

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

TEMA:

Diseño y construcción de un banco de pruebas para describir el funcionamiento del mecanismo de GRASHOF para el laboratorio de la carrera de ingeniería mecánica.

Trabajo de Titulación, Modalidad proyecto técnico previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico otorgado por la Universidad Técnica de Ambato

AUTOR: José Carlos Durán Chasi

TUTOR: Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg.

AMBATO – ECUADOR

2026

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, José Carlos Durán Chasi, con C.C 1805061478, expreso que el presente trabajo de titulación asignado con el tema: "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA DESCRIBIR EL FUNCIONAMIENTO DEL MECANISMO DE GRASHOF PARA EL LABORATORIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**" es de mi autoría y que todas las actividades, contenidos, gráficos, cálculos, conclusiones y recomendaciones redactadas corresponden a mi responsabilidad como autor del proyecto y conjuntamente a la supervisión del Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero Mg. (tutor del trabajo de titulación).

Ambato, enero 2026.

José Carlos Durán Chasi

C.C.:185061478

AUTOR

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA DESCRIBIR EL FUNCIONAMIENTO DEL MECANISMO DE GRASHOF PARA EL LABORATORIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**", elaborado por el estudiante José Carlos Durán Chasi, portador de la cédula de ciudadanía número 1805061478, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo de titulación, bajo la modalidad proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, enero 2026.

Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg.

C.C.: 1802147890

TUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, enero 2026.

José Carlos Durán Chasi

C.C.:185061478

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo, realizado por el estudiante José Carlos Durán Chasi, de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: " **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA DESCRIBIR EL FUNCIONAMIENTO DEL MECANISMO DE GRASHOF PARA EL LABORATORIO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**", Modalidad Proyecto técnico.

Ambato, enero 2026

Para constancia firman:

Ing. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, Mg.
MIEMBRO TRIBUNAL DE GRADO
C.C.: 1802039485

Ing. Víctor Rodrigo Espín Guerrero, Mg.
MIEMBRO TRIBUNAL DE GRADO
C.C.:1803046109

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Portada.....i
Aprobación del tutor ii
Autoría del trabajo de titulación..... iii
Derechos de autor..... iv
Tribunal de grado v
Índice general de contenidos..... vi
Índice de tablas..... viii
Índice de ilustraciones..... ix
Resumen ejecutivo xi
Abstract xii
Capítulo i.- marco teórico 1
1.1 Antecedentes investigativos..... 1
1.2 Objetivos 2
1.2.1 Objetivo general..... 2
1.2.2 Objetivos específicos 2
Capítulo ii.- metodología 3
2.1 Materiales..... 3
2.2 Métodos..... 4
Capítulo iii.- resultados y discusión..... 7
3.1 Diseño del banco de pruebas..... 7
3.1.1 Mecanismo grashof de cuatro barras..... 7
3.1.2 Tipos de mecanismos grashof..... 8
3.1.3 Determinación de la longitud de las barras 9
3.1.4 Disposición de los eslabones para representar el mecanismo grashof de cuatro barras 11
3.1.5 Cálculo del área máxima del tablero del banco de pruebas 12
3.1.6 Determinación del ancho máximo del sistema..... 13
3.1.7 Cálculo de la ubicación de los puntos de apoyo e y f 14
3.1.8 Diseño de las barras, perforaciones y selección del material..... 18
3.1.9 Selección de las tolerancias de ajuste para el rodamiento y la barra 22
3.1.10 Diseño del sistema de acople rápido entre las barras y el tablero de trabajo 25

3.1.11 Selección del tamaño adecuado de los imanes de neodimio 27
3.1.12 Propuesta final de diseño del banco de pruebas de mecanismo grashof 31
3.2 Análisis y discusión de los resultados 32
3.2.1 Análisis de la primera inversión cinemática doble manivela del mecanismo base, análisis cinemático del mecanismo grashof cuatro barras, determinación de los ángulos. 32
3.2.2 Discusión de resultados 35
3.2.3 Análisis del ejercicio mecanismo grashof (manivela balancín) 35
3.3 Combinaciones posibles de barras 38
3.4 Costos 39
3.5 Guías practicas de laboratorio 40
Capítulo iv.- conclusiones y recomendaciones 42
4.1 Conclusiones 42
4.2 Recomendaciones 42
Referencias bibliográficas 43
Anexos 45
Sección a – materiales 45
Sección b – catálogos y tablas 48
Sección c – guías de laboratorio 53
Sección d- fotografias 78
Sección e- planos 83
Sección f- plantillas de trabajo 95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla i 3
Materiales y equipos para la construcción del banco de pruebas..... 3
Tabla i 4
Materiales y equipos para la construcción del banco de pruebas (continuación) 4
Tabla ii 10
Iteraciones de longitudes de los eslabones..... 10
Tabla iii 17
Propiedades físicas del acrílico [7]. 17
Tabla iv..... 29
Propiedades de los imanes de neodimio [11]. 29
Tabla v..... 34
Resultado ángulos directores 34
Tabla vi..... 35
Valores de ángulos de entrada y salida 35
Tabla vii 38
Combinaciones posibles del mecanismo base..... 38
Tabla Viii 40
Recursos y costos 40

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Diagrama de flujo……..5
Figura 2: Diagrama de flujo de construcción…….6
Figura 3: Mecanismos de cuatro barras [5]. 7
Figura 4: Tipos de mecanismos Grashof y no Grashof [5]. 9
Figura 5: Diagrama del mecanismo Grashof 11
Figura 6: Puntos de apoyo para la barra de menor tamaño 12
Figura 7: Dimensiones mínimas del tablero del banco de pruebas 13
Figura 8: Rotaciones de las barras en los dos puntos de apoyo 14
Figura 9: Posiciones límite de la rotación del eslabón “q” 15
Figura 10: Inversiones cinemáticas para un mecanismo de cuatro barras 15
Figura 11: Representación de los puntos de apoyo 16
Figura 12: Puntos de apoyo para recrear las inversiones cinemáticas para un mecanismo de cuatro barras 17
Figura 13: Barra “s” de 150 mm de largo entre ejes 19
Figura 14: Barra “p” de 200 mm de largo entre ejes..... 20
Figura 15: Barra “l” de 300 mm de largo entre ejes 21
Figura 16: Barra “q” de 270 mm de largo entre ejes..... 22
Figura 17: Tolerancias entre barra y rodamiento 23
Figura 18: Eje hembra pasador de acople rápido 24
Figura 19: Eje macho del pasador de acople rápido 24
Figura 20: Valores de tolerancia tomados de la tabla en el anexo 3. 25
Figura 21: Valores de tolerancia tomados de tabla en el anexo 3. 25
Figura 22: Acople hembra fijo en el tablero de trabajo 26
Figura 23: Acople macho primer caso 26
Figura 24: Acople macho segundo caso..... 26
Figura 25: Acople macho tercer caso 27
Figura 26: Representación gráfica del mecanismo de cuatro barras de Grashof 28
Figura 27: Dimensiones del disco graduado 30
Figura 28: Esquema Cad de las líneas y grados del disco 30
Figura 29: Propuesta final del banco de pruebas 31
Figura 30: Mecanismo doble manivela 32
Figura 31: Trayectorias del eslabón de entrada y salida 32

Figura 32: Eslabón de entrada a 70º 34
Figura 33: Eslabón de salida con desfase de 1º 34
Figura 34: Puntos de apoyo eslabón fijo 36
Figura 35: Ensamble de las barras 36
Figura 36: Punto de referencia establecido 37

RESUMEN EJECUTIVO

El siguiente proyecto técnico se desarrolló por la necesidad de la Carrera de Ingeniería Mecánica de un banco de pruebas que permita representar un mecanismo de cuatro barras, demostrando dos tipos de mecanismos Grashof: doble balancín y manivela-balancín, adicionalmente el mecanismo no Grashof. Se realizó una investigación documental y de campo de bancos de pruebas de mecanismos que se venden de manera comercial, con estas referencias se adecuó los materiales a las condiciones reales del mercado nacional, posteriormente, se determinó la longitud de las barras y el banco de pruebas, cuyas dimensiones son: "S" = 150mm, "P" = 200mm, "Q" = 270mm y "L" = 300mm. Se diseñó y fabricó las barras conjuntamente al tablero con láminas de acrílico, las barras poseen rodamientos del tipo 6001-2RSC3, la unión de las barras son un par de pasadores hembra y macho de acero inoxidable, con imanes de neodimio N52 en su interior, brindando una sujeción fuerte de los pasadores y de fácil acople y desacople, el tablero posee perforaciones que permiten recrear las cuatro inversiones cinemáticas del sistema, con perforaciones adicionales para recrear otros mecanismos y en anexos, se presentan guías de prácticas de laboratorio. Con los valores obtenidos por cálculos al compararlos con los valores reflejados en el banco de pruebas, existe una diferencia de 1 a 5 décimas de grado, este valor es aceptable debido a que es un error cometido por el usuario al no poder visualizar una diferencia tan pequeña en la escala de los grados del tablero.

Palabras clave: mecanismo, GRASHOF, no GRASHOF

ABSTRACT

The following technical project was developed to meet the Mechanical Engineering Program's need for a test bench capable of representing a four-bar mechanism, demonstrating two Grashof mechanism types—double rocker and crank-rocker—as well as the non-Grashof configuration. A documentary and field investigation was conducted on commercially available mechanism test benches. Based on these references, materials were adapted to real conditions in the national market. Subsequently, the lengths of the links and the test bench were determined, with the following dimensions: "S" = 150 mm, "P" = 200 mm, "Q" = 270 mm, and "L" = 300 mm. The links and panel were designed and manufactured using acrylic sheets. The links contain 6001-2RSC3 bearings, and their joints consist of male and female stainless-steel pins with internal N52 neodymium magnets, ensuring strong retention and easy coupling and uncoupling. The panel contains perforations that allow the four kinematic inversions of the system to be recreated, along with additional holes to model other mechanisms. Laboratory practice guides are included in the annexes. When comparing the calculated values with those obtained from the test bench, a difference of 0.1 to 0.5 degrees was observed. This deviation is acceptable, as it results from the user's inability to perceive such small variations on the panel's degree scale.

Keywords: GRASHOF, mechanism, non-GRASHOF

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

A criterio de [1] los bancos de pruebas de mecanismos se han convertido en un equipo indispensable para el aprendizaje de los estudiantes a lo largo de su carrera profesional, gracias a que los usuarios pueden comprender de manera práctica los diferentes métodos y procesos cinemáticos y dinámicos que se presentan en una máquina u mecanismo real. Con el objetivo de facilitar el aprendizaje y representar un sistema sencillo o complejo brindando la posibilidad de variar las condiciones de funcionamiento concluye en la importancia de los bancos de pruebas de mecanismos en la enseñanza. Estos servirán para comprender las problemáticas de ciertos arreglos de barras y desarrollará en los estudiantes la capacidad de solucionarlos o de evitarlos. La construcción del proyecto concluyó de manera satisfactoria, su desarrollo se basó en la investigación e interpretación de cálculos, posteriormente se construyeron las guías de prácticas para el uso del banco de pruebas.

Para el autor [2] en base a su trabajo de diseño y construcción de un banco de pruebas con un mecanismo de cuatro barras determinó los siguientes aspectos: el tamaño del banco está limitado por la longitud que puedan poseer las barras, por tal motivo se eligió un sistema que fue el más representativo y permitió demostrar un mecanismo manivela-balancín. Las barras se elaboraron en aluminio y las uniones son pasadores simples, no poseen la disposición de modificar las dimensiones de las barras y el sistema es único.

Según [3] en su trabajo final concluyó que un factor importante para el diseño y construcción de maquetas didácticas, que permitan la enseñanza de las diferentes teorías de máquinas y mecanismos deben cumplir con algunos criterios como: diseño funcional, método de fabricación y costo; adicional se ha realizado una comparativa de las características de maquetas comerciales con relación a su función y construcción. Uno de los equipos está construido de aluminio anodizado y de metacrilato transparente, las articulaciones están sujetas con rodamientos, las barras poseen agujeros que permiten variar la longitud de la manivela para obtener los diferentes mecanismo y casos de Grashof, en las especificaciones del fabricante

describe los mecanismos: manivela balancín, doble balancín y doble manivela, finalmente el peso aproximado es de 3 kg. Un equipo ligero y de fácil uso, pero, de alto costo. Otra maqueta que se comercializa por la empresa "TecQuipment", consta de dos partes, una bancada y el kit de barras articuladas. La estructura consta de un panel plano con orificios y el kit consta de 20 barras de diferentes longitudes y con uniones roscadas; el módulo permite realizar con mayor libertad diferentes configuraciones y de igual manera demostrar el criterio de Grashof. Finalmente concluye con un diseño de un tipo de unión rápido y seguro; requerido para el accionamiento de un pedal que se acopla y desacopla al sistema mediante el uso de imanes de neodimio N52; concluyendo en que es el método más rápido, sencillo y eficaz para cumplir con el objetivo presentado.

En base a [4], para desarrollar su proyecto determinó que los imanes de Neodimio N52 son los más fuertes en el mercado actual, que estos son empleados en diversos campos como: tecnológico, medicina, electrónica, motores, herramientas menores, juguetes y como medios de unión para algunos productos, poseen grandes propiedades anticorrosivas, trabajan en temperaturas de hasta 180ºC y existen en varios tamaños, formas y polaridades.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Diseñar y construir un banco de pruebas que permita replicar un mecanismo de cuatro barras de Grashof para el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica.

1.2.2 Objetivos específicos

- Dimensionar y seleccionar cada uno de los componentes del banco de pruebas permitiendo el correcto funcionamiento de las barras y articulaciones.
- Construir el banco de pruebas para los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica.
- Elaborar cuatro guías prácticas del mecanismo Grashof.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1 Materiales

En la tabla I se muestran las características y propiedades de los materiales, además de los equipos utilizados en el presente proyecto técnico.

TABLA I

MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

		MATERIALES	
ITEM	**MATERIAL**	**DESCRIPCIÓN**	**FOTOGRAFÍA**
1	Eje de acero inoxidable 304	Diámetro: 41/64 pulg. Cromo: 18% Níquel: 8%	
2	Rodamiento de bolas	Diámetro interno: 12mm Diámetro externo:28mm Ancho: 8mm Soporta cargas radiales y axiales Max: 17000 rpm	
3	Imanes de neodimio grado N52	Diámetro: 8mm Altura: 3mm	
5	Plancha de acrílico varios espesores	No sufre dilataciones considerables al calor Densidad: 1.2 g/cm^3 Resistente a los químicos	
6	Perfil de aluminio U de 10mm	Resistente a la corrosión y a productos químicos De bajo peso con relación a su resistencia mecánica	

TABLA I

MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS (continuación)

		EQUIPOS	
ITEM	**EQUIPO**	**DESCRIPCIÓN**	**FOTOGRAFÍA**
7	Torno paralelo	Equipo que permitirá la elaboración de los pasadores para la unión de las barras	
8	Cortador laser	Máquina que permitió cortar y grabar en el acrílico	

2.2 Métodos

Bibliográfico

Se ha recurrido a archivos de internet, libros y repositorio digital de la universidad Técnica de Ambato de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, estos documentos son de utilidad para conocer el dimensionamiento de las barras, el tipo de material requerido y los juegos o aprietes de cada componente para su correcto funcionamiento.

