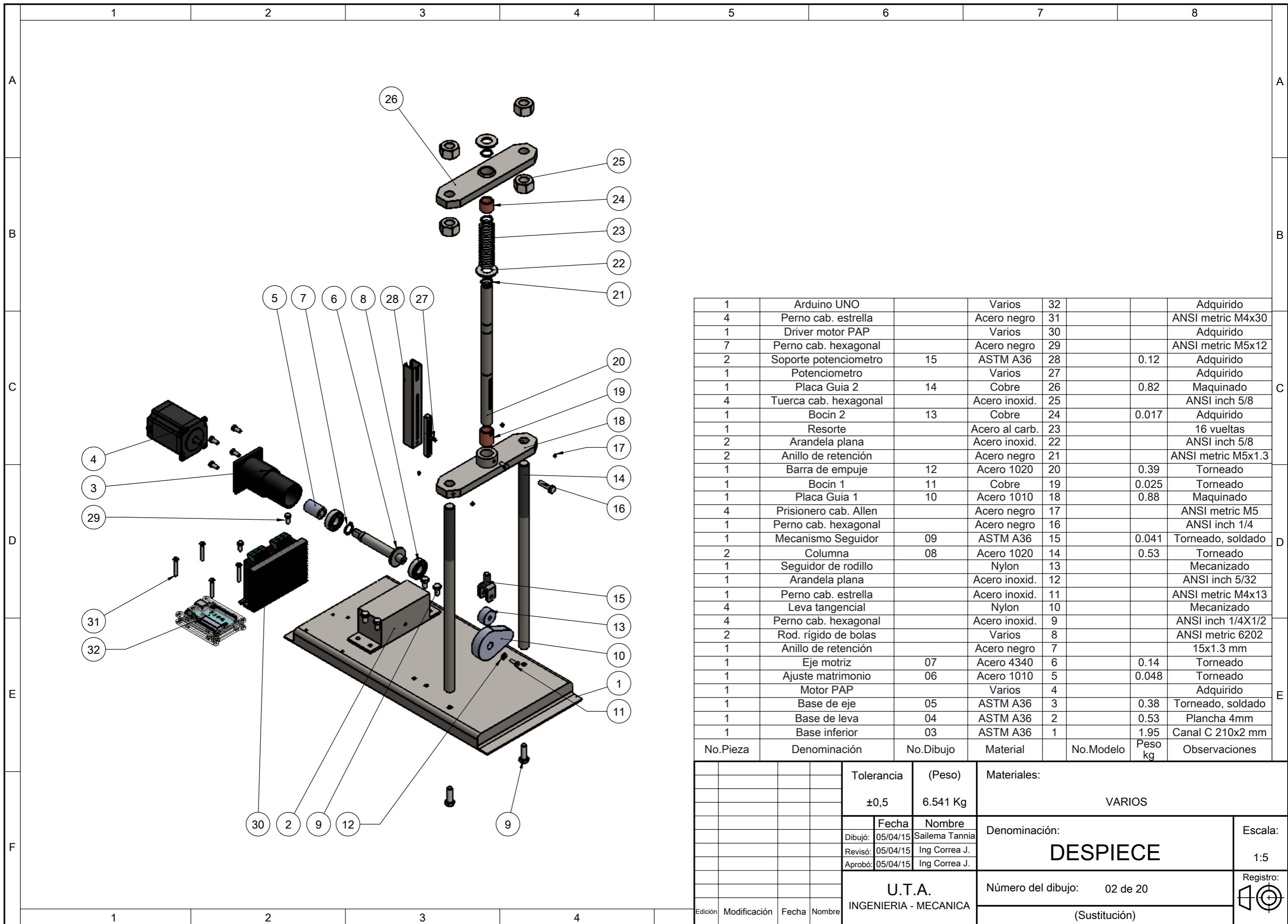


Anexo E4: Diagrama de desplazamiento de la leva convexa con seguidor de rodillo.



ANEXO F: PLANOS

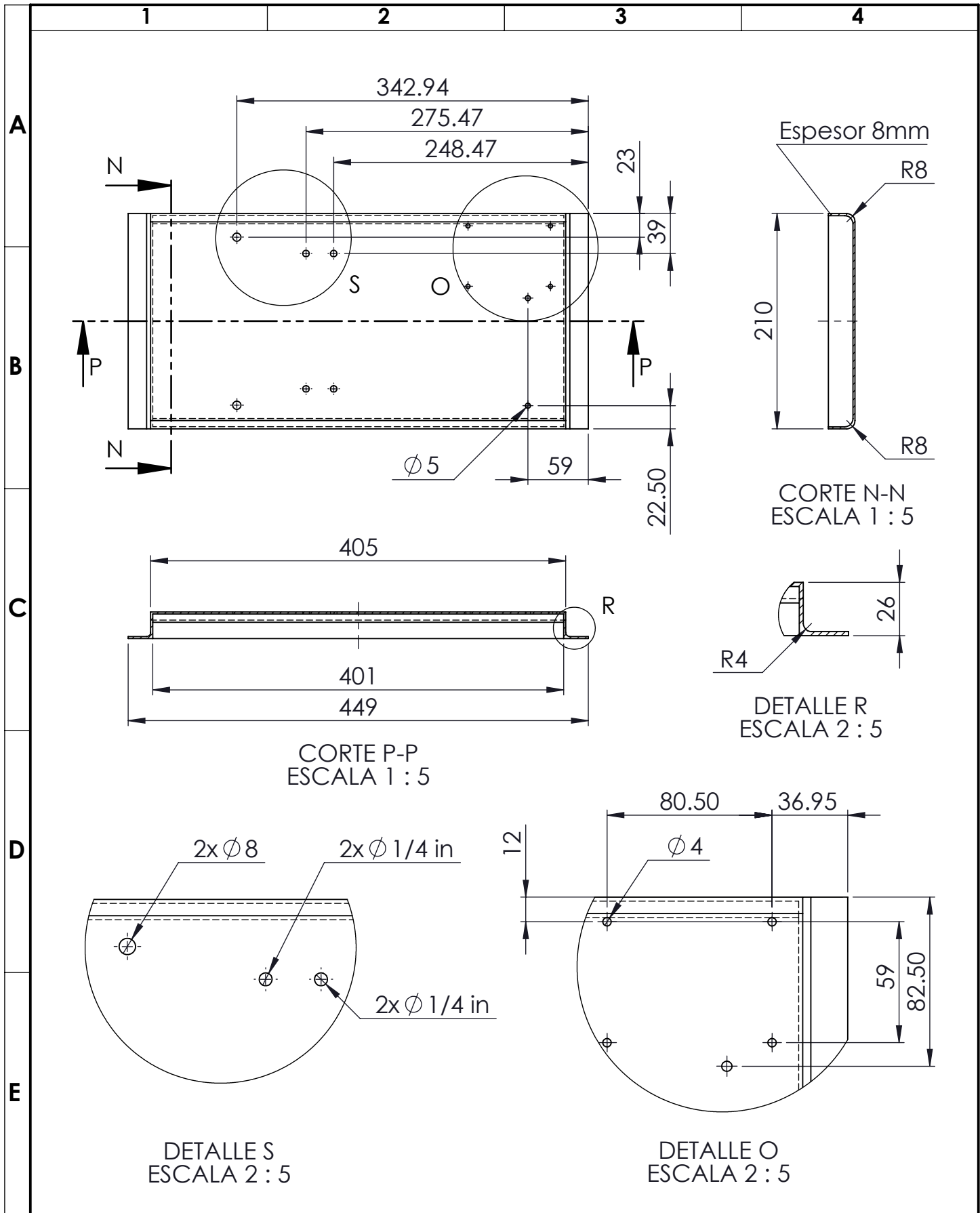




No.Pieza	Denominación	No.Dibujo	Material	No.Modelo	Peso kg	Observaciones
1	Arduino UNO		Varios	32		Adquirido
4	Perno cab. estrella		Acero negro	31		ANSI metric M4x30
1	Driver motor PAP		Varios	30		Adquirido
7	Perno cab. hexagonal		Acero negro	29		ANSI metric M5x12
2	Soporte potenciometro	15	ASTM A36	28	0.12	Adquirido
1	Potenciometro		Varios	27		Adquirido
1	Placa Guia 2	14	Cobre	26	0.82	Maquinado
4	Tuerca cab. hexagonal		Acero inoxid.	25		ANSI inch 5/8
1	Bocin 2	13	Cobre	24	0.017	Adquirido
1	Resorte		Acero al carb.	23		16 vueltas
2	Arandela plana		Acero inoxid.	22		ANSI inch 5/8
2	Anillo de retención		Acero negro	21		ANSI metric M5x1.3
1	Barra de empuje	12	Acero 1020	20	0.39	Torneado
1	Bocin 1	11	Cobre	19	0.025	Torneado
1	Placa Guia 1	10	Acero 1010	18	0.88	Maquinado
4	Prisionero cab. Allen		Acero negro	17		ANSI metric M5
1	Perno cab. hexagonal		Acero negro	16		ANSI inch 1/4
1	Mecanismo Seguidor	09	ASTM A36	15	0.041	Torneado, soldado
2	Columna	08	Acero 1020	14	0.53	Torneado
1	Seguidor de rodillo		Nylon	13		Mecanizado
1	Arandela plana		Acero inoxid.	12		ANSI inch 5/32
1	Perno cab. estrella		Acero inoxid.	11		ANSI metric M4x13
4	Leva tangencial		Nylon	10		Mecanizado
4	Perno cab. hexagonal		Acero inoxid.	9		ANSI inch 1/4X1/2
2	Rod. rígido de bolas		Varios	8		ANSI metric 6202
1	Anillo de retención		Acero negro	7		15x1.3 mm
1	Eje motriz	07	Acero 4340	6	0.14	Torneado
1	Ajuste matrimonio	06	Acero 1010	5	0.048	Torneado
1	Motor PAP		Varios	4		Adquirido
1	Base de eje	05	ASTM A36	3	0.38	Torneado, soldado
1	Base de leva	04	ASTM A36	2	0.53	Plancha 4mm
1	Base inferior	03	ASTM A36	1	1.95	Canal C 210x2 mm