De campo

Obtención de datos como: tamaños de rodamientos existentes en el mercado nacional, planchas de aluminio, tipos de acero, costos y funcionalidad para el banco de pruebas.

Experimental

La investigación del tipo experimental permite realizar iteraciones con las dimensiones de las barras y con el desarrollo de prototipos que mediante prueba y error otorgan información útil para el diseño final, mediante el control, manipulación y la observación de los eventos que se presentan con el banco de pruebas.

Documental

El método de investigación documental ofrece información para el desarrollo de la guía práctica de laboratorio en base a resultados.

Diagrama de flujo

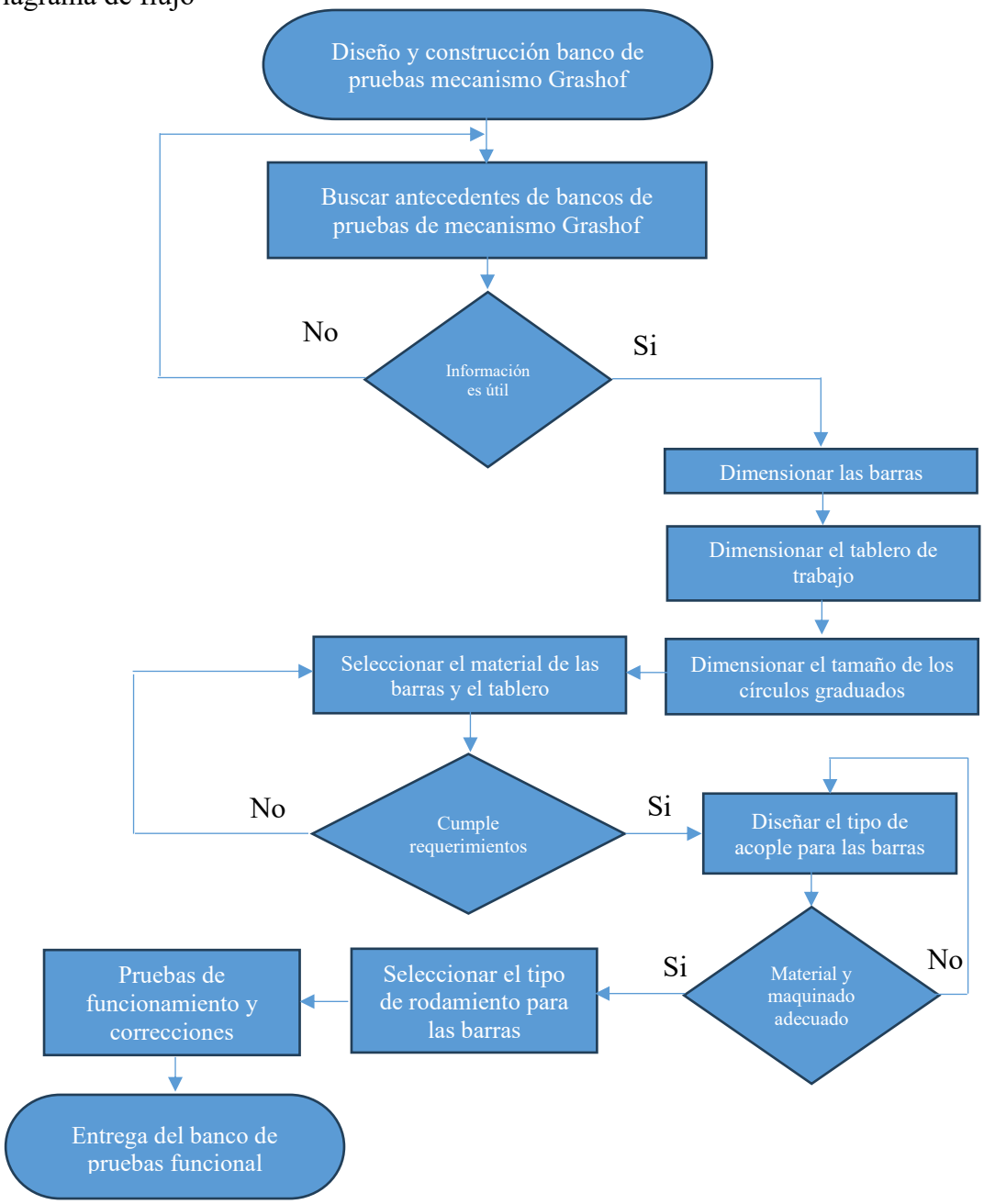


Figura 1: diagrama de flujo proceso investigación

La figura 1 muestra el proceso de recaudación de información para el diseño del banco de pruebas: dimensiones, materiales, tipos de unión y bancos existentes en el mercado.

Diagrama de flujo de construcción

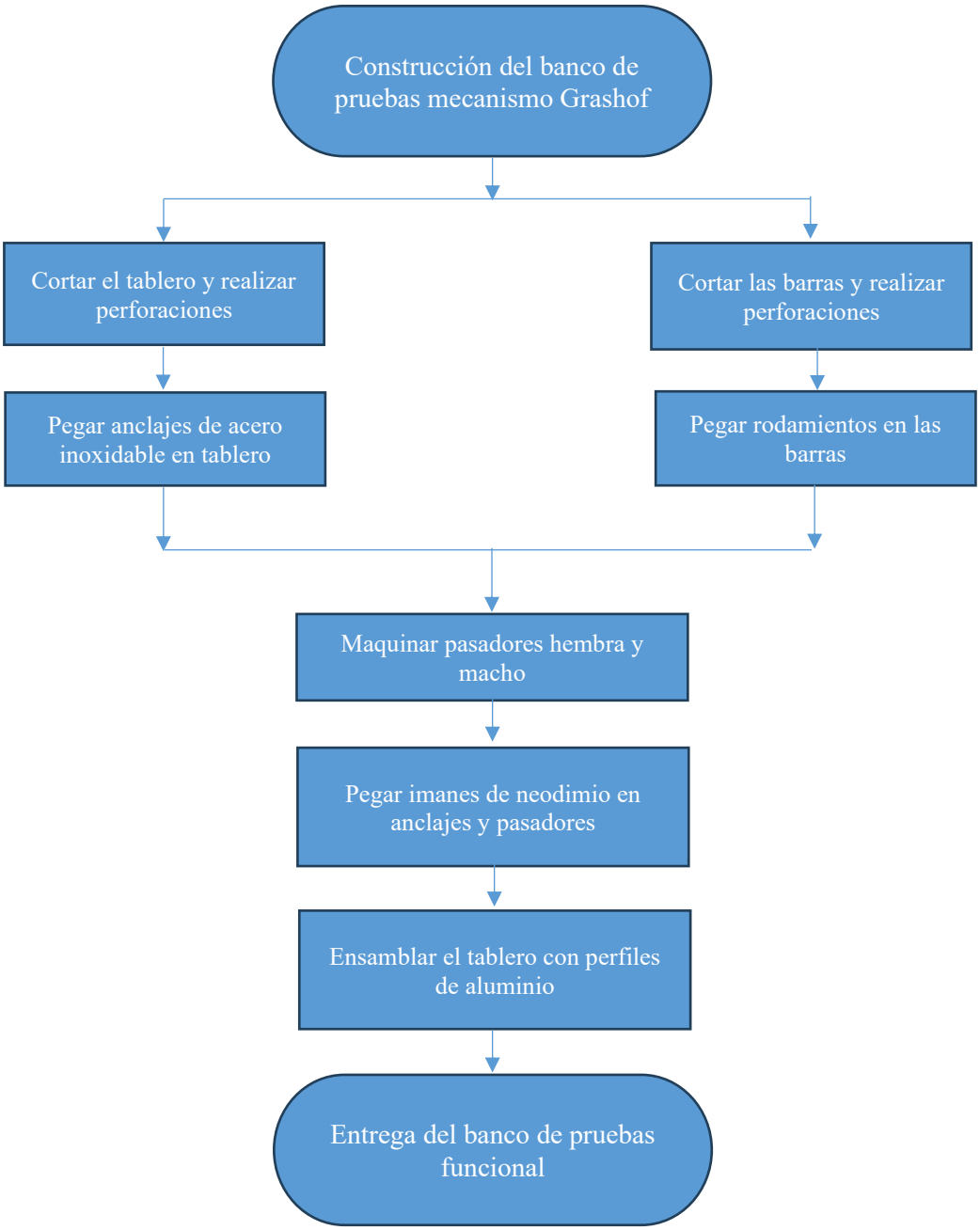


Figura 2: diagrama de flujo proceso de construcción

La figura 2 ilustra el proceso de construcción y toma de decisiones del banco de pruebas, evaluando la utilidad del material, la rigidez de las barras, la confiabilidad del tipo de unión y funcionabilidad del equipo armado.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Diseño del banco de pruebas

3.1.1 Mecanismo Grashof de cuatro barras

Conforme a [5] el mecanismo de cuatro barras es el sistema más sencillo, es por este motivo que su utilidad es muy amplia, es de fácil construcción y económico, en la Figura 3 se muestra un esquema de mecanismo de cuatro barras.

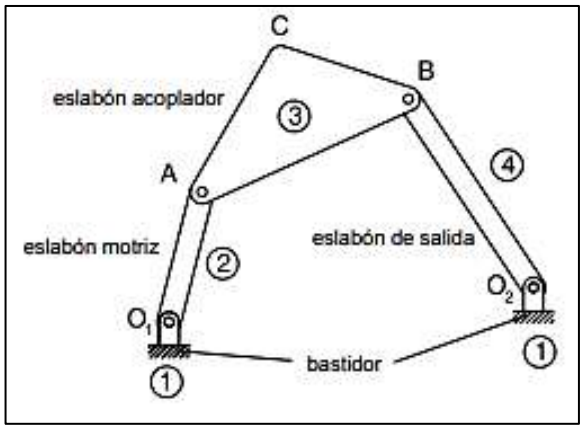


Figura 3: Mecanismos de cuatro barras [5].

A las barras se las nombra acorde a su función en el sistema, de esta manera se los describe:

- Eslabón que recibe la fuerza del movimiento se lo conoce como: eslabón motriz, de entrada, o conductor
- El eslabón que se une al bastidor se lo llama, eslabón de salida, eslabón seguidor o eslabón conducido.
- El eslabón que une a los eslabones de entrada y salida se lo llama eslabón acoplador, flotante, transmisor o biela.

Para cualquier mecanismo de cuatro barras, estas podrían realizar rotaciones completas o parciales, estos movimientos están en función de la longitud de las barras, para poder predecir este suceso la teoría de Grashof afirma que "**para un mecanismo plano que consta de cuatro barras para que al menos uno de los eslabones de una rotación completa se debe cumplir con la condición de que la suma de los eslabones más**

corto y el más largo sea menor o igual que la suma de los otros dos eslabones", de esta manera se ha categorizado a los mecanismos en aquellos que cumplen con el criterio y a los que no cumplen como Mecanismos no-Grashof. La ecuación 1 describe la ley de Grashof.[5]

$$s + l < p + q \tag{1}$$

Donde:

s = Eslabón más pequeño

l = eslabón más largo

p y q = eslabones restantes (acoplador y fijo)

3.1.2 Tipos de mecanismos Grashof

Mecanismo manivela balancín

Este caso se presenta cuando el eslabón de entrada produce una rotación completa y el eslabón de salida ejecuta un movimiento semicircular generando una oscilación, se representa en la Figura 4b.

Mecanismo doble manivela

Se presenta cuando ambos eslabones tanto de entrada como de salida realizan giros completos, mostrado en la Figura 4a.

Mecanismo doble balancín

Para este caso los eslabones de entrada y salida no realizan un giro completo si no que, oscilan en un movimiento repetitivo, de esta manera se determina que el eslabón acoplador es quien realiza el giro completo para cumplir con la ley de Grashof, mostrado en la Figura 4c.

Mecanismo balancín manivela

Se obtiene cuando el eslabón más corto es el eslabón de salida que pivota al bastidor, para este caso el eslabón de entrada realiza una oscilación y el de salida una rotación completa, para el caso en donde: (s + l = p + q).

Con los eslabones cumpliendo esta igualdad se pueden obtener los cuatro casos anteriores, pero deben estar sujetas a una condición denominada punto de cambio, mostrado en la Figura 4e; esto ocurre porque todos los eslabones coinciden en una recta colineal.

Mecanismo no Grashof

Se lo conoce también como mecanismo triple balancín, y se describe por la fórmula 2. Este caso produce que ningún eslabón pueda realizar un giro completo. En la Figura 4d está representada la síntesis de un mecanismo no Grashof.

$$s + l > p + q \tag{2}$$

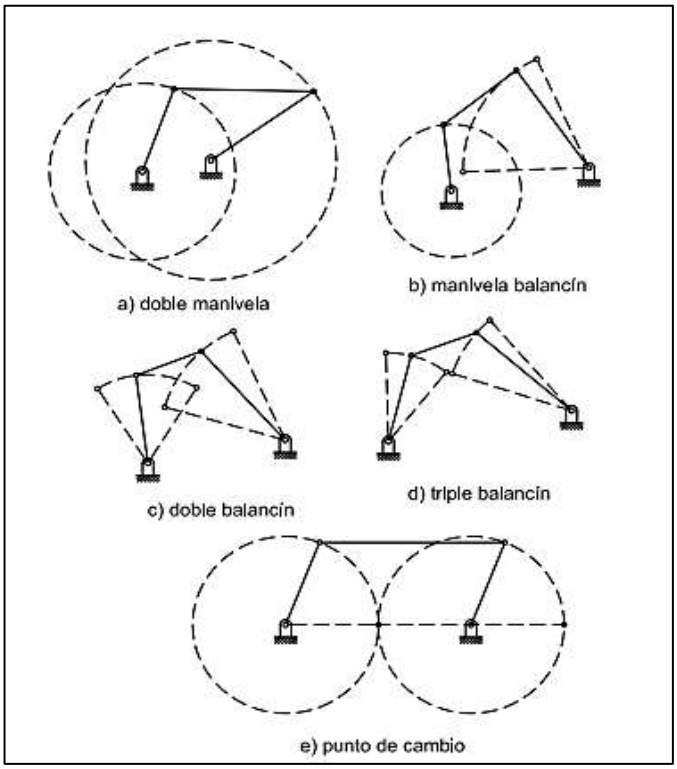


Figura 4: Tipos de mecanismos Grashof y no Grashof [5].