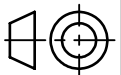
Tolerancia		(Peso)		Materiales:	
±0,5		6.541 Kg		VARIOS	
Fecha		Nombre		Denominación:	
Dibujó: 05/04/15		Sailema Tannia		DESPIECE	
Revisó: 05/04/15		Ing Correa J.		Escala:	
Aprobó: 05/04/15		Ing Correa J.		1:5	
U.T.A.				Registro:	
INGENIERIA - MECANICA				Número del dibujo: 02 de 20	
				(Sustitución)	

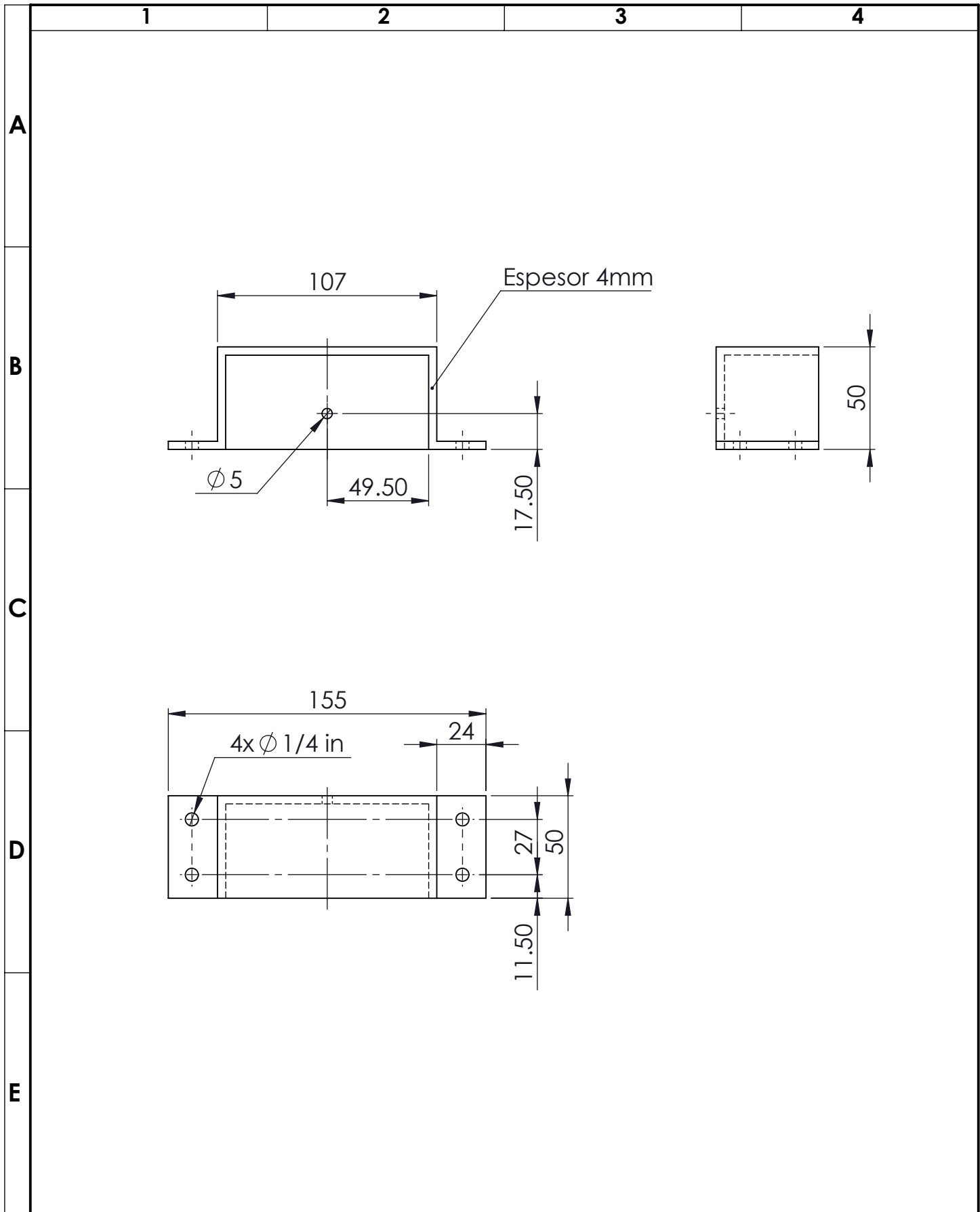
Edición	Modificación	Fecha	Nombre



				Tolerancia	(Peso)	Material:		
				±0,5	1.95 Kg	ASTM A36		
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:	
				Dibujó: 05/04/15	Sailema Tannia			
				Revisó: 05/04/15	Ing Correa J.			
				Aprobó: 05/04/15	Ing Correa J.	Número del dibujo: 03 de 20	Registro:	
				U.T.A.				(Sustitución)
				INGENIERIA - MECANICA				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

BASE INFERIOR





				Tolerancia	(Peso)	Material:	
				$\pm 0,5$	0.53 Kg	ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
			Dibujó:	05/04/15	Sailema Tannia		
			Revisó:	05/04/15	Ing Correa J.		
				Aprobó:	05/04/15	Ing Correa J.	1:2.5
				U.T.A.		Número del dibujo: 04 de 20	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERIA - MECANICA		(Sustitución)	

1

2

3

4

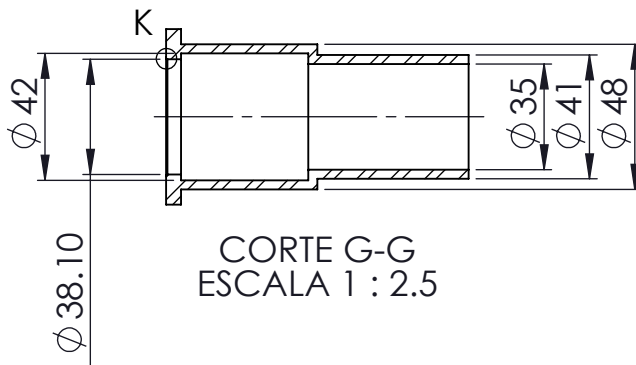
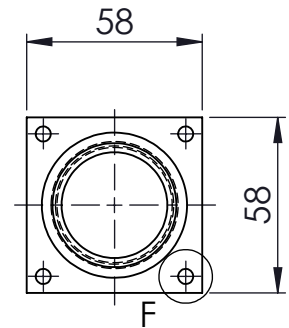
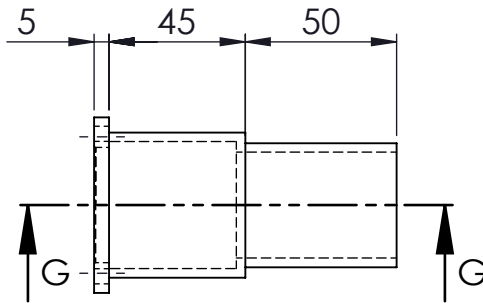
A