3.1.3 Determinación de la longitud de las barras

Para establecer el tamaño de las barras el valor inicial será el de la barra más larga, como un punto de partida se ha investigado ejercicios y sistemas reales, en el primer caso las dimensiones son poco representativas con valores de 5 a 30 centímetros y para el segundo caso las dimensiones son tan grandes que parten de los 50 centímetros hasta

los 3 metros, el banco de pruebas debe ser ligero, compacto y brindar una visión amplia para los estudiantes cuando el docente explique el funcionamiento del mecanismo Grashof; por este motivo el tamaño determinado para la barra más larga es de 30 centímetros. Para este caso se le asigna la letra "l" a la barra de 30 centímetros y el resto de las barras se determina por una iteración de valores que cumplan con la condición de la ley de Grashof.

Se deben cumplir con las siguientes condiciones para iniciar la iteración de combinaciones posibles de los eslabones:

"l" debe ser la barra de mayor valor que todas las demás barras (s, p, q)

"s" debe ser la barra de menor valor que todas las demás (l, p, q)

En la Tabla II se presentan las combinaciones posibles en donde se cumple con las condiciones descritas.

TABLA II

ITERACIONES DE LONGITUDES DE LOS ESLABONES

s	**l**	**p**	**q**	**s+l <= p+q**	**s**	**l**	**p**	**q**	**s+l <= p+q**
100	300	150	220	No cumple	100	300	110	230	No cumple
110	300	160	230	No cumple	100	300	120	240	No cumple
120	300	170	240	No cumple	100	300	130	250	No cumple
130	300	180	250	Cumple	100	300	140	260	Cumple
140	300	190	260	Cumple	100	300	150	270	Cumple
150	300	200	270	Cumple	100	300	160	280	Cumple
160	300	290	290	Cumple	100	300	170	290	Cumple
s	**l**	**p**	**q**	**s+l <= p+q**	**s**	**l**	**p**	**q**	**s+l <= p+q**
170	300	180	200	No cumple	150	300	160	230	No cumple
170	300	190	210	No cumple	150	300	170	240	No cumple
170	300	200	220	No cumple	150	300	180	250	No cumple
170	300	210	230	No cumple	150	300	190	260	Cumple
170	300	220	240	No cumple	150	300	200	270	Cumple
170	300	230	250	Cumple	150	300	160	280	No cumple
170	300	240	260	Cumple	150	300	170	290	Cumple
170	300	250	270	Cumple					
170	300	260	280	Cumple					
170	300	270	290	Cumple					

En los valores reflejados en la Tabla II, existen tres valores repetitivos y que cumplen con el criterio de Grashof, adicionalmente las dimensiones de las barras parten de un tamaño mínimo de 100 milímetros, esto se hace con la intención de que la visualización del mecanismo en funcionamiento pueda ser observada por los estudiantes en el aula o laboratorio de manera eficaz; las dimensiones para las barras toman los valores siguientes:

- Para la barra más corta s = 150 mm
- Para la barra más larga l = 300 mm
- Para la barra p = 200 mm
- Para la barra q = 270 mm

3.1.4 Disposición de los eslabones para representar el mecanismo Grashof de cuatro barras

En la Figura 5 se representa el esquema básico del mecanismo, el banco de pruebas se ha diseñado para cubrir dos disposiciones principales de acuerdo con los puntos de apoyo O1 y O2, permitiendo recrear un sistema con la barra “S” de manera horizontal a 0º e inclinada a 10º, con el objetivo de optimizar el aprendizaje y la demostración del criterio de Grashof.

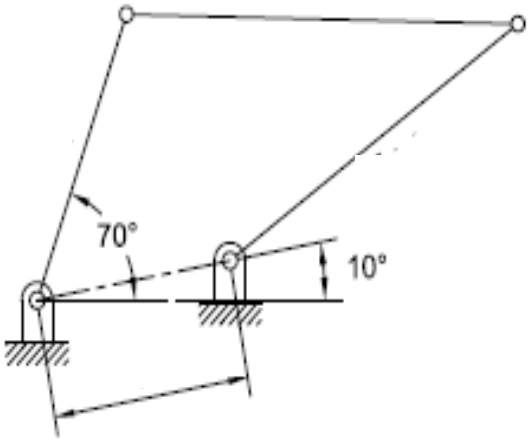


Figura 5: Diagrama del mecanismo Grashof

3.1.5 Cálculo del área máxima del tablero del banco de pruebas

Para el caso de estudio con las dimensiones de los eslabones determinadas, se utiliza la rotación del eslabón de 200 mm en el punto de apoyo O1 y la rotación del eslabón de 270 mm en punto de apoyo O2 como se ilustra en la Figura 6, posteriormente se calcula el valor de los catetos del triángulo rectángulo formado por el sistema con las fórmulas 3 y 4, la altura máxima desde el punto O2 es de 270 mm, y para el desplazamiento más bajo la distancia desde el Punto O1 es de 200 mm.

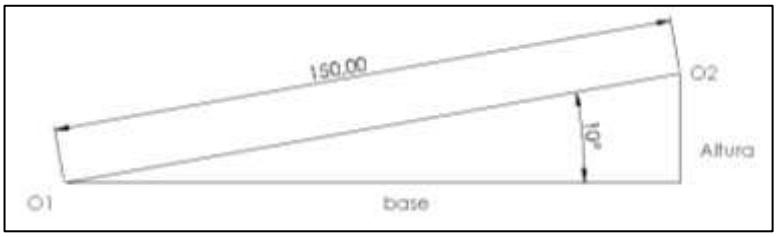


Figura 6: Puntos de apoyo para la barra de menor tamaño

Para determinar el valor de los catetos de un triángulo rectángulo se utilizan las razones trigonométricas descritas por [6]

$$sen\theta = \frac{cateto\ opuesto}{hipotenusa} \tag{3}$$

$$\text{Sen } 10° = \frac{\text{altura}}{150 \text{ mm}}$$

$$\text{altura} = \text{sen } 10°(150 \text{ mm})$$

$$\text{altura} = 26.05 \text{ mm}$$

La distancia vertical máxima de movimiento es la suma de:

540mm+26.05mm = 566.05 mm

Distancia vertical máxima = 600 mm

3.1.6 Determinación del ancho máximo del sistema.

Para este cálculo se ha de sumar los valores de las barras de 200 y 270 mm desde sus respectivos orígenes y adicionalmente la suma de la distancia horizontal entre O1 y O2, aplicando las razones trigonométricas, las dimensiones finales se muestran en la Figura 7.

$$\cos 10\,^{\circ} = \frac{cateto\ adyacente}{hipotenusa} \tag{4}$$

$$\text{Cos } 10º = \frac{\text{base}}{150\ \text{mm}}$$

$$\text{Cos } 10°\ (150\ \text{mm}) = \text{base}$$

$$\text{base} = 147.72\ \text{mm}$$

La distancia horizontal máxima de movimiento es la suma de:

200mm + 270mm +147.72mm = 617.72 mm

Distancia horizontal máxima = 700 mm

Tamaño final del tablero del banco de pruebas

Altura = 600 mm

Ancho = 720mm

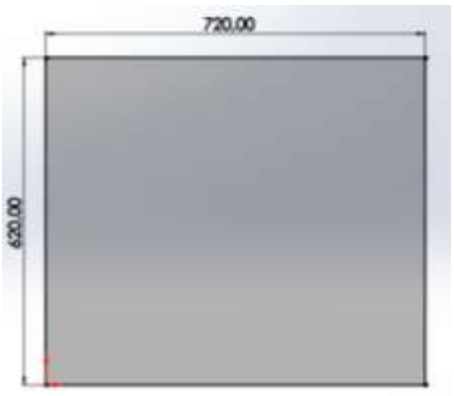


Figura 7: Dimensiones mínimas del tablero del banco de pruebas

3.1.7 Cálculo de la ubicación de los puntos de apoyo E y F

Para determinar la ubicación de los puntos de apoyo O1 y O2 se utiliza la geometría del área del tablero y los diámetros de circunferencia de la barra de 270 mm. Se grafican las circunferencias en los puntos de apoyo, de esta manera se obtiene la posición de cada apoyo. Para este caso se requiere un programa CAD para la representación de las circunferencias y posiciones de los puntos de apoyo como se muestra en la Figura 8.

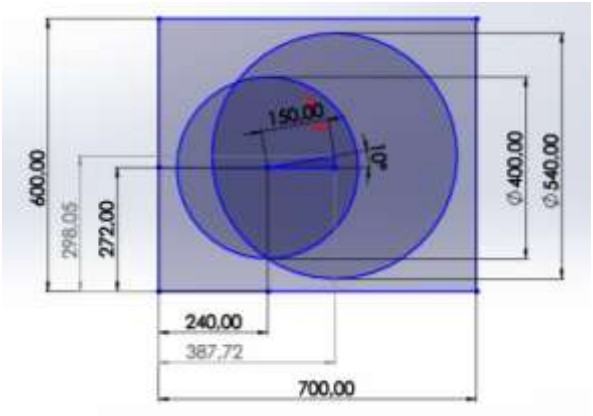


Figura 8: Rotaciones de las barras en los dos puntos de apoyo

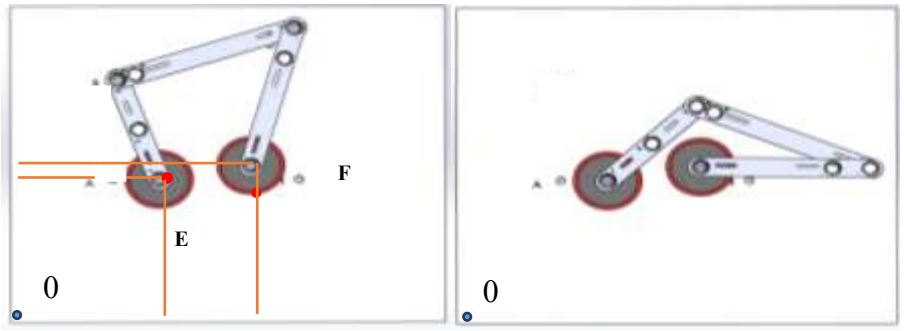
Finalmente, al desplazar el área del tablero dentro de los límites de las circunferencias y no presentar interferencias, como se muestra en la Figura: 9a, 9b, 9c y 9d; la posición para los apoyos E y F son los siguientes:

0- E distancia horizontal = 240 mm

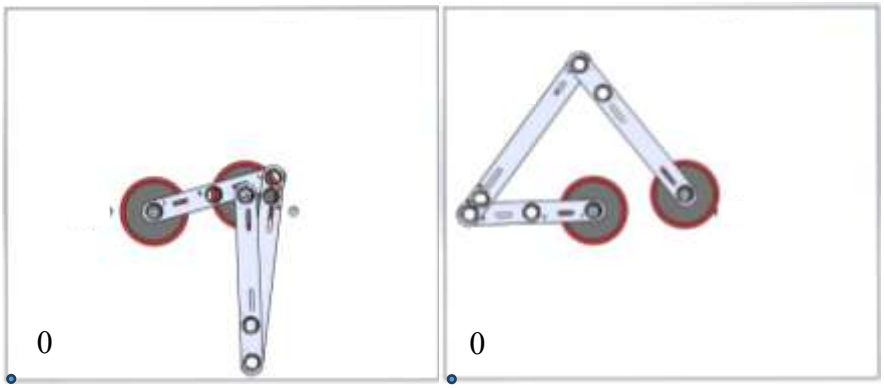
0-E distancia vertical = 272 mm

0-F distancia horizontal = 387.72 mm

0- F distancia vertical = 298.05 mm



(9a) (9b)



(9c) (9d)

Figura 9: Posiciones límite de la rotación del eslabón “q”

Diseño de puntos de apoyo adicionales

El banco de pruebas de mecanismo de cuatro barras Grashof permite recrear las cuatro inversiones cinemáticas que posee cualquier sistema Grashof sin cambiar la longitud de las barras o modificar el sistema original.

Inversiones cinemáticas

Una inversión cinemática consiste en generar varios mecanismos con el mismo sistema de eslabones y esto se lo hace cambiando de posición al eslabón que actúa como bastidor; se determina entonces que un mecanismo de cuatro barras posee cuatro inversiones cinemáticas como se muestra en la Figura 10a, 10b, 10c y 10d; a cada inversión cinemática le podría corresponder un mecanismo diferente a los demás [5].

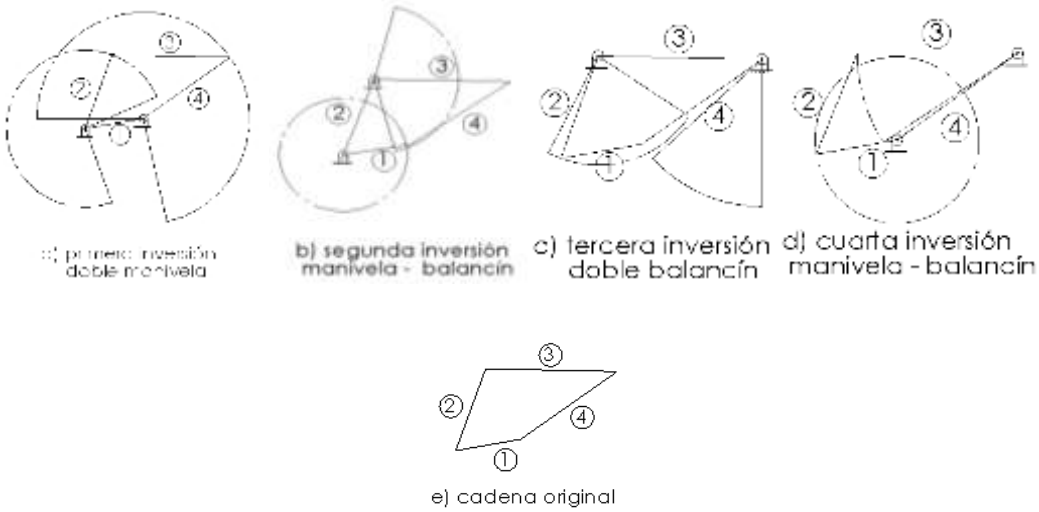


Figura 10: Inversiones cinemáticas para un mecanismo de cuatro barras

Posición de puntos de apoyo adicionales

El banco de pruebas requiere de dos apoyos fijos definidos en 3.1.7 y adicionalmente se han añadido seis puntos de apoyo extra, para representar las cuatro inversiones cinemáticas posibles que existen en el mecanismo Grashof de cuatro barras, en la Figura 11 se representa la disposición de los puntos de apoyo fijo y adicionales.

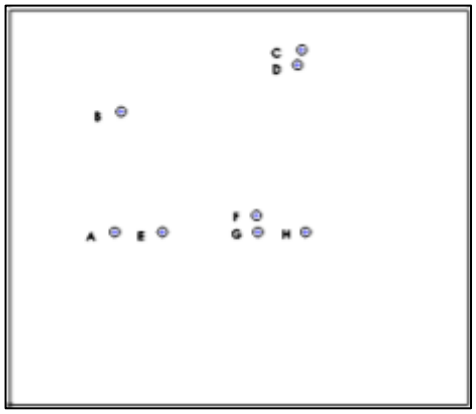


Figura 11: Representación de los puntos de apoyo

Tipos de mecanismo Grashof que se obtienen en base al eslabón de referencia o fijo

- E-F, como eslabón fijo = doble manivela
- E-B, como eslabón fijo = manivela-balancín
- B-C, como eslabón fijo = doble balancín (es posible una rotación completa del eslabón que actúa como acoplador)
- C-F, como eslabón fijo = manivela-balancín

Los puntos A, D, G, H; actúan como base para crear nuevos sistemas a criterio del docente u estudiante y permiten comprobar casos como:

s+l > p+q en el caso de utilizar los eslabones con la siguiente configuración:

A-G, como barra fija y los eslabones restantes en sus posiciones de 150 mm, 270 mm y 100 mm. Se obtiene un mecanismo no Grashof, el sistema no garantiza que no existan puntos muertos o mecanismos de paralelogramo. Esto puede afectar la eficiencia y la estabilidad del mecanismo en ciertas aplicaciones.

La Figura 12 muestra la ubicación de cada punto de apoyo, estos están denominados con las letras del alfabeto A, B, C, D, E, F, G, H.

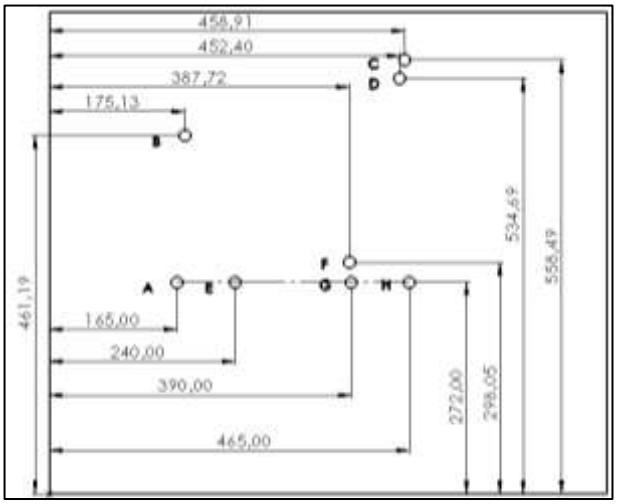


Figura 12: Puntos de apoyo para recrear las inversiones cinemáticas para un mecanismo de cuatro barras

Selección del material para el tablero del banco de pruebas

El material seleccionado es el acrílico, a continuación, en la tabla 3, se detallan las características más importantes.

Propiedades físicas del acrílico

TABLA III

PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACRÍLICO [7].

Ligero	1.2 gr/cm^3	
Temperatura máxima de servicio	65-90 ºC	
Resistencia a la tracción	700 kg/cm2 – 73.54 Mpa	ASTM D638
Resistencia a flexión	1050 kg/cm2 – 102.96 Mpa	ASTM D790

Propiedades químicas del acrílico

- Resistente a productos químicos (bases, ácidos, amoniaco)
- No soporta el uso de hidrocarburos alifáticos (hexano, nafta y octanos)

3.1.8 Diseño de las barras, perforaciones y selección del material

Selección del rodamiento

Para la selección del rodamiento se ha optado por los cuatro criterios tomados de la guía NSK [8]:

Disponibilidad en el mercado nacional

La selección óptima es el rodamiento 6001RS03, este es el más adecuado por el tamaño del diámetro interno.

Tamaño del sistema

Las barras se han determinado en una longitud máxima de 300 mm y de 35 mm de altura con un ancho de 8mm, el rodamiento seleccionado está dentro del área de las barras.

Tipo de carga

Los rodamientos estarán sometidos a cargas radiales y axiales, el rodamiento seleccionado cumple con este criterio.

Velocidad

El rodamiento seleccionado es de alta velocidad y soporta hasta 26000 rpm. Siendo este el más apropiado puesto que los rodamientos están diseñados en general para tolerar altas velocidades de funcionamiento.

Longitudes de las barras

Basados en las dimensiones obtenidas en la tabla 2, en la cual se determinó las longitudes de cada una de las barras y son las siguientes:
s= 150 mm

l= 300 mm

p= 200 mm

q= 270 mm

Diseño de las barras “S, L, P, Q”

Todas las barras se diseñan con esquinas redondeadas para aligerar el peso y evitar esquinas que interfieran el movimiento, un espesor de 8 mm y ranuras de visualización simple o doble, de acuerdo con la longitud de cada barra. Todas las barras poseen letras remarcadas en los puntos de unión que permiten identificar las dimensiones y facilitan la guía del docente para armar el mecanismo.

Barra “S”

La barra “s” posee una longitud total entre ejes de 150 mm, se ha diseñado una ranura de visualización simple para poder tomar la medida del ángulo de giro que cubre la barra como se muestra en la Figura 13.

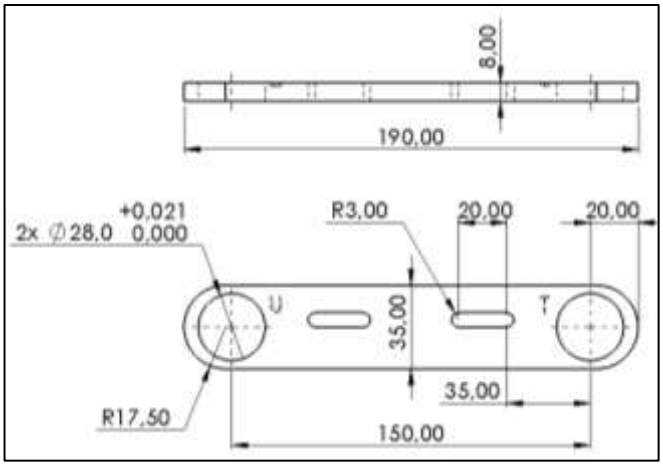


Figura 13: Barra “s” de 150 mm de largo entre ejes

Diseño de la ranura para visualización del ángulo de giro

La barra cuenta con una ranura que permite visualizar y centrar la línea media de la barra, su función principal es mejorar la lectura del ángulo de giro, las dimensiones se determinan tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Tamaño del disco graduado, el disco graduado posee un diámetro de 110 mm, por esta razón la posición horizontal entre el eje y el punto externo de la barra se ubica a 55 mm, como se muestra en la Figura 13.
- Tamaño de los números del disco graduado, la altura de cada número es de 5 mm, para una mejor visualización, el diámetro de la ranura es de 6 mm.
- Ancho de la numeración del disco graduado, el disco graduado posee mediciones en grados sexagesimales. Con este valor ya determinado el ancho más conveniente es de 25 mm entre ejes de la ranura.
- Posición de la ranura en la barra, la barra de 150 mm es la más pequeña de todas y solo posee dos acoples por las siguientes razones: la ubicación de la ranura para visualizar el ángulo limita el área de la barra para ubicar una perforación adicional y el diámetro de los rodamientos no permite colocar uniones a distancias menores de 30 mm de separación entre ejes.

Barra "P"

La barra "p" posee una longitud total entre ejes de 200 mm, se ha diseñado dos ranuras de visualización para poder tomar la medida del ángulo de giro que cubre la barra como se muestra en la Figura 14.

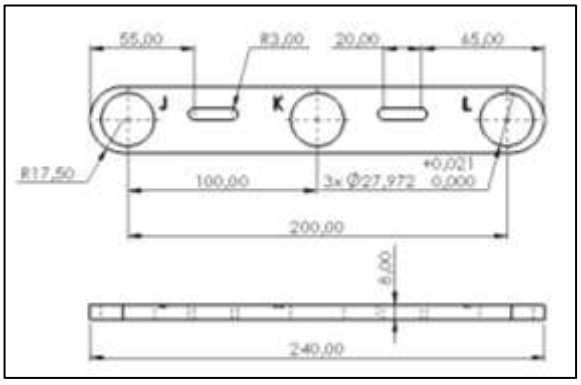


Figura 14: Barra "p" de 200 mm de largo entre ejes

Diseño de la perforación extra en la barra "p"

La barra "p" posee una perforación adicional que permite realizar un mecanismo diferente, este se ubica en la mitad de la barra y permite obtener un sistema con una

barra de 100 mm, este nuevo eslabón cumple con la condición de Grashof como se muestra en la ecuación 5 y el resto de barras mantienen su configuración.

S= 100 mm

L= 300 mm

P= 270 mm

Q= 150 mm

$$s + l < p + q \tag{5}$$

$$100 + 300 < 270 + 150$$

$$400 < 420$$

Al obtener un mecanismo manivela balancín, se obtiene una rotación completa del eslabón "s"; para lograr este movimiento se debe tomar en cuenta el orden con el que se ensamblan los eslabones.

Barra "L"

La barra "l" posee una longitud total entre ejes de 300 mm, y se ha diseñado dos ranuras de visualización simple para poder tomar la medida del ángulo de giro en cualquiera de sus tres perforaciones, la barra posee una perforación adicional que permite regular la longitud de la misma a 270 mm, esto se hace con la finalidad de brindar una posibilidad de visualizar que ocurre cuando un eslabón se reduce en 30 mm, como se muestra en la Figura 15.

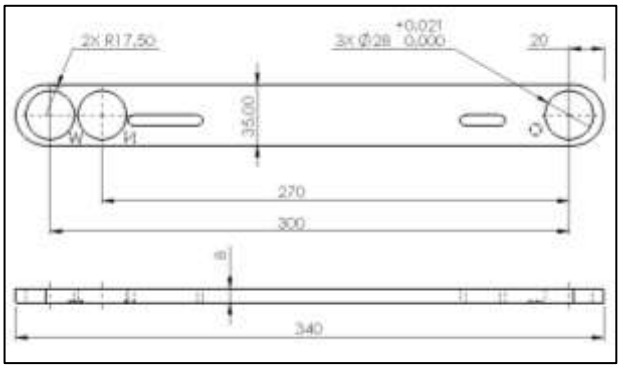


Figura 15: Barra "l" de 300 mm de largo entre ejes

Barra "Q"

La barra "q" posee una longitud total entre ejes de 270 mm, se ha diseñado dos ranuras de visualización simple para poder tomar la medida del ángulo de giro en cualquiera

de sus tres perforaciones, la barra posee una perforación adicional que permite regular la longitud de esta a 210 mm, como se muestra en la Figura 16, esto se hace con la finalidad de brindar una posibilidad de visualizar que ocurre con un mecanismo cuando se cumple con la condición "s+l > p+q".

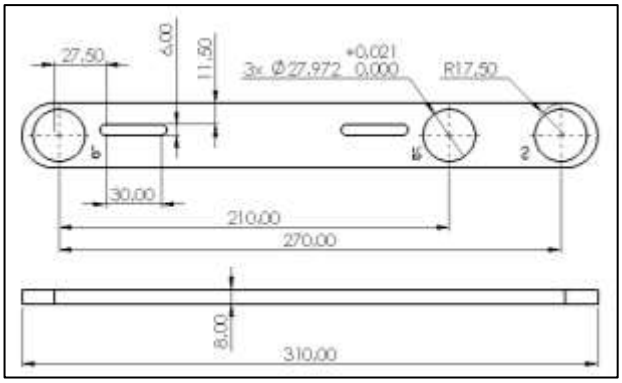


Figura 16: Barra "q" de 270 mm de largo entre ejes

Material de las barras

Lámina de acrílico que brinda rigidez, resistencia y bajo peso lo que la convierte en el mejor material para la fabricación de los eslabones, las propiedades del acrílico se muestran en la tabla 3.

3.1.9 Selección de las tolerancias de ajuste para el rodamiento y la barra

En el anexo 2 sección B catálogos, se muestra la tabla de ajuste internacional I.S.A.[9]; y se determina los ajustes adecuados que se ilustran en la Figura 17.

Agujero H7 ajuste fino

Ajuste de arrastre m6

Agujero de la barra $28_{-0.000}^{0.021}$

Rodamiento (eje) $28\ ^{+0.028}_{+0.008}$

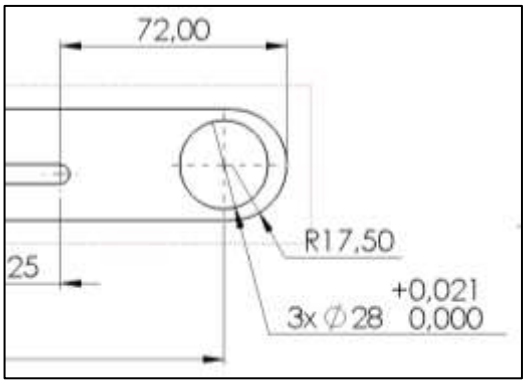


Figura 17: Tolerancias entre barra y rodamiento

Ajuste de arrastre se lo utiliza en piezas donde el acoplamiento fijo solo puede acoplarse o desacoplarse a golpes de martillo o prensado. Asegurando de esta manera la posición y evitando deslizamientos o rotaciones, para permitir la rotación es necesario el uso de rodamientos u otros.

Diseño de pasadores para acople rápido

El banco de pruebas para mecanismo de Grashof permite el acople y desacople de las barras de manera rápida y sin mayor esfuerzo por parte del usuario, los pasadores para el uso requerido poseen un juego entre el agujero interno del rodamiento y el pasador. Para este caso se ha recurrido al uso del manual descrito en [9] y se ha tomado los valores de la tabla en el anexo 3, sección B catálogos, para determinar las tolerancias de juego y apriete de cada elemento.

Agujero H8 ajuste corriente

Ajuste de deslizamiento h8

Utilizado en piezas donde se desea un acoplamiento fácil que no requiera de un gran esfuerzo. La Figura 18 y 19 representan el esquema del pasador hembra y macho.