B

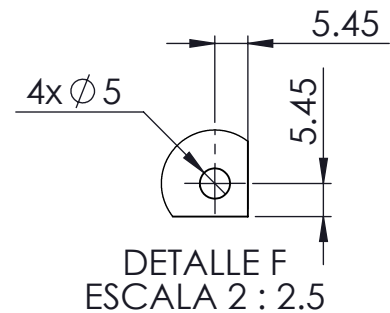
C

D

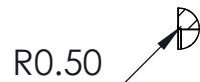
E



CORTE G-G
ESCALA 1 : 2.5

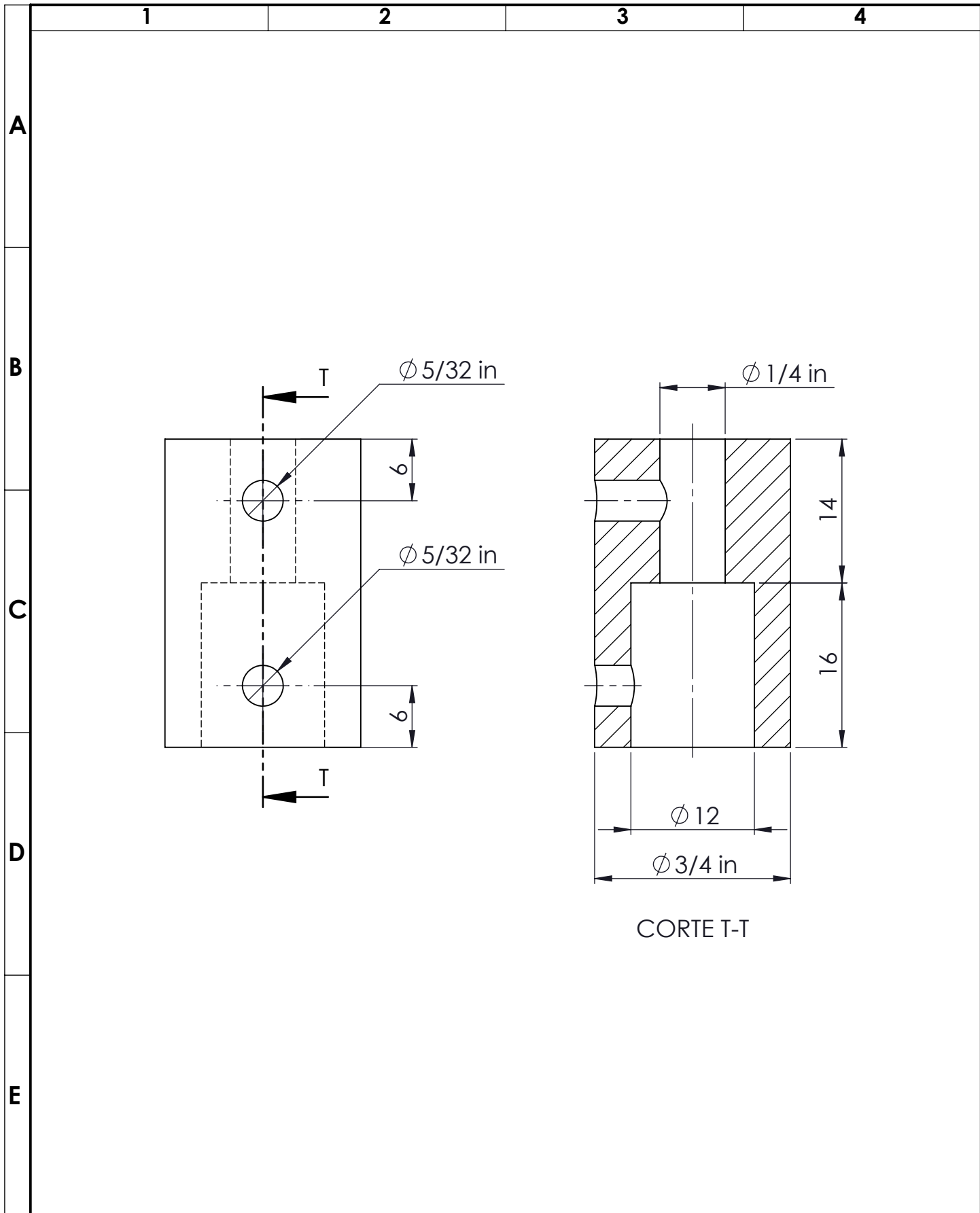


DETALLE F
ESCALA 2 : 2.5

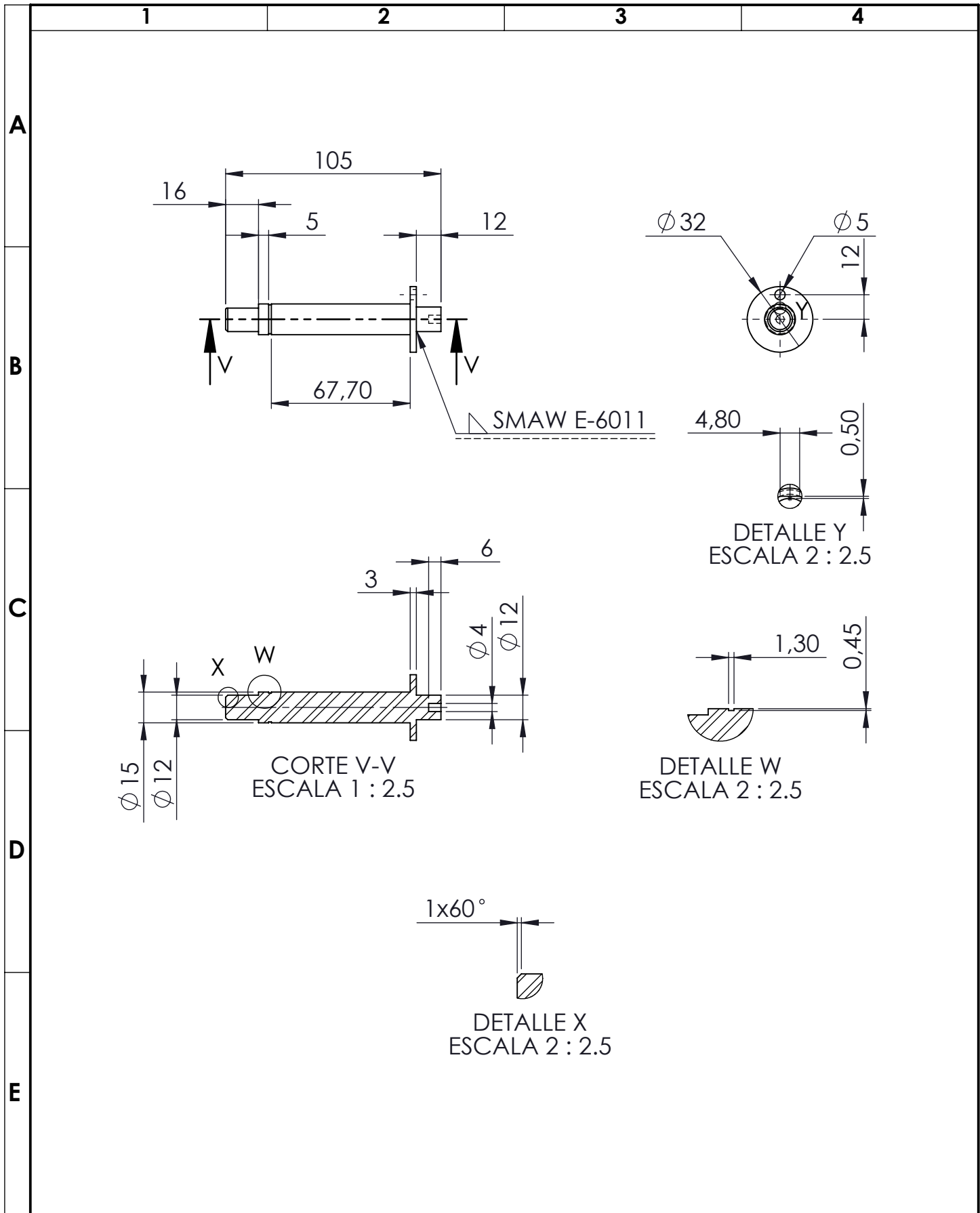


DETALLE K
ESCALA 2 : 2.5

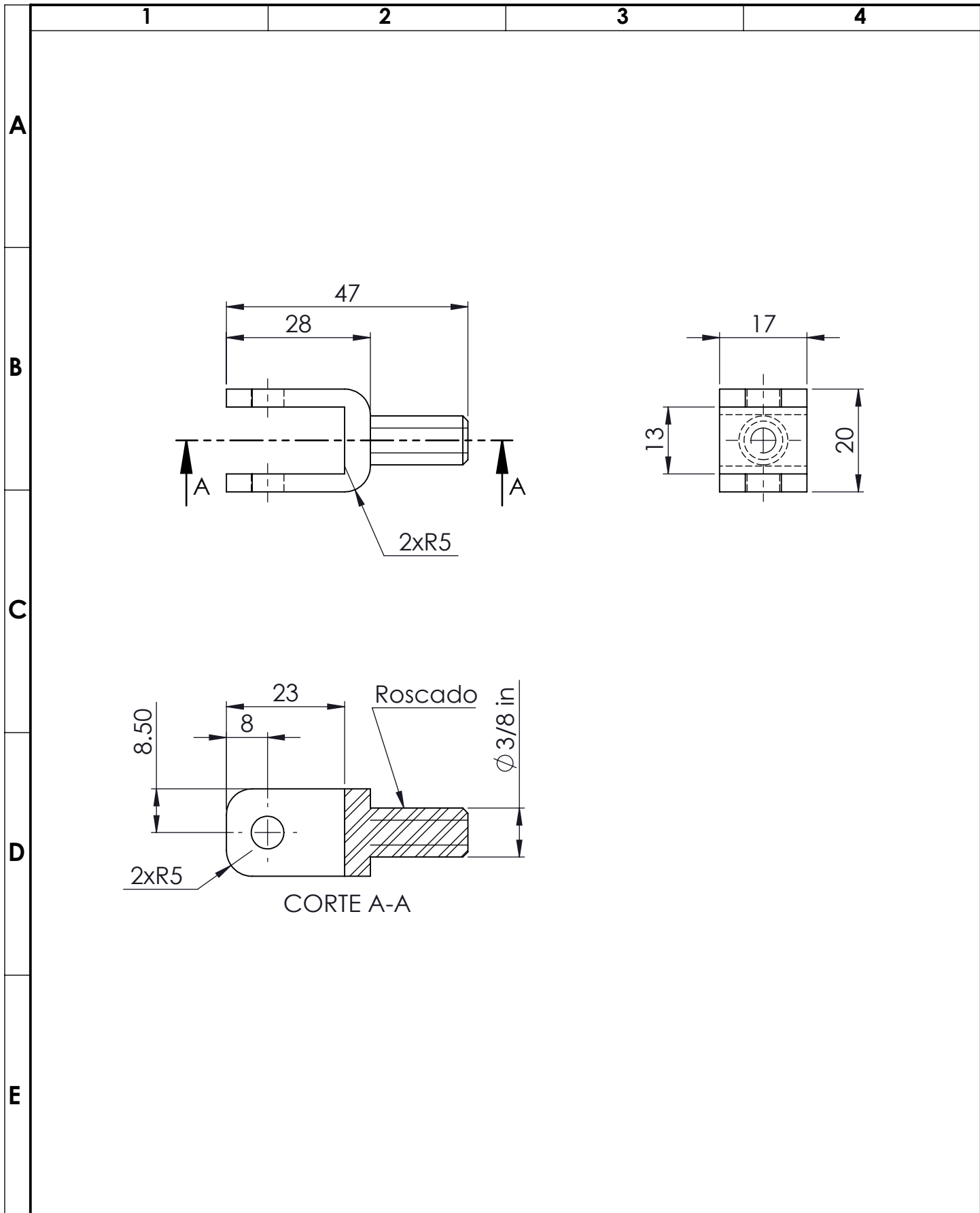
				Tolerancia	(Peso)	Material:	
				±0,5	0.38 Kg	ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
				Dibujó: 05/04/15	Sailema Tannia	BASE DE EJE	1:2.5
				Revisó: 05/04/15	Ing Correa J.		
				Aprobó: 05/04/15	Ing Correa J.		
				U.T.A.		Número del dibujo: 05 de 20	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERIA - MECANICA		(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Material:	
				±0,5	0.048 Kg	Acero 1010	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
			Dibujó:	05/04/15	Sailema Tannia		
			Revisó:	05/04/15	Ing Correa J.		
				Aprobó:	05/04/15	Ing Correa J.	2:1
				U.T.A.		Número del dibujo: 06 de 20	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERIA - MECANICA		(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Material:	
				$\pm 0,5$	0.14 Kg	Acero 4340	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
			Dibujó:	05/04/15	Sailema Tannia		
			Revisó:	05/04/15	Ing Correa J.		
				Aprobó:	05/04/15	Ing Correa J.	1:2.5
				U.T.A.		Número del dibujo: 07 de 20	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERIA - MECANICA		(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Material:	
				±0,5	0.041 Kg	ASTM A36	
					Fecha	Nombre	Título: MECANISMO SEGUIDOR
				Dibujó:	05/04/15	Sailema Tannia	
				Revisó:	05/04/15	Ing Correa J.	
					Aprobó:	05/04/15	Ing Correa J.
				U.T.A.		Número del dibujo: 09 de 20	
				INGENIERIA - MECANICA		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Registro: 	

A

B

C

D

E

1

2

3

4

47

28

A

A

2xR5

17

13

20

8.50

8

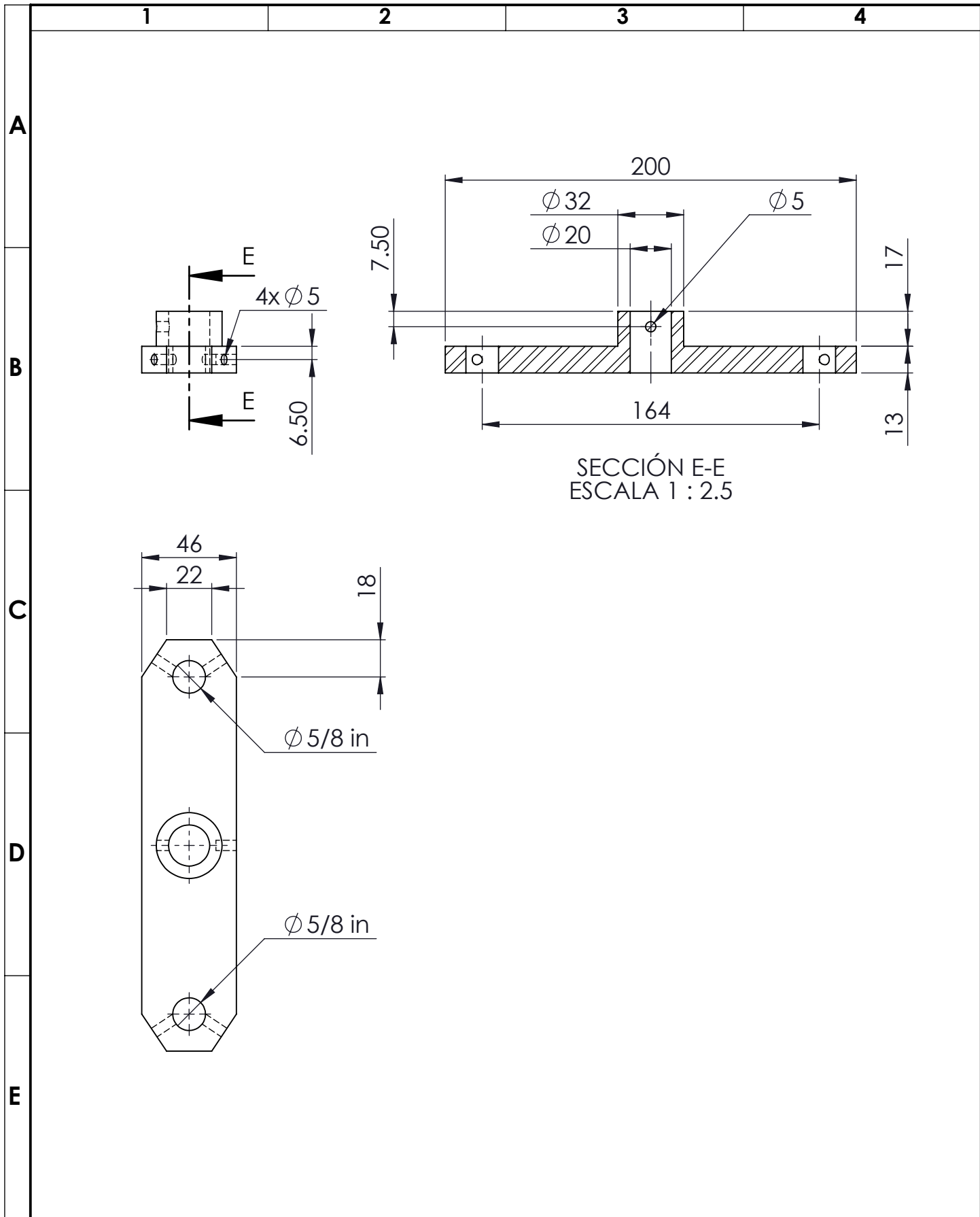
23

Roscado

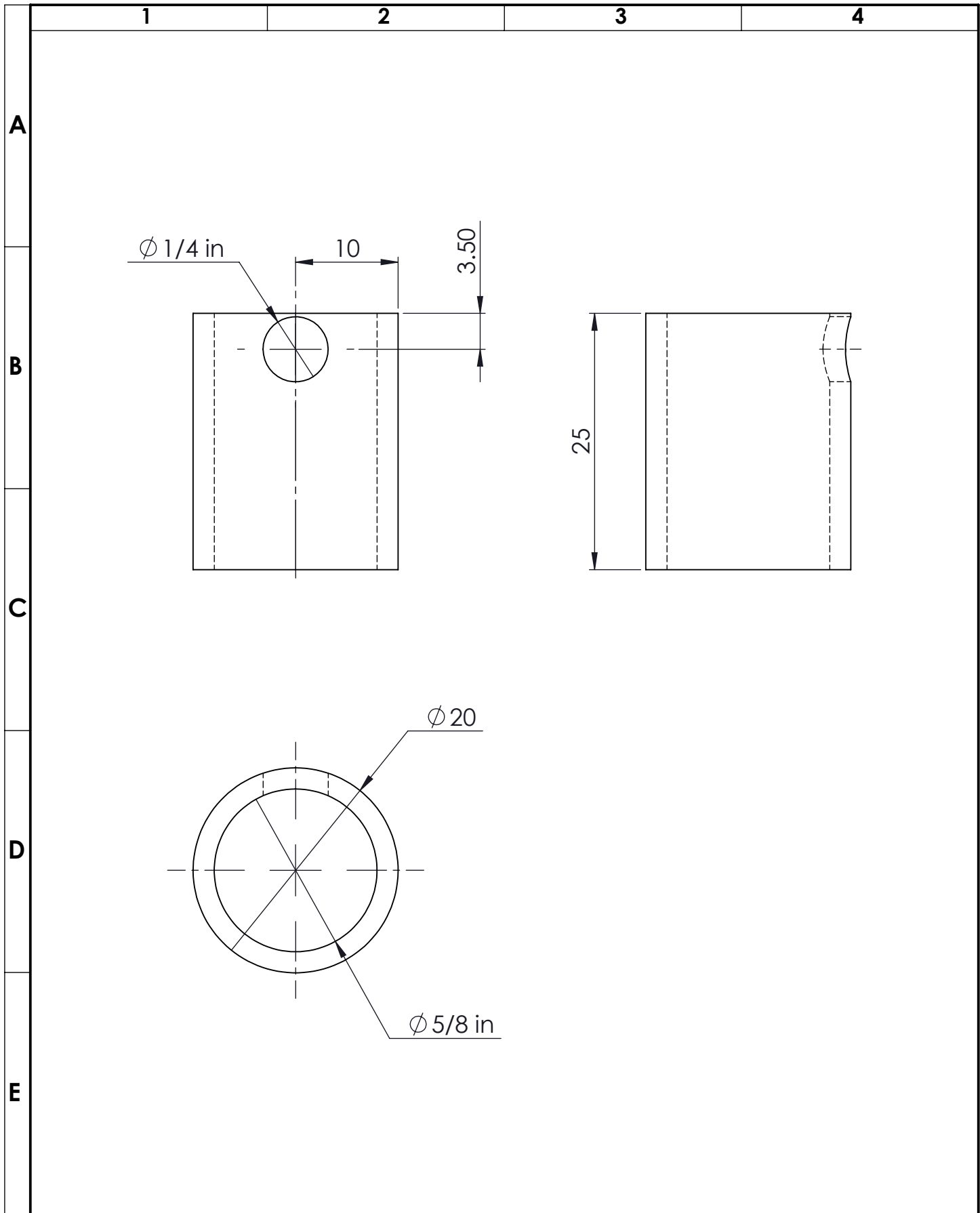
Ø 3/8 in

2xR5

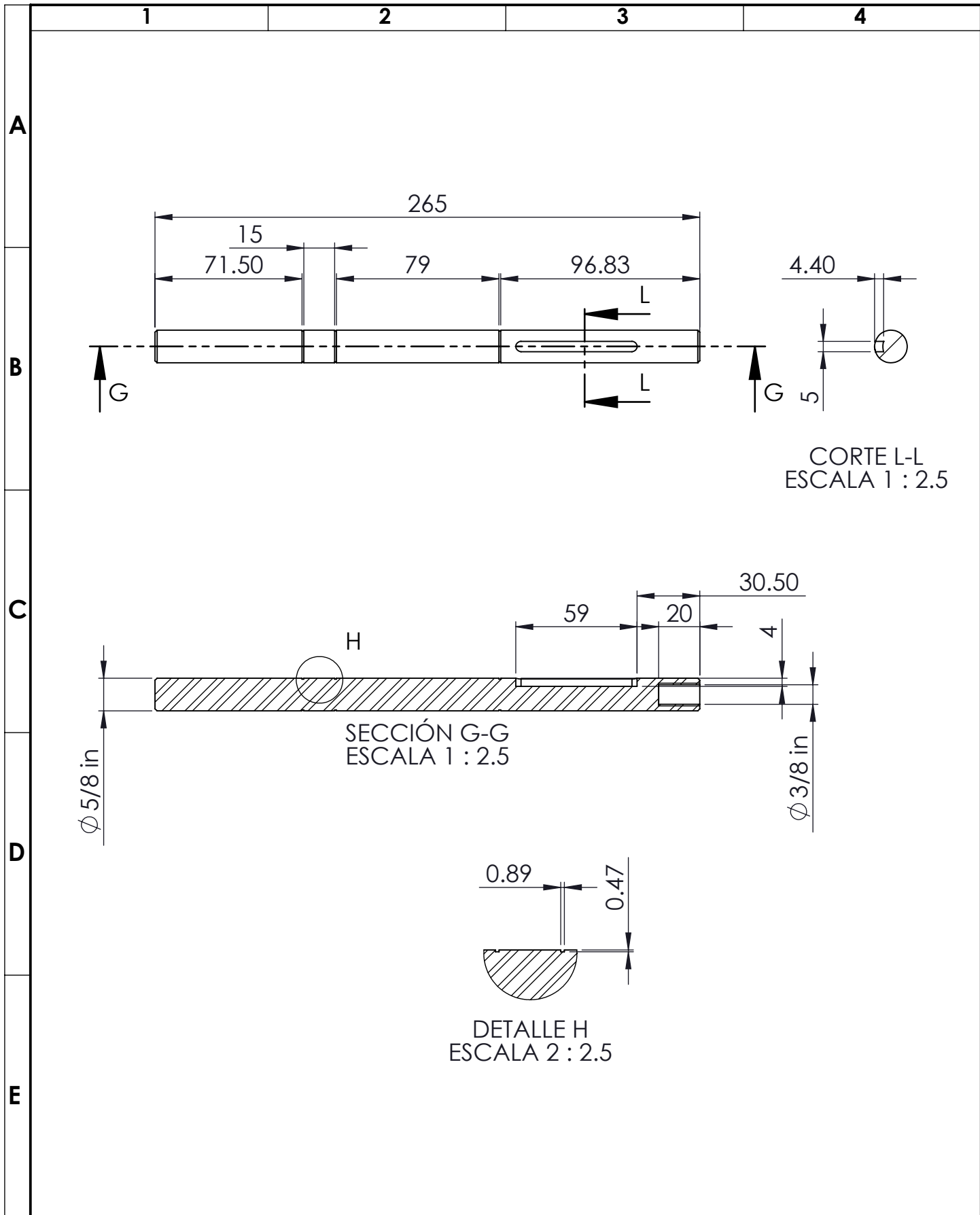
CORTE A-A



				Tolerancia	(Peso)	Material:	
				±0,5	0.88 Kg	Acero 1010	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
				Dibujó: 05/04/15	Sailema Tannia	PLACA GUIA 1	1:2.5
				Revisó: 05/04/15	Ing Correa J.		
				Aprobó: 05/04/15	Ing Correa J.		
				U.T.A.		Número del dibujo: 10 de 20	Registro:
				INGENIERIA - MECANICA		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				Tolerancia	(Peso)	Material:			
				$\pm 0,5$	0.025 Kg	COBRE			
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:		
			Dibujó:	05/04/15	Sailema Tannia			BOCIN 1	2:1
			Revisó:	05/04/15	Ing Correa J.				
			Aprobó:	05/04/15	Ing Correa J.				
				U.T.A.		Número del dibujo: 11 de 20	Registro:		
				INGENIERIA - MECANICA				(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						