Agujero (rodamiento) $12_{-0.00}^{0.027}$

Eje (pasador hembra)$12_{-0.027}^{0.000}$

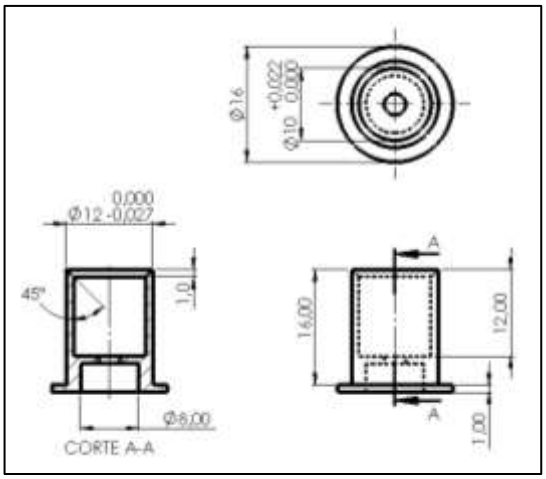


Figura 18**:** Eje hembra pasador de acople rápido

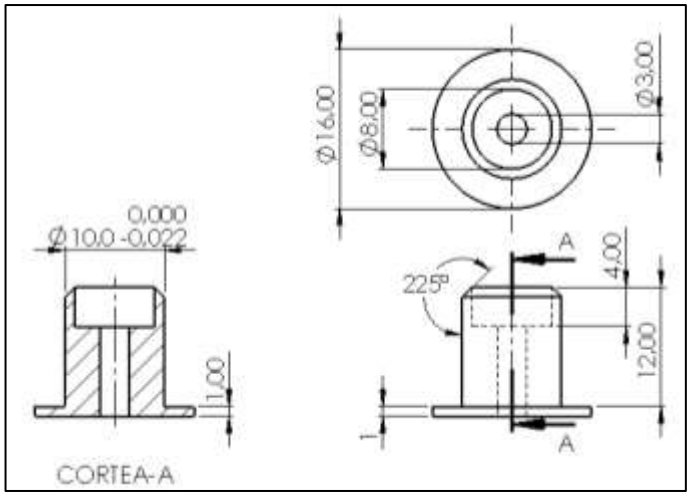


Figura 19: Eje macho del pasador de acople rápido

Las tolerancias para el pasador hembra y macho se determinan con la tabla en el anexo 2, sección B– catálogos. Para un valor de diámetro nominal de 10 milímetros.

Agujero H8 ajuste corriente

Ajuste de deslizamiento h8

Agujero (pasador hembra) $10_{-0.00}^{0.022}$

Eje (pasador macho) $10_{-0.022}^{0.000}$

3.1.10 Diseño del sistema de acople rápido entre las barras y el tablero de trabajo

El banco de pruebas cuenta con dos tipos de acople para los puntos de apoyo fijos, ambos "pasadores" se acoplan a un mismo ensamble hembra que se encuentra fijamente sujetado en el tablero de trabajo.

Determinación de las tolerancias para acople hembra y pasadores

Para determinar la tolerancia del acople hembra que está unido al tablero del banco de pruebas de manera permanente y que no permite rotación se utiliza los valores de la tabla 3, con el valor de diámetro nominal de 15 milímetros, los valores se muestran en la Figura 20.

Más de 10 a 18	+0,018* 0,000	+0,039 +0,028*	+0,034 +0,023*	+0,023 +0,012*	+0,018 +0,007*

Figura 20: Valores de tolerancia tomados de la tabla en el anexo 3.

Agujero H7 ajuste fino

Ajuste de arrastre m6

Agujero del tablero $15_{-0.000}^{0.018}$

Acople hembra (eje) $15\ ^{+0.018}_{+0.007}$

Para el ajuste entre el acople hembra y el acople macho se utiliza la tabla en el anexo 2, Sección- B catálogos, estos valores se muestran en la Figura 21.

Más de 6 a 10	+0,022* 0,000	0,000 −0,022*

Figura 21: Valores de tolerancia tomados de tabla en el anexo 3.

Agujero H8 ajuste corriente

Ajuste de deslizamiento h8:

Agujero (acople hembra) $10_{-0.00}^{0.027}$

Eje (acople macho) $10_{-0.027}^{0.000}$

En la Figura 22, 23, 24 y 25 se ilustran las dimensiones y tolerancias determinadas para cada uno de los acoples.

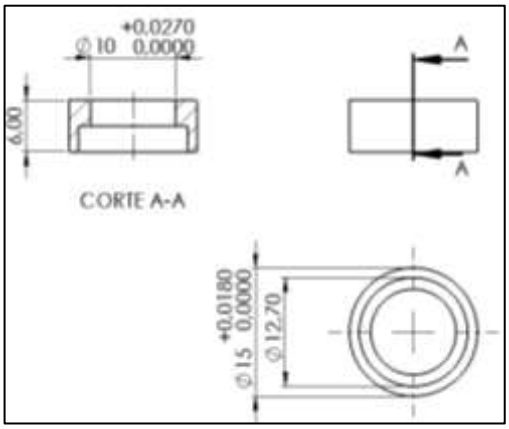


Figura 22: Acople hembra fijo en el tablero de trabajo

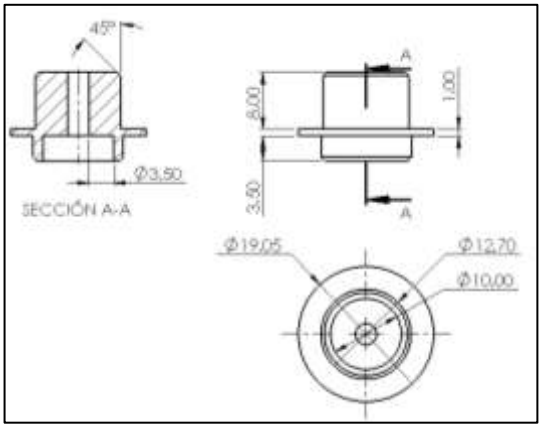


Figura 23: Acople macho primer caso

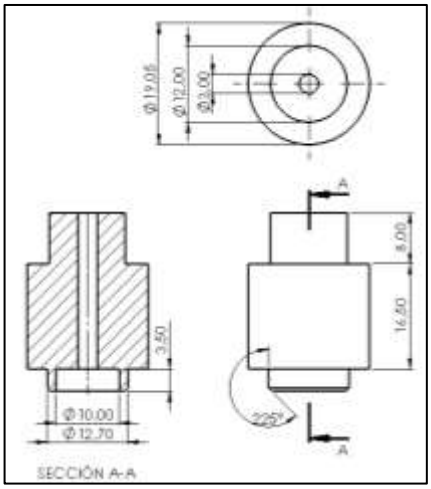


Figura 24: Acople macho segundo caso

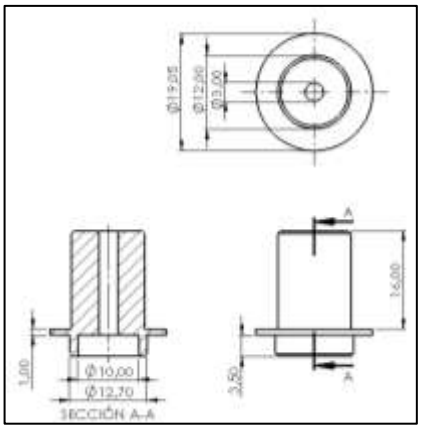


Figura 25: Acople macho tercer caso

Material para la elaboración de los pasadores de acople rápido Acero inoxidable 304

Según [10] un acero inoxidable es una aleación que consta de hierro, carbono, cromo y níquel, su principal componente es el hierro y para lograr que este acero sea inoxidable el contenido de cromo en esta solución debe ser mayor o igual que 11.5%, a continuación, se detallan las principales propiedades físicas de interés para este proyecto.

- Densidad = 7.93 g/cm3
- Permeabilidad magnética = 1.02 H/m
- Todos los aceros contienen níquel en su aleación
- No poseen propiedades magnéticas

3.1.11 Selección del tamaño adecuado de los imanes de neodimio

Imán de neodimio N52

Los imanes de neodimio son los que prestan la mejor atracción magnética posible, se los fabrica a base de presión de un polvo de la aleación cocido en caliente y que se encuentra en un ambiente con un campo magnético controlado, sus aplicaciones son varias y facilitan realizar la unión de componentes tanto en robótica, industria, medicina y varios campos más. [4]

Para seleccionar los imanes adecuados y cumplir con los requisitos de diseño del banco de pruebas ilustrado en la Figura 26, es importante conocer el peso de las barras completas, diámetro interno del rodamiento y componentes en general del banco de pruebas, estos valores fueron obtenidos con una balanza digital y se presentan en los anexos 1, 2, 3 y 4, sección E- fotografías.

Datos:

Masa barra “s” = 83.30 gramos

Masa barra “p” = 113.25 gramos

Masa de la barra “q” = 135.08 gramos

Masa barra “l” =147.98 gramos

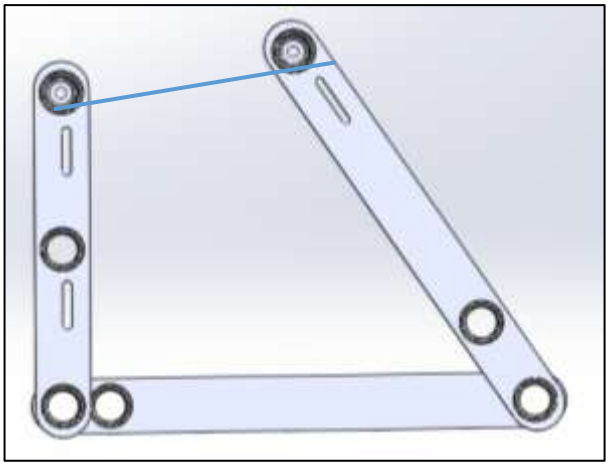


Figura 26: Representación gráfica del mecanismo de cuatro barras de Grashof

En el mercado nacional se puede encontrar una gran variedad de imanes de neodimio en diferentes tamaños y configuraciones, para la selección adecuada del tamaño se ha recurrido a los siguientes criterios de diseño:

El banco de pruebas cuenta con ocho apoyos fijos que se encuentran en el tablero de trabajo, los mismos se ilustran en la Figura 10. Estos apoyos deben soportar la carga total de las barras, para el caso de estudio se toma el valor más alto que es la suma total de las cuatro barras.

Suma total de la masa de las barras = (83.30 + 113.25 + 147.98 + 135.08) gr

Suma total de la masa de las barras = 479.61 gr

Para la unión tipo acople rápido que existe en las uniones de las barras el criterio a considerar es, la suma de las tres barras de mayor tamaño, esto debido a que la carga que deben soportar se distribuye a dos puntos y en el caso más extremo la unión está sometida a soportar el peso de tres barras.

Suma total de la masa de las 3 barras = (113.25 + 147.98 + 135.08) gr

Suma total de la masa de las 3 barras más largas = 396.31 gr

El rodamiento seleccionado posee un diámetro interno de 12 mm, el imán debe estar sujetado en el interior del eje de acero inoxidable maquinado, por esta razón el mismo debe tener un valor de diámetro menor que 12 mm, se han utilizado diferentes imanes y cuyas características se presentan en la Tabla IV.

TABLA IV

PROPIEDADES DE LOS IMANES DE NEODIMIO [11].

Dimensiones	**Características**	**Cantidad**
Imán circular de 8 mm de diámetro y 3 mm de espesor	Material NdFeB Fuerza de sujeción: aprox. 1.5 kg (aprox. 14.7 N)	4
Imán circular de 10 mm de diámetro y 3 mm de espesor	Material NdFeB Fuerza de sujeción: aprox. 1.8 kg (aprox. 17.66 N)	12

Los imanes seleccionados cumplen con los criterios de diseño planteados y en ambos casos sobrepasan la capacidad de "sujeción" con un valor máximo de 479.61 gr de peso de las cuatro barras comparados con un valor máximo de 1.5 Kg con el imán de Neodimio de 8*3 mm.

Diseño del disco graduado

El disco graduado permite visualizar el ángulo de giro de cada eslabón, este disco está representado en cada apoyo que se requiere, las consideraciones de diseño son las siguientes:

- La barra más larga tiene una longitud de 300mm y la barra más corta un valor de 150mm, para poder tener una visualización de los valores que presenta el disco graduado se establece un valor de diámetro de 110 mm, este valor no interfiere con las perforaciones de los rodamientos.
- La barra "l" posee dos perforaciones continuas las cuales permiten obtener eslabones de 270 y 300 mm respectivamente, la distancia desde el origen de la barra hasta el punto más extremo de la perforación es de 64 mm, el valor está por debajo de los 110 mm seleccionados; el disco graduado y sus dimensiones se ilustran en la Figura 27.

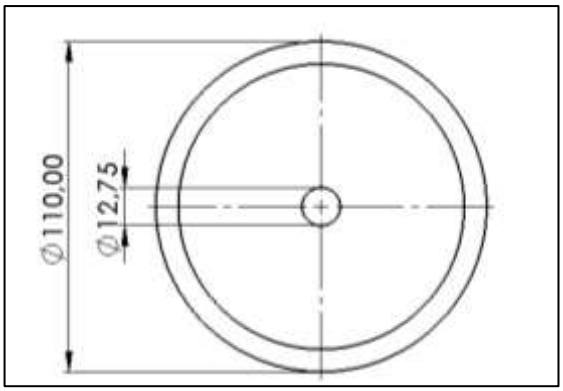


Figura 27: Dimensiones del disco graduado

El disco posee marcas graduadas de 10º en 10º y divisiones menores que indican valores intermedios cada 5 unidades de grado, esas guías permiten determinar el grado de rotación que se puede generar con cada eslabón, en la Figura 28 se muestra el esquema.

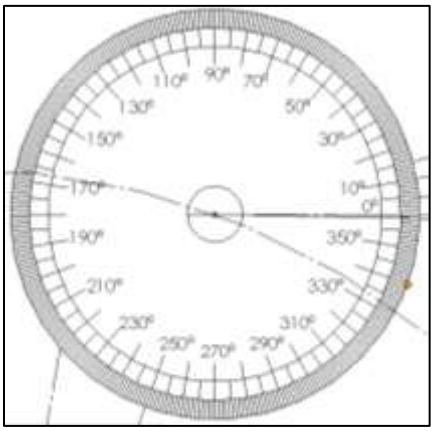


Figura 28: Esquema Cad de las líneas y grados del disco

3.1.12 Propuesta final de diseño del banco de pruebas de mecanismo Grashof

En la Figura 29 se muestra el banco de pruebas final con las dimensiones de tablero igual a 600*700 milímetros, considerando esta como área útil total, adicional debido a el espesor del marco de aluminio que es el soporte para los diferentes tableros, se aumenta 20 milímetros a cada una de las dimensiones; por este motivo el valor para la construcción es de 620*720 milímetros; el material de construcción principal de las barras y el tablero es acrílico de diferentes espesores, por su facilidad de maquinado, bajo peso y resistencia, el tablero posee un fondo de color blanco para mejorar la visualización y toma de datos, se han remarcado letras en el tablero y las barras para desarrollar las prácticas mediante la guía de laboratorio.

Se han diseñado uniones de acople rápido mediante el uso de imanes de neodimio y pasadores diseñados para cumplir con los requerimientos del banco de pruebas, los pasadores se han elaborado en acero inoxidable que es un material resistente a la intemperie y permite el uso de imanes al no ser un elemento que presente propiedades magnéticas, con este sistema se brinda la facilidad de armar y desarmar el mecanismo de cuatro barras para desarrollar diferentes dispositivos.

Las articulaciones de los eslabones poseen rodamientos, estos permiten un movimiento de rotación sin esfuerzo y liberan el mecanismo de rozamientos o interferencias en los desplazamientos; Para la obtención de los ángulos de giro se ha desarrollado una serie de plantillas intercambiables con los 4 casos posibles planteados en esta tesis, las plantillas poseen información importante como: representación gráfica de la barra fija y tipo de mecanismo, discos graduados para determinar el ángulo de apertura.

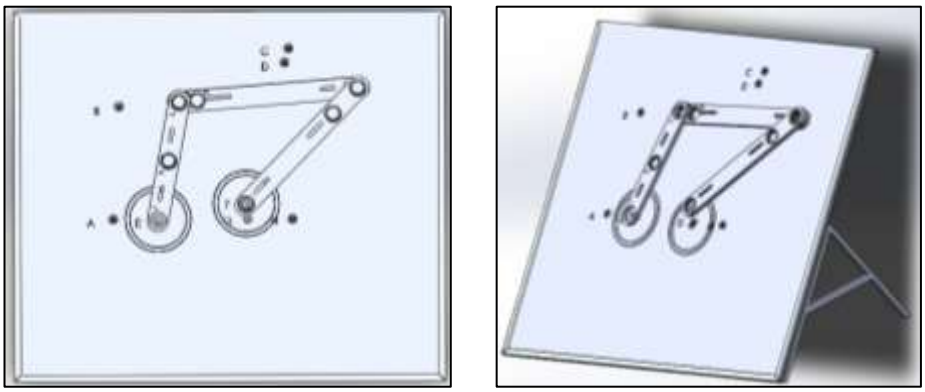


Figura 29: Propuesta final del banco de pruebas

3.2 Análisis y discusión de los resultados

3.2.1 Análisis de la primera inversión cinemática doble manivela del mecanismo base, análisis cinemático del mecanismo Grashof cuatro barras, determinación de los ángulos.

La Figura 30 representa el diagrama vectorial para la determinación del ángulo de salida, este esquema es la base para la resolución de los ejercicios tipo 1, 2, 3 y 4; la Figura 31 muestra las trayectorias que pueden describir tanto el eslabón de entrada como el de salida.

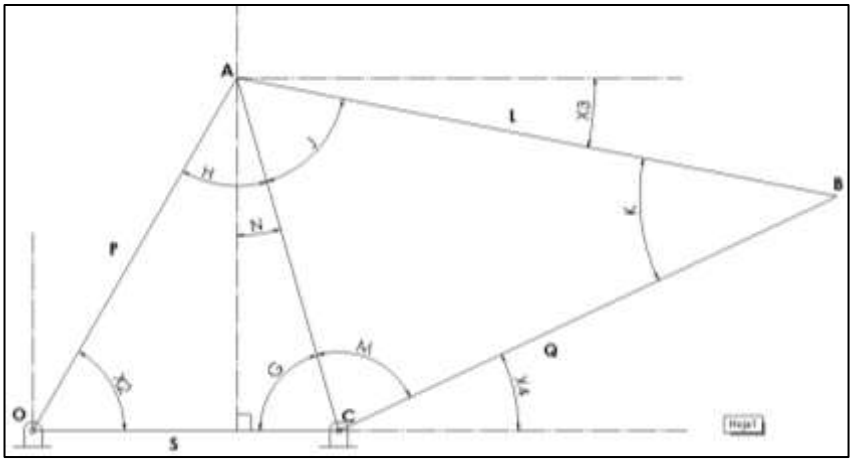


Figura 30: Mecanismo doble manivela

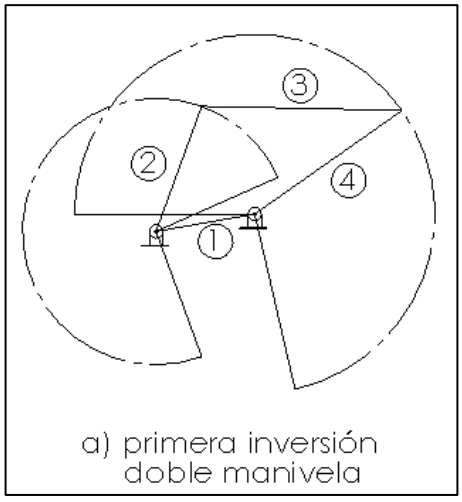


Figura 31: Trayectorias del eslabón de entrada y salida

Análisis cinemático del mecanismo Grashof cuatro barras, determinación de los ángulos

Datos:

Eslabón "S" - $\overline{OC}$ = 150

Eslabón "P" - $\overline{OA}$ = 200

Eslabón "Q" - $\overline{BC}$ = 270

Eslabón "L" - $\overline{AB}$ = 300

Lado del triangulo $\overline{AC}$

X2 = 60º

Para resolver el ejercicio es requerida la fórmula de la ley del coseno [12], esta permite determinar el valor del lado faltante de un triángulo que no es rectángulo

$$\overline{AC} = \sqrt{\overline{OA^2} + \overline{OC^2} - 2 * \overline{OA} * \overline{OC} * \cos \measuredangle \text{X2}} \tag{7}$$

$$\measuredangle \text{N} = 90° - \sin^{-1}\left[\frac{\overline{OA} * \sin \measuredangle \text{X2}}{\overline{AC}}\right] \tag{8}$$

Según [13]. Determina que la sumatoria de los ángulos internos de un triángulo debe ser igual a 180º; en la tabla 5 se ilustran todos los valores calculados.

$$\sum \measuredangle AOC = 180° \tag{9}$$

$$\measuredangle H = 180° - \measuredangle X2 - \measuredangle G$$

$$\measuredangle G = \sin^{-1}\left[\frac{\overline{\overline{OA}} * \sin \measuredangle X2}{\overline{AC}}\right]$$

$$\measuredangle J = \cos^{-1}\left[\frac{\overline{BC^2} - \overline{AC^2} - \overline{AB^2}}{-2 * \overline{AC} * \overline{AB}}\right]$$

$$\measuredangle X3 = 90° - \measuredangle J - \measuredangle N$$

$$\measuredangle X4 = 180° - \measuredangle G - \measuredangle M$$

TABLA V

RESULTADO ÁNGULOS DIRECTORES

X2	AC mm	G	H	M	J	N	X3	X4
60º	180.28	73.9º	46.1º	80.9º	62.71º	16.1º	1.19º	25.2º
70º	204.89	66.53º	43.47	77.01º	61.28	23.47º	5.25º	36.46º

Toma de datos obtenidos en el banco de pruebas diseñado

Se posiciona el eslabón de entrada a 70º como se ilustra en la Figura 32, se toma el valor de cota inicial para compararlo con el valor obtenido en el ejercicio mostrado en el ítem 3.1.1.

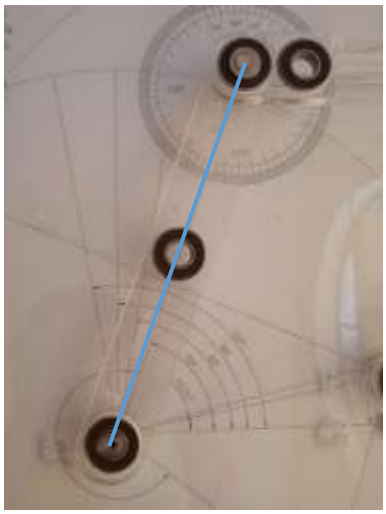


Figura 32: Eslabón de entrada a 70º

En la Figura 33 se muestra el valor tomado en el banco de pruebas para la posición inicial de 70º, en este caso se puede determinar un ángulo de salida del eslabón de 1°

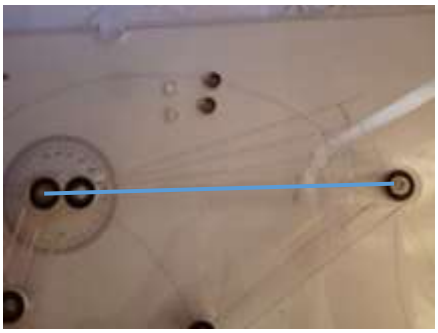


Figura 33: Eslabón de salida con desfase de 1º

3.2.2 Discusión de resultados

Los valores obtenidos en el banco de pruebas se comparan con los calculados y se analizan los resultados, los mismos que se muestran en la tabla VI.

TABLA VI

VALORES DE ÁNGULOS DE ENTRADA Y SALIDA

	Ángulo de entrada	**Ángulo de salida**	**Ángulo visualizado**	**Valor de error**
Ejercicio calculado	60º	1.19º	1º	0.19º
Ejercicio calculado	70º	5.25º	5º	0.25º

Los valores que se obtienen en el banco de pruebas presentan una diferencia de ±1° debido a la escala que presenta el disco graduado, por lo tanto, la obtención de un valor fraccionado por parte del usuario no se puede realizar con facilidad. El banco de pruebas cumple con las expectativas deseadas al presentar valores de ángulos de giro muy cercanos a los reales, con esta comparación se puede garantizar la confiabilidad de los otros sistemas que se pueden desarrollar en el banco de pruebas de mecanismo Grashof.

3.2.3 Análisis del ejercicio mecanismo Grashof (manivela balancín)

Determinar cuántas veces el eslabón de salida pasa por un mismo punto de acuerdo con el valor del ángulo de giro establecido por el usuario. Las Figuras 34, 35 y 36 representan el procedimiento a desarrollar.

1. Los puntos de apoyo se encuentran en D-G.

Eslabón q fijo en puntos D-G =270mm

Eslabón s= 150 mm

Eslabón l= 270mm

Eslabón p= 200mm

$$S + L < P + Q \tag{10}$$

$$150 + 270 < 200 + 270$$

$$420 < 470$$

Cumple con la condición de Grashof

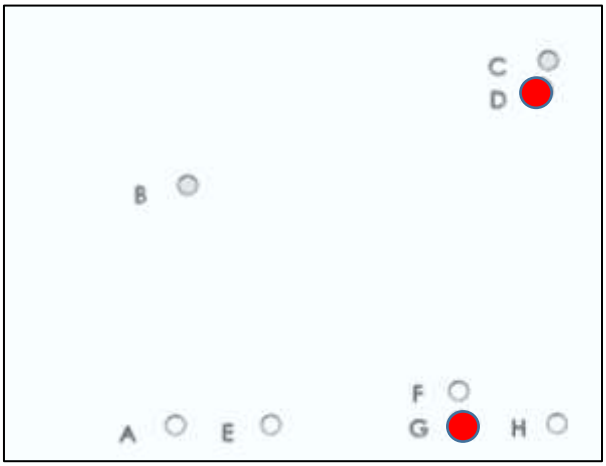


Figura 34: Puntos de apoyo eslabón fijo

2. Luego de colocar los soportes en el tablero se procede a ensamblar las tres barras, las barras deben armarse de cierta manera para lograr o no el giro completo de algún eslabón, las tres barras se ensamblan de la siguiente manera: "T" con "S", "P" con "L", para ese caso se utilizan los acoples rápidos para mantener fijas las uniones.

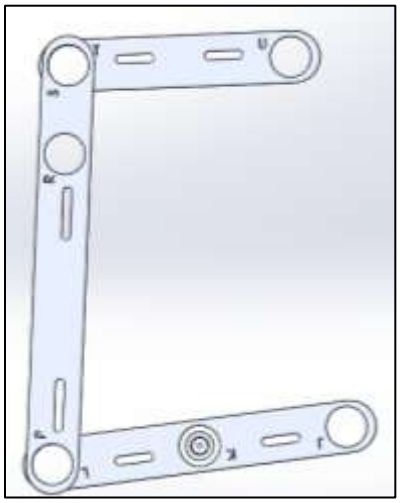


Figura 35: Ensamble de las barras

3. Se acoplan los puntos “D” con “U” y “K” con “G”
4. Se define un punto de partida para la barra “s”, esta actúa como manivela.

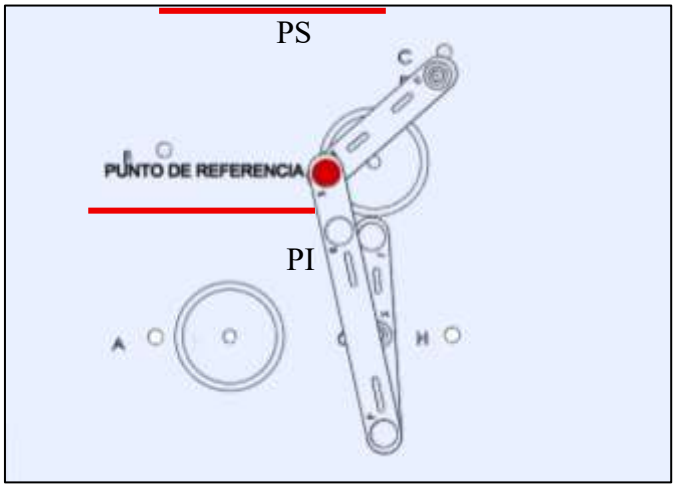


Figura 36: Punto de referencia establecido

5. Resolución

Para una rotación de 1650º determinar cuántas veces se ha cruzado el eslabón por el punto de referencia**.**

En este caso el eslabón de entrada se encuentra en una posición inferior al igual que el punto de referencia se encuentra es su punto inferior (PI), a partir de esto se deduce que en cada giro completo el eslabón balancín pasaría por una ocasión en el punto de referencia.

Proceso:

$$\frac{1650}{360} = 4.58\, revoluciones$$

Hasta el momento se ha determinado que se ha completado 4 giros completos y corresponde a cuatro eventos en los cuales el eslabón ha pasado por el punto de referencia. El valor de 0.58 revoluciones indica que el eslabón se ha detenido en el trayecto de regreso después de alcanzar su punto superior (PS). Finalmente se concluye que el eslabón ha concurrido en cuatro ocasiones por el punto de control, el valor de 0.58 revoluciones equivale a 208.8º de rotación del eslabón de entrada, el eslabón balancín se encuentra descendiendo del (PS) hacia el punto de referencia.