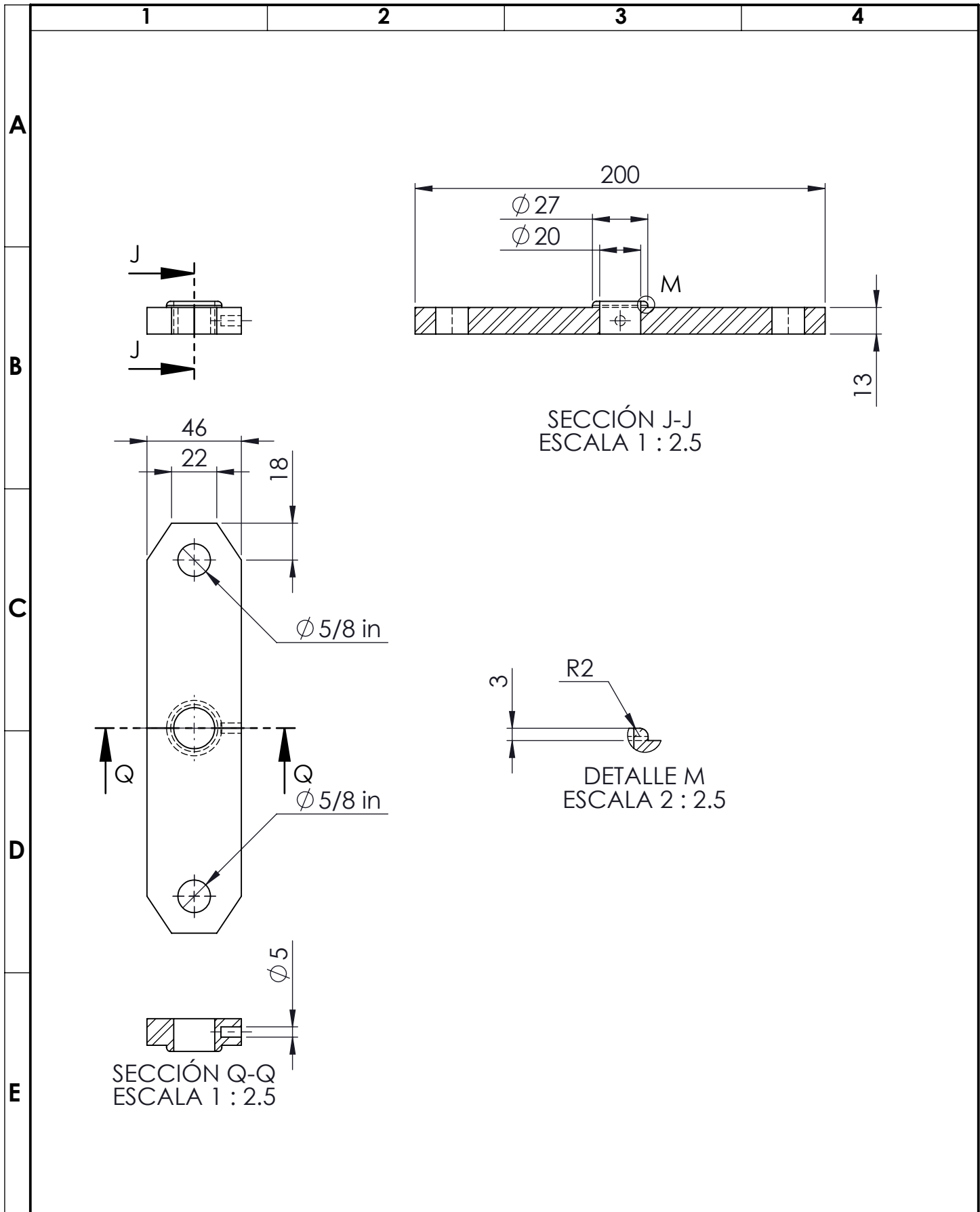


CORTE L-L
ESCALA 1 : 2.5

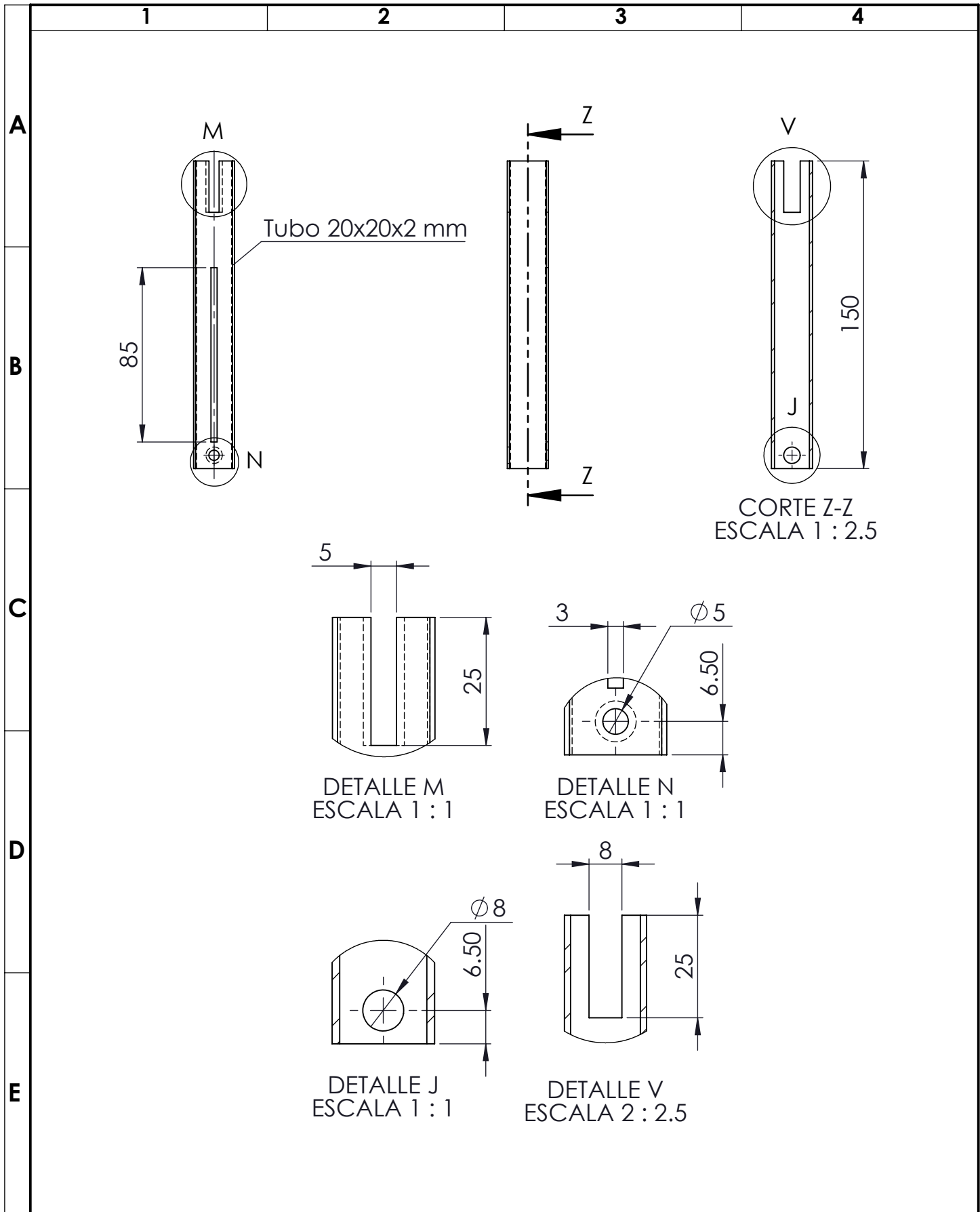
SECCIÓN G-G
ESCALA 1 : 2.5

DETALLE H
ESCALA 2 : 2.5

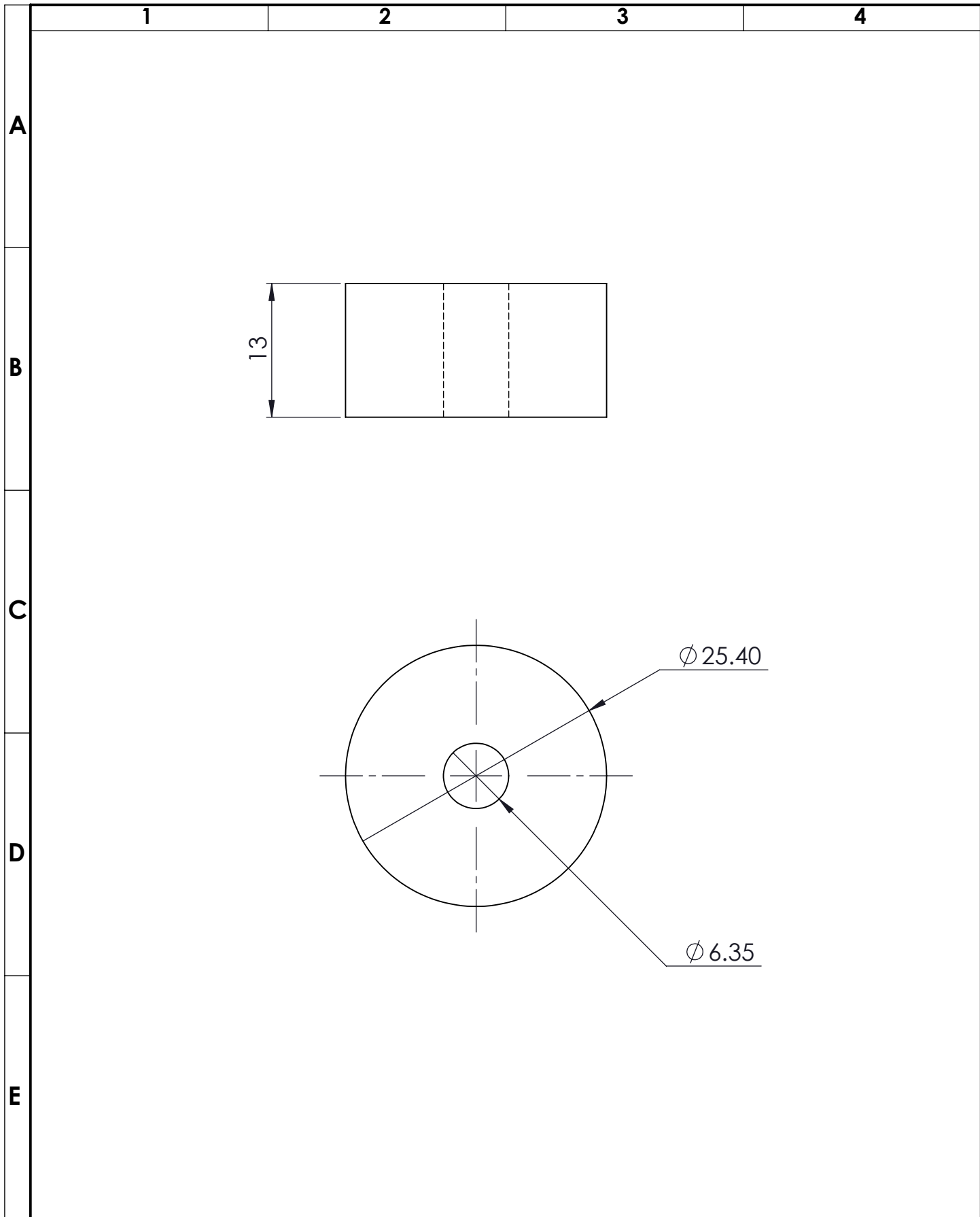
				Tolerancia	(Peso)	Material:	
				±0,5	0.39 Kg	Acero 1020	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
				Dibujó: 05/04/15	Sailema Tannia	BARRA DE EMPUJE	1:2.5
				Revisó: 05/04/15	Ing Correa J.		
				Aprobó: 05/04/15	Ing Correa J.		
				U.T.A.		Número del dibujo: 12 de 20	Registro:
				INGENIERIA - MECANICA		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