3.3 Combinaciones posibles de barras

La tabla VII refleja las iteraciones posibles que se obtienen con las diferentes dimensiones de las barras, clasificando el sistema como Grashof y no Grashof; se recalca que cada mecanismo Grashof posee 4 inversiones cinemáticas posibles.

TABLA VII

COMBINACIONES POSIBLES DEL MECANISMO BASE

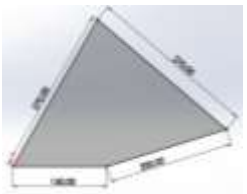
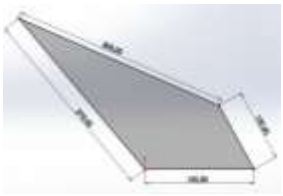
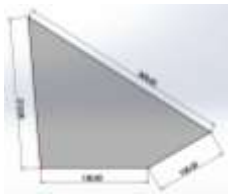
Longitudes (s,l,p,q) [mm]	**s**	**l**	**p,q**	**s+l**	**p+q**	**Grashof**	**Tipo de inversión según qué barra se fije**	**Esquema**
150, 200, 270, 300	150	300	200, 270	450	470	Sí	- Si se fija la barra s = 150 doble-manivela. - Si se fija la barra opuesta a s (la que no es adyacente a s) doble-balancín. - Si se fija cualquiera de las otras dos barras (200 ó 270) biela-manivela	
150, 200, 270, 270	150	270	200, 270	420	470	Sí	- fijar 150 doble-manivela. - fijar la barra opuesta a 150 doble-balancín. - fijar 200 ó 270 (las otras dos) biela-manivela.	
50, 200, 210, 300	150	300	200, 210	450	410	No	No cumple Grashof ninguna de las barras puede girar 360° con respecto a sus vecinas. Todas las inversiones serán variantes de balancín-balancín	
150, 200, 210, 270	150	270	200, 210	420	410	No	No-Grashof todas las inversiones producen balancín/balancín (sin rotación completa).	

TABLA VII

COMBINACIONES POSIBLES DEL MECANISMO BASE (continuación)

150, 100, 270, 300	100	300	150 , 270	400	420	Sí	- fijar 100 (s) doble-manivela. - fijar la barra opuesta a 100 doble-balancín. - fijar cualquiera de las otras dos (150 ó 270) biela-manivela	
150, 100, 270, 270	100	270	150 , 270	370	420	Sí	Igual que 5: - fijar 100 doble-manivela. – fijar opuesta a 100 doble-balancín. - fijar 150 ó 270 biela-manivela.	
150, 100, 210, 300	100	300	150 , 210	400	360	No	No-Grashof variantes balancín/balancín (sin rotación completa).	
150, 100, 210, 270	100	270	150 , 210	370	360	No	No-Grashof variantes balancín/balancín (sin rotación completa).	

La tabla brinda información de cuáles son las combinaciones posibles determinadas que brindan un mecanismo Grashof y no Grashof, prediciendo la configuración de cada iteración y un esquema gráfico.

3.4 Costos

En la Tabla VIII, se detallan los materiales, insumos y costos requeridos para la construcción del banco de pruebas.

TABLA VIII

RECURSOS Y COSTOS

RECURSOS	COSTO $
Planchas de acrílico	200
Eje de acero inoxidable	25
Perfil de aluminio U	35
Imanes de neodimio	15
Corte y gravado laser	80
Planos y emplasticado	50
Impresiones	25
Esquinas plásticas para perfil	6
Rodamientos	25
Prototipos	150
Materiales de oficina	30
Maquinado de los pasadores de acero inoxidable	80
TOTAL DE GASTOS	**721**

La tabla VIII muestra el valor final de construcción con un total de 721 dólares, este valor se utiliza como base para recrear el banco de pruebas, logrando reducir el valor al eliminar los gastos de prototipos, impresiones entre otros, ya que al contar con una base sólida de diseño no se pierden recursos en crear prototipos y se facilita modificar los materiales de construcción.

3.5 Guías Practicas de laboratorio

La implementación de guías de laboratorio para el uso del banco de pruebas de mecanismo Grashof en la Facultad de Ingeniería Mecánica es fundamental para fortalecer la formación práctica de los estudiantes en el área de la mecánica de máquinas. El banco de pruebas desarrollado permite recrear diferentes mecanismos Grashof y no Grashof, lo que ofrece una plataforma versátil para el estudio y análisis de estos sistemas mecánicos. Las guías de laboratorio incluidas en el anexo (sección C) proporcionan un recurso estructurado y detallado para que los estudiantes puedan realizar prácticas experimentales que complementen su aprendizaje teórico.

Estas guías de laboratorio están diseñadas para guiar a los estudiantes a través del proceso de armado y toma de datos de los mecanismos, fomentando la comprensión de los principios fundamentales que rigen el comportamiento de los mecanismos.

Cada guía incluye objetivos claros, procedimientos detallados, preguntas relacionadas con la práctica, y espacios para conclusiones, lo que permite a los estudiantes reflexionar sobre los resultados obtenidos y aplicarlos a situaciones prácticas.

La inclusión de estas guías de laboratorio en la carrera de Ingeniería Mecánica contribuirá significativamente a mejorar la calidad de la enseñanza, ya que proporcionará a los estudiantes una experiencia práctica directa con sistemas mecánicos complejos. Además, el banco de pruebas y las guías de laboratorio servirán como herramientas valiosas para la investigación y el desarrollo de nuevos proyectos en el área de la mecánica de máquinas, fortaleciendo así la capacidad de la facultad para ofrecer una educación de alta calidad y relevante para el sector industrial. Las cuatro guías de laboratorio incluidas abarcan diferentes casos de mecanismos, lo que garantiza una cobertura amplia y representativa de los conceptos teóricos, permitiendo a los estudiantes aplicar sus conocimientos en una variedad de escenarios prácticos.

En resumen, la creación y utilización de estas guías de laboratorio para el banco de pruebas de mecanismo Grashof es una contribución importante para la formación de ingenieros mecánicos competentes y capaces de enfrentar desafíos reales en el ámbito profesional

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La selección y dimensionamiento de los componentes del banco de pruebas, incluyendo las barras de 150, 200, 270 y 300 mm, rodamientos 6001-2RSC3 en las articulaciones, pasadores y acoples de acero inoxidable, imanes de neodimio, así como el diseño que permite armar y desarmar rápidamente el sistema, ha demostrado ser efectivo en la representación y análisis de diferentes mecanismos con un margen de error de +- 1° sexagesimal, al valor calculado comparado con el valor visual.
- La construcción del banco de pruebas para el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica es una herramienta que permite recrear 4 mecanismos Grashof con sus 4 inversiones cinemáticas, ilustrando 32 casos de mecanismos Grashof y no Grashof.
- Las cuatro guías de laboratorio proporcionan a los docentes un recurso detallado y estructurado para planificar y ejecutar practicas experimentales, abarcando 32 casos Grashof, permitiendo la creación de otros mecanismos gracias a los puntos de apoyo adicionales en el tablero del banco y a las variaciones de tamaño de las barras.

4.2 Recomendaciones

- Elaborar los eslabones del mecanismo de Grashof con colores distintivos, esto para mejorar la identificación de cada una de las barras, lo cual facilita la enseñanza del docente al explicar un mecanismo y los estudiantes encuentren de manera más intuitiva el eslabón que se describa o se requiera obtener algún dato.
- Desarrollar más puntos de apoyo que permitan realizar sistemas que puedan o no cumplir con la condición de Grashof, determinando mecanismos diferentes y visualizando sus ventajas y desventajas mecánicas.
- Fabricar más barras con diferentes dimensiones que permitan recrear sistemas aleatorios que no necesariamente cumplan el criterio de Grashof, además de poder recrear mecanismos de 5 o 6 barras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] M. A. Roque Morales, Diseño de un banco didáctico de pruebas de mecanismos, Colombia, 2009.

[2] V. Torres, Desarrollo de un mecanismo de cuatro barras para su uso en la enseñanza, México, 2009.

[3] Z. Figueras, Maquetas didácticas para la enseñanza de Teoría de Máquinas y Mecanismos: análisis comparativo del diseño, la fabricación, el control y el coste, Catalunya: Universitat politécnica de Catalunya, 2020.

[4] J. Ramos, Diseño y construcción de un generador de flujo radial de imanes permanentes de neodimio con estator de polos salientes, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, 2019.

[5] E. Yánez, Síntesis cinemática de orden superior y de generación de movimiento para tres y cuatro posiciones prescritas de mecanismos de cuatro barras - diseño y simulación de aplicaciones industriales, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, 2014.

[6] R. Jiménez, Geometria Y Trigonometria, México: Pearson Educación, 2007.

[7] A. S.A., Acrilux, 2020. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://acrilux.com.ec/files/PROPIEDADES.pdf. [Último acceso: 20 noviembre 2023].

[8] M. &. C. NSK, «Cómo seleccionar el rodamiento y la disposición adecuados Guia Paso a paso [En línea]. Available: file:///C:/Users/Jos%C3%A9/Downloads/P_TI-0104_ES.pdf. [Último acceso: 10 noviembre 2023].

[9] A. Casillas, Máquinas cálculos de taller, España: Ediciones Máquinas, 2008.

[10] M. Bombón, Análisis de la variación de velocidad de avance en la soldadura del acero inoxidable austenítico AISI 304 mediante el proceso GMAW y su incidencia en la defectología, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, 2014.

[11] Supermagnete, Supermagnete, [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.supermagnete.es/data_sheet_S-10-03-N.pdf. [Último acceso: 05 mayo 2024].

[12] M. Peters, Álgebra y trigonometría, España: Reverte, 2022.

[13] R. Basto, Matemáticas 2, México: Patría, 2016.

[14] J. K. y. otros, Geometría Analítica, México: Mc Graw Hill, 2007.

[15] S. Burbano, Fisica General, España: Tébar Flores, 2003.

ANEXOS

SECCIÓN A – MATERIALES

ANEXO A1

Acrílico

acrílicos ACRILUX S.A.

DIRECCIÓN: Pasaje N44B y Av. 6 de Diciembre (Entre Av. de los Shyris y Av. Río Coca) Quito-Ecuador
TELÉFONOS: (02) 3-34-30-34, (02) 3-34-30-60, (09) 9-45-45-45
E-MAIL: info@acrilux.com.ec

PROPIEDADES DEL ACRÍLICO

La lámina acrílica es un material termoplástico ampliamente utilizado por su estética y alta claridad, considerado como el mejor de todos los plásticos transparentes destinados a ser usados a la intemperie. El acrílico es uno de los plásticos de mayor aceptación en los mercados de cubiertas, publicidad, decoración, avisos luminosos, etc.

PROPIEDADES FÍSICAS

La lámina acrílica por sus propiedades físicas es una de las más durables del mercado. Entre ellas podemos citar:

- Transmisión de la luz del 92-95% (transparencia que es superior a la del vidrio).
- Bajo peso (densidad 1,2 g/cm^3).
- Extraordinaria resistencia al medio ambiente, excelente resistencia a la degradación por rayos ultravioletas.
- No se opaca con el tiempo.
- Larga vida útil.
- Facilidad para el termo-formado: sometiéndole a temperaturas entre 140 a 180°C.
- Máxima temperatura recomendada para servicio o exposición continua 65 a 90°C.
- Mínima temperatura recomendada para servicio o exposición continua -40°C.
- Baja resistencia a la abrasión.
- Fácil limpieza, pues solo se necesita un detergente doméstico y agua.

PROPIEDADES QUÍMICAS

Resiste la mayoría de productos químicos: bases, ácidos, amoníaco (no muy concentrado), hidrocarburos alifáticos (hexano, nafta y octanos).

No resiste hidrocarburos clorinados (cloruro de metileno, tetracloruro de carbono); solventes aromáticos como benceno, terpeno, tolueno, trementina; alcoholes etílicos y metílicos; ácidos orgánicos como el acético, fenoles, thinner, cetonas y éteres.

ANEXO A2

Acero inoxidable 304

Propiedades físicas

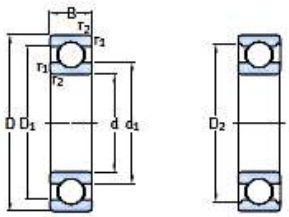
Propiedades del Acero INOX 304	
Densidad	7.93 g/cm3
Punto de fusión	1398-1454 ℃
Calor especifico (Capacidad calorífica específica)	500 J/(Kg • K) a 20℃
Resistividad eléctrica	0.73 $\mu\Omega$ • m (20℃)
Permeabilidad magnética	1.02 (Aproximado)
Modulo elástico	193 GPa (28×106 psi)
Difusividad térmica	3.84 mm2/s
Coeficiente de conductividad termica	16.3 (100 ℃) 21.5 (500 ℃)
Coeficiente de dilatacion lineal	17.2 (0-100 ℃) 17.8 (0-300 ℃) 18.4 (0-500 ℃)

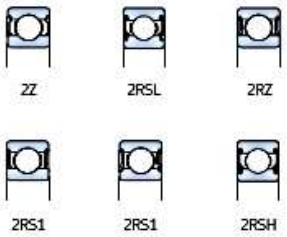
SECCIÓN B – CATÁLOGOS Y TABLAS

ANEXO B1

Catálogo Skf Rodamiento rígido de bolas

1.1 Rodamientos rígidos de una hilera de bolas
d 12 – 15 mm





Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designaciones	
			dinámica	estática		Velocidad de referencia	Velocidad límite[2]		Rodamiento abierto o tapado en ambos lados	tapado en un lado[4]
d	D	B	C	C_0	P_u					
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	–	
12	21	5	1,74	0,915	0,039	–	20 000	0,0063	▸ 61801-2RS1	–
	21	5	1,74	0,915	0,039	70 000	36 000	0,0063	▸ 61801-2Z	–
	21	5	1,74	0,915	0,039	70 000	43 000	0,0063	▸ 61801	–
	24	6	2,91	1,46	0,062	–	19 000	0,011	▸ 61901-2RS1	–
	24	6	2,91	1,46	0,062	67 000	32 000	0,011	▸ 61901-2Z	–
	24	6	2,91	1,46	0,062	67 000	40 000	0,011	▸ 61901	–
	28	8	5,4	2,36	0,1	60 000	38 000	0,021	▸ 6001	–
	28	8	5,4	2,36	0,1	–	17 000	0,022	▸ 6001-2RSH	6001-RSH
	28	8	5,4	2,36	0,1	60 000	30 000	0,021	▸ 6001-2RSL	6001-RSL
	28	8	5,4	2,36	0,1	60 000	30 000	0,022	▸ 6001-2Z	6001-Z
	28	12	5,07	2,36	0,1	–	17 000	0,029	63001-2RS1	–
	30	8	5,07	2,36	0,1	–	17 000	0,028	16101-2RS1	–
	30	8	5,07	2,36	0,1	56 000	28 000	0,028	16101-2Z	–
	30	8	5,07	2,36	0,1	60 000	38 000	0,026	16101	–
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	32 000	0,037	▸ 6201	–
	32	10	7,28	3,1	0,132	–	15 000	0,038	▸ 6201-2RSH	6201-RSH
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	26 000	0,038	▸ 6201-2RSL	6201-RSL
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	26 000	0,039	▸ 6201-2Z	6201-Z
	32	14	6,89	3,1	0,132	–	15 000	0,045	62201-2RS1	–
	37	12	10,1	4,15	0,176	45 000	28 000	0,06	▸ 6301	–
	37	12	10,1	4,15	0,176	–	14 000	0,062	▸ 6301-2RSH	6301-RSH

ANEXO B2

Ajuste internacional I.S.A. : [9]

Ajustes Internacional I.S.A.