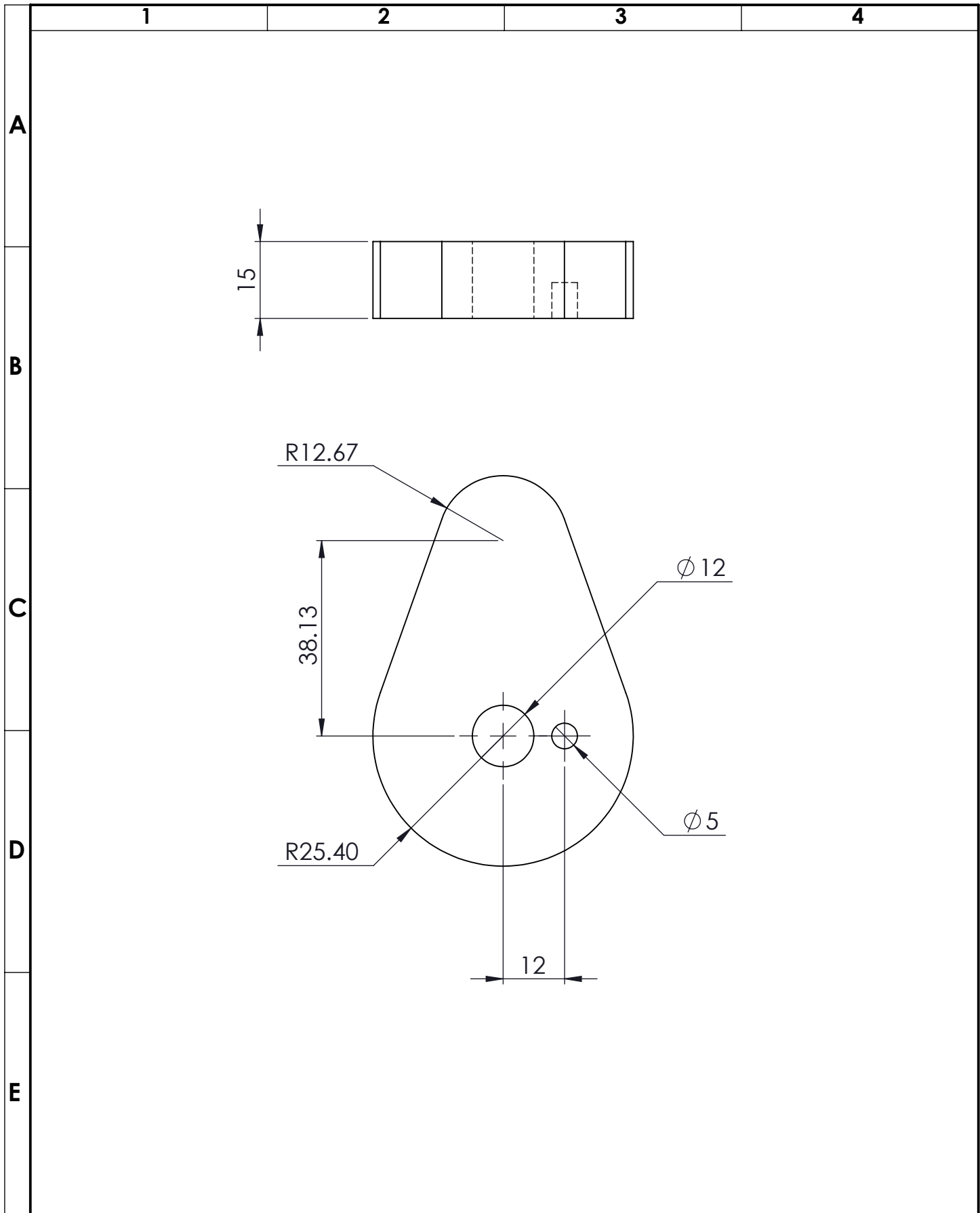
				Tolerancia	(Peso)	Material:		
				±0,5	0.82 Kg	Acero 1010		
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:	
				Dibujó: 05/04/15	Sailema Tannia			
				Revisó: 05/04/15	Ing Correa J.			
				Aprobó: 05/04/15	Ing Correa J.	PLACA GUIA 2	1:2.5	
				U.T.A.				Número del dibujo: 14 de 20
				INGENIERIA - MECANICA		(Sustitución)		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



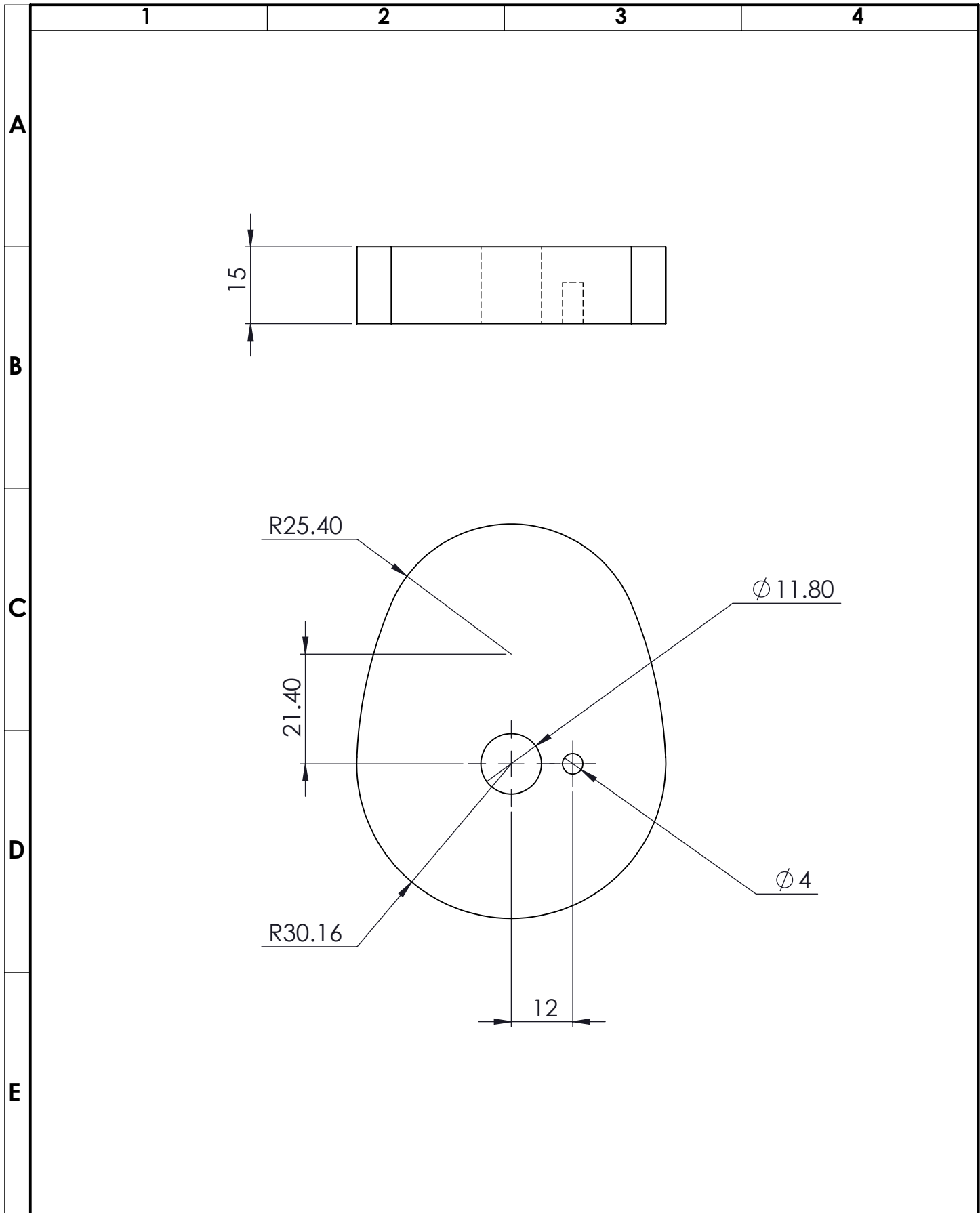
				Tolerancia	(Peso)	Material:	
				±0,5	0.12 Kg	ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
				Dibujó: 05/04/15	Sailema Tannia	SOPORTE POTENCIOMETRO	1:2.5
				Revisó: 05/04/15	Ing Correa J.		
				Aprobó: 05/04/15	Ing Correa J.		
				U.T.A.		Número del dibujo: 15 de 20	Registro:
				INGENIERIA - MECANICA		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



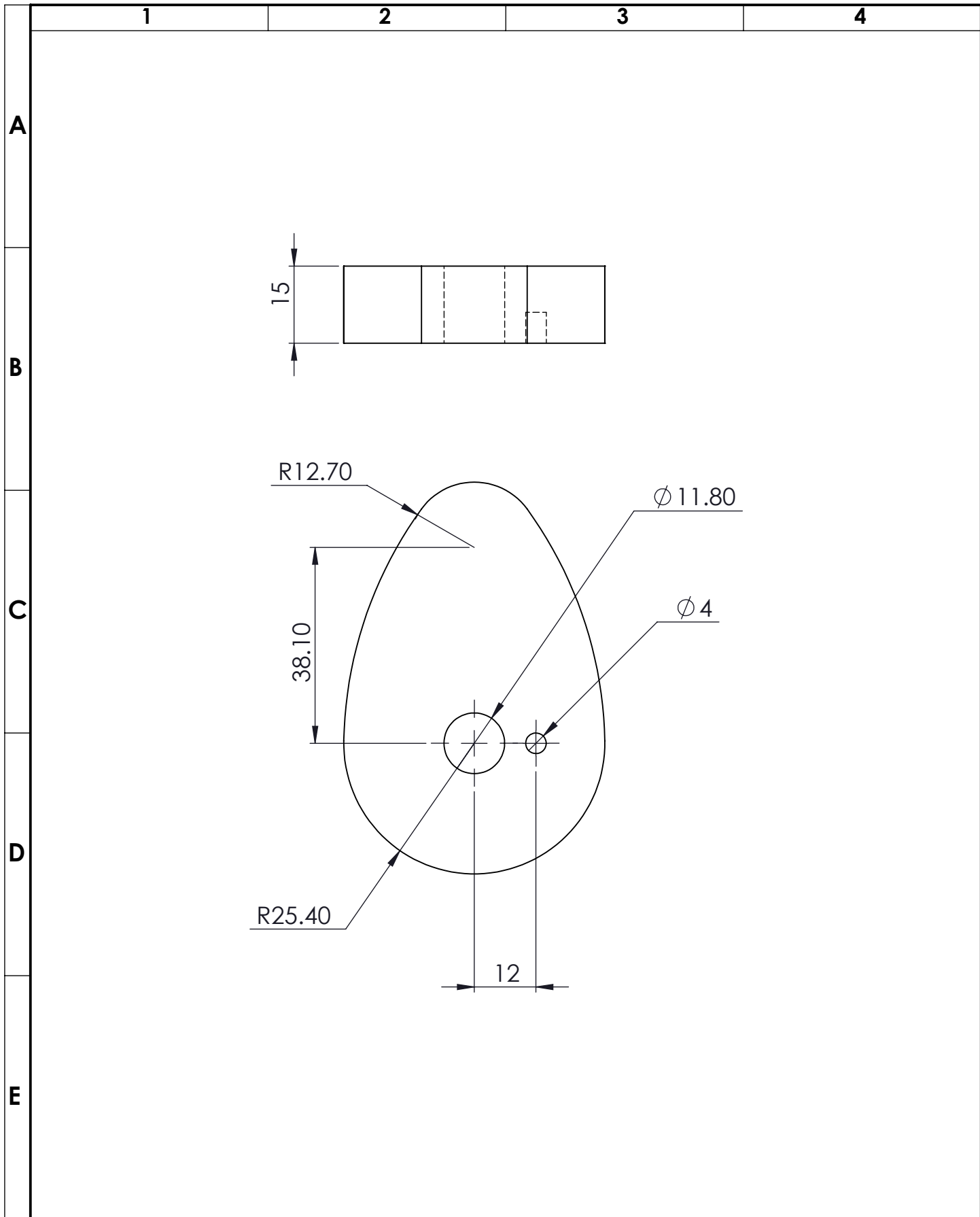
				Tolerancia	(Peso)	Material:			
				±0,5	0.004 Kg	NYLON			
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:		
				Dibujó: 05/04/15	Sailema Tannia			SEGUIDOR DE RODILLO	2:1
				Revisó: 05/04/15	Ing Correa J.				
				Aprobó: 05/04/15	Ing Correa J.				
				U.T.A.		Número del dibujo: 16 de 20			
				INGENIERIA - MECANICA		(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Registro:			

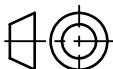


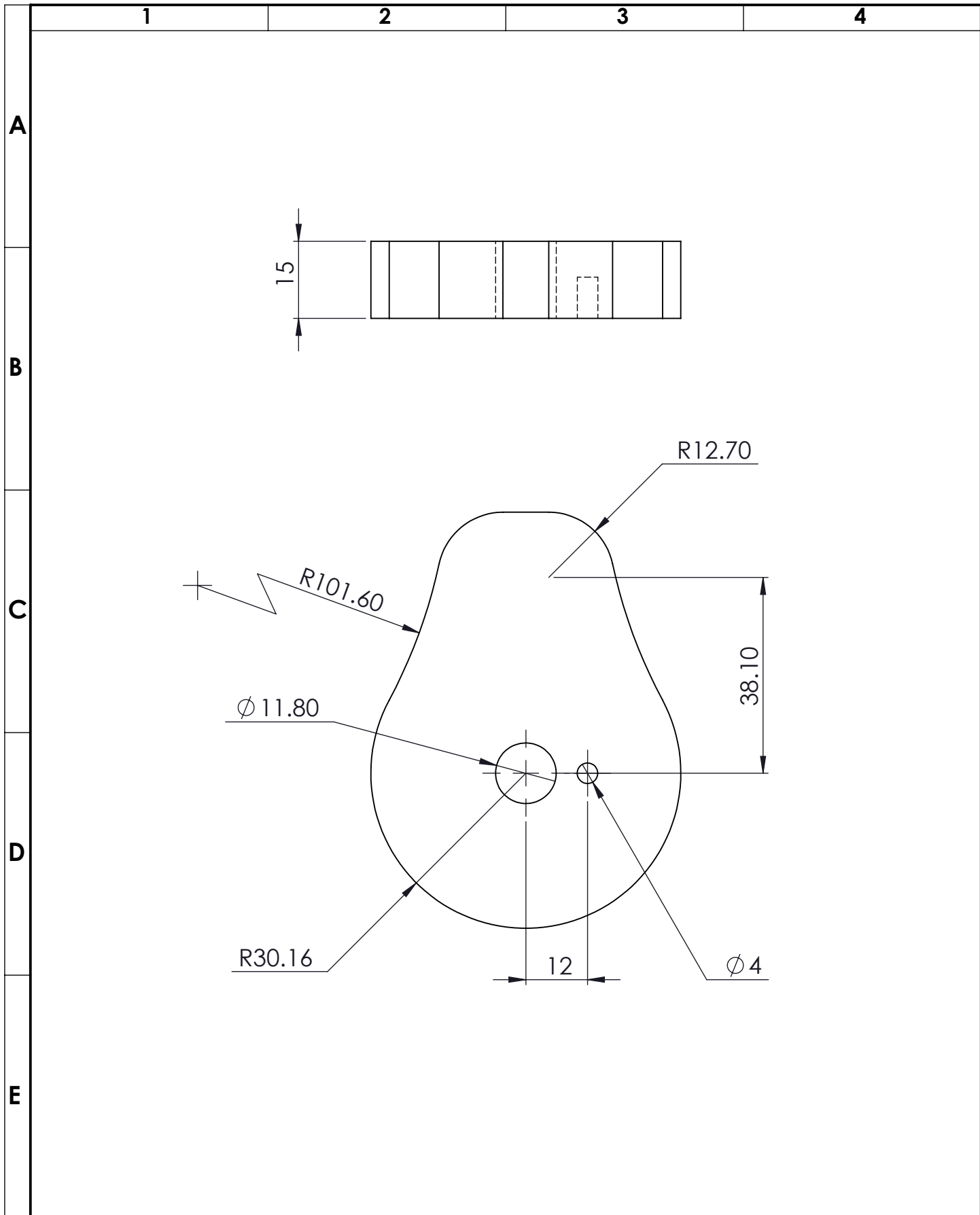
				Tolerancia	(Peso)	Material:			
				±0,5	0.0046 Kg	NYLON			
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:		
			Dibujó:	05/04/15	Sailema Tannia			LEVA TANGENCIAL	1:1
			Revisó:	05/04/15	Ing Correa J.				
			Aprobó:	05/04/15	Ing Correa J.				
				U.T.A.		Número del dibujo: 17 de 20	Registro:		
				INGENIERIA - MECANICA				(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						



				Tolerancia	(Peso)	Material:			
				±0,5	0.0453 Kg	NYLON			
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:		
			Dibujó:	05/04/15	Sailema Tannia			LEVA CONCAVA 1	1:1
			Revisó:	05/04/15	Ing Correa J.				
				Aprobó:	05/04/15	Ing Correa J.			
				U.T.A.		Número del dibujo: 18 de 20			
				INGENIERIA - MECANICA		(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Registro:			



				Tolerancia	(Peso)	Material:			
				$\pm 0,5$	0.0425 Kg	NYLON			
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:		
			Dibujó:	05/04/15	Sailema Tannia			LEVA CONCAVA 2	1:1
			Revisó:	05/04/15	Ing Correa J.				
				Aprobó:	05/04/15	Ing Correa J.			
				U.T.A.		Número del dibujo: 19 de 20			
				INGENIERIA - MECANICA		(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Registro:			
									



				Tolerancia	(Peso)	Material:	
				±0,5	0.0529Kg	NYLON	
				Fecha	Nombre	Título:	Escala:
			Dibujó:	05/04/15	Sailema Tannia		
			Revisó:	05/04/15	Ing Correa J.		
				Aprobó:	05/04/15	Ing Correa J.	11
				U.T.A.		Número del dibujo: 20 de 20	Registro:
				INGENIERIA - MECANICA			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	