AGUJERO UNICO

DIFERENCIAS NOMINALES

* CIFRAS MARCADAS CON ASTERISCO NO PASA

DIAMETROS NOMINALES mm.	AGUJERO H 7 No pasa · Pasa	EJES NO PASA PASA s 6	r 6	n 6	m 6	k 6
1 a 3	+ 0,009* 0,000	+ 0,022 + 0,015*	+ 0,019 + 0,012*	+ 0,013 + 0,006*	+ 0,009 + 0,002*	
Más de 3 a 6	+ 0,012* 0,000	+ 0,027 + 0,019*	+ 0,023 + 0,015*	+ 0,016 + 0,008*	+ 0,012 + 0,004*	
Más de 6 a 10	+ 0,015* 0,000	+ 0,032 + 0,023*	+ 0,028 + 0,019*	+ 0,019 + 0,010*	+ 0,015 + 0,006*	+ 0,010 + 0,001*
Más de 10 a 18	+ 0,018* 0,000	+ 0,039 + 0,028*	+ 0,034 + 0,023*	+ 0,023 + 0,012*	+ 0,018 + 0,007*	+ 0,012 + 0,001*
Más de 18 a 30	+ 0,021* 0,000	+ 0,048 + 0,035*	+ 0,041 + 0,028*	+ 0,028 + 0,015*	+ 0,018 + 0,008*	+ 0,015 + 0,002*
Más de 30 a 40	+ 0,025*	+ 0,059	+ 0,050	+ 0,033	+ 0,025	+ 0,018
Más de 40 a 50	0,000	+ 0,043*	+ 0,034*	+ 0,017*	+ 0,009*	+ 0,002*
Más de 50 a 65	+ 0,030*	+ 0,072 + 0,053*	+ 0,060 + 0,041*	+ 0,039	+ 0,030	+ 0,021
Más de 65 a 80	0,000	+ 0,078 + 0,059*	+ 0,062 + 0,043*	+ 0,020*	+ 0,011*	+ 0,002*
Más de 80 a 100	+ 0,035*	+ 0,093 + 0,071*	+ 0,073 + 0,051*	+ 0,045	+ 0,035	+ 0,025
Más de 100 a 120	0,000	+ 0,101 + 0,079*	+ 0,076 + 0,054*	+ 0,023*	+ 0,013*	+ 0,003*
Más de 120 a 140	+ 0,040*	+ 0,117 + 0,092*	+ 0,088 + 0,063*	+ 0,052	+ 0,040	+ 0,028
Más de 140 a 160		+ 0,125 + 0,100*	+ 0,090 + 0,065*			
Más de 160 a 180	0,000	+ 0,133 + 0,108*	+ 0,093 + 0,068*	+ 0,027*	+ 0,015*	+ 0,003*
Más de 180 a 200	+ 0,046*	+ 0,151 + 0,122*	+ 0,106 + 0,077*	+ 0,060	+ 0,046	+ 0,033
Más de 200 a 225		+ 0,159 + 0,130*	+ 0,109 + 0,080*			
Más de 225 a 250	0,000	+ 0,169 + 0,140*	+ 0,113 + 0,084*	+ 0,031*	+ 0,017*	+ 0,004*
Más de 250 a 280	+ 0,052*	+ 0,190 + 0,158*	+ 0,126 + 0,094*	+ 0,066	+ 0,052	+ 0,036
Más de 280 a 315	0,000	+ 0,202 + 0,170*	+ 0,130 + 0,098*	+ 0,034*	+ 0,020*	+ 0,004*

ANEXO B3

Ajuste internacional I.S.A. : [9]

Ajustes Internacional I.S.A.

AGUJERO UNICO

DIFERENCIAS NOMINALES

* CIFRAS MARCADAS CON ASTERISCO NO PASA

DIAMETROS NOMINALES mm.	AGUJERO H 8  No pasa · Pasa	EJES NO PASA  PASA				
		h 8	h 9	f 8	e 9	d 10
1 a 3	+ 0.014* / 0.000	0,000 / — 0,014*	0,000 / — 0,025*	— 0,007 / — 0,021*	— 0,014 / — 0,039*	— 0,020 / — 0,060*
Más de 3 a 6	+ 0.018* / 0.000	0,000 / — 0,018*	0,000 / — 0,030*	— 0,010 / — 0,028*	— 0,020 / — 0,050*	— 0,030 / — 0,078*
Más de 6 a 10	+ 0,022* / 0.000	0,000 / — 0,022*	0,000 / — 0,036*	— 0,013 / — 0,035*	— 0,025 / — 0,061*	— 0,040 / — 0,098*
Más de 10 a 18	+ 0,027* / 0.000	0,000 / — 0,027*	0,000 / — 0,043*	— 0,016 / — 0,043*	— 0,032 / — 0,075*	— 0,050 / — 0,120*
Más de 18 a 30	+ 0,033* / 0.000	0,000 / — 0,033*	0,000 / — 0,052*	— 0,020 / — 0,053*	— 0,040 / — 0,092*	— 0,065 / — 0,149*
Más de 30 a 40 / Más de 40 a 50	+ 0,039* / 0.000	0,000 / — 0,039*	0,000 / — 0,062*	— 0,025 / — 0,064*	— 0,050 / — 0,112*	— 0,080 / — 0,180*
Más de 50 a 65 / Más de 65 a 80	+ 0,046* / 0.000	0,000 / — 0,046*	0,000 / — 0,074*	— 0,030 / — 0,076*	— 0,060 / — 0,134*	— 0,100 / — 0,220*
Más de 80 a 100 / Más de 100 a 120	+ 0,054* / 0.000	0,000 / — 0,054*	0,000 / — 0,087*	— 0,036 / — 0,090*	— 0,072 / — 0,159*	— 0,120 / — 0,260*
Más de 120 a 140 / Más de 140 a 160 / Más de 160 a 180	+ 0,063* / 0.000	0,000 / — 0,063*	0,000 / — 0,100*	— 0,043 / — 0,106*	— 0,085 / — 0,185*	— 0,145 / — 0,305
Más de 180 a 200 / Más de 200 a 225 / Más de 225 a 250	+ 0,072* / 0.000	0,000 / — 0,072*	0,000 / — 0,115*	— 0,050 / — 0,122*	— 0,100 / — 0,215*	— 0,170 / — 0,355
Más de 250 a 280 / Más de 280 a 315	+ 0,081* / 0.000	0,000 / — 0,081*	0,000 / — 0,130*	— 0,056 / — 0,137*	— 0,110 / — 0,240*	— 0,190 / — 0,400

ANEXO B4

Catálogo supermagnete

Haga su pedido en línea en www.supermagnete.es | **+49 7731 939 839 1** | **supermagnete.es Los imanes más fuertes del mundo**

	**S-06-06-N** Disco magnético Ø 6 mm, alto 6 mm, sujeta aprox. 1,5 kg Peso: 1,3 g Niquelado (Ni-Cu-Ni) Magnetización: N48 fza. sujec.: aprox. 1,5 kg Color: Plateada	Precio en EUR 10 uds. 0,50/ud. desde 40 uds. 0,41/ud. desde 80 uds. 0,38/ud. desde 160 uds. 0,34/ud.	Estos discos magnéticos con un diámetro de 6 mm, un alto de 6 mm y la magnetización N48 tienen, para su tamaño, una impresionante fuerza de sujeción de aprox. 1,5 kg. Use estos discos magnéticos en la oficina o para manualidades y proyectos DIY de todo tipo.
	**S-08-01-N** Disco magnético Ø 8 mm, alto 1 mm, sujeta aprox. 540 g Peso: 0,38 g Niquelado (Ni-Cu-Ni) Magnetización: N45 fza. sujec.: aprox. 540 g Color: Plateada	Precio en EUR 10 uds. 0,37/ud. desde 40 uds. 0,30/ud. desde 80 uds. 0,27/ud. desde 160 uds. 0,24/ud.	Use estos discos magnéticos planos, p. ej., como cierres magnéticos y para manualidades y proyectos DIY de todo tipo.
	**S-08-02-N** Disco magnético Ø 8 mm, alto 2 mm, sujeta aprox. 1,1 kg Peso: 0,76 g Niquelado (Ni-Cu-Ni) Magnetización: N45 fza. sujec.: aprox. 1,1 kg Color: Plateada	Precio en EUR 10 uds. 0,43/ud. desde 40 uds. 0,35/ud. desde 80 uds. 0,32/ud. desde 160 uds. 0,29/ud.	Un imán de neodimio pequeño y plano con una fuerza de sujeción de aprox. 1 kg. Nuestros clientes lo emplean, p. ej., para botones magnéticos o para las clases de manualidades.
	**S-08-03-G** Disco magnético Ø 8 mm, alto 3 mm, sujeta aprox. 1,3 kg Peso: 1,1 g Dorado (Ni-Cu-Ni-Au) Magnetización: N40 fza. sujec.: aprox. 1,3 kg Color: Dorada	Precio en EUR 10 uds. 0,59/ud. desde 40 uds. 0,49/ud. desde 80 uds. 0,45/ud. desde 160 uds. 0,42/ud.	Estos discos magnéticos dorados con un diámetro de 8 mm y un alto de 3 mm tienen, para su tamaño, una impresionante fuerza de sujeción de aprox. 1,3 kg.
	**S-08-03-E** Disco magnético Ø 8 mm, alto 3 mm, sujeta aprox. 1,5 kg Peso: 1,1 g con recubrim. epoxi (Ni-Cu-Ni-Epoxy) Magnetización: N45 fza. sujec.: aprox. 1,5 kg Color: Negro	Precio en EUR 10 uds. 0,53/ud. desde 40 uds. 0,44/ud. desde 80 uds. 0,40/ud. desde 160 uds. 0,37/ud.	Un disco magnético de 8 x 3 mm con una capa de imprimación de Ni-Cu-Ni y una capa de acabado de resina epoxi negra. Se puede pegar o sellar bien con resina epoxi.
	**S-08-03-N** Disco magnético Ø 8 mm, alto 3 mm, sujeta aprox. 1,5 kg Peso: 1,1 g Niquelado (Ni-Cu-Ni) Magnetización: N45 fza. sujec.: aprox. 1,5 kg Color: Plateada	Precio en EUR 10 uds. 0,53/ud. desde 40 uds. 0,44/ud. desde 80 uds. 0,41/ud. desde 160 uds. 0,37/ud.	Un buen tamaño para diversos trabajos manuales, para cartelitos con el nombre (p. ej. en bodas), para usarlos como imanes de nevera, para colgar letreros...

SECCIÓN C – GUÍAS DE LABORATORIO

Práctica Nº1

Tema: Mecanismo Grashof cuatro barras - Primera inversión cinemática: doble manivela

I. Objetivos

- Estudiar el movimiento doble manivela, identificando posiciones críticas y ángulos de transmisión.
- Determinar si alguno de los eslabones presenta interferencia, rotación u oscilación.
- Evaluar la precisión y exactitud del banco de pruebas diseñado través de la comparación entre los valores obtenidos de manera experimental con los calculados.

II. EQUIPOS Y MATERIALES

- Cuaderno de apuntes
- Reglas, escuadras, graduador, marcadores
- Banco de pruebas

III. FUNDAMENTO TEÓRICO

Mecanismo

Los mecanismos son componentes mecánicos que constan de elementos móviles entrelazados con articulaciones u algún tipo de acople, los elementos interactúan de manera coordinada y permiten transmitir, transformar o generar un movimiento deseado. Los mecanismos son indispensables en el diseño y funcionamiento de máquinas, sistemas robóticos y automatización industrial, los mecanismos pueden recrear movimientos de: rotación, traslación, oscilación, etc,[1],[2].

Mecanismo de cuatro barras de Grashof

La ley de Grashof describe que en un mecanismo de cuatro barras hay la posibilidad de que al menos un eslabón pueda realizar una rotación completa siempre que se cumpla con la condición de que la suma de la barra más corta y la barra las larga sea menor o igual que la suma de las otras barras sobrantes, esta ley se describe con la siguiente ecuación:

$$s + l \leq p + q$$

Tipo de Mecanismos

Para un Mecanismo que cumple con la condición de la ley de Grashof existen cuatro configuraciones posibles, estas dependen de la longitud de las barras, cual barra actúa como eslabón fijo y el orden en el que se arma el sistema. De esta manera se mencionan los siguientes casos:

Manivela – balancín

Una de las barras actúa como manivela, logrando girar de manera completa alrededor de su articulación y la otra barra actúa como un eslabón que oscila entre un determinado ángulo de amplitud, creando un movimiento repetitivo.

Doble manivela

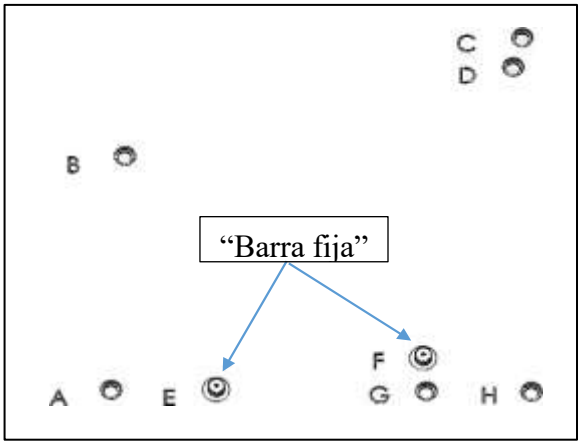
Un mecanismo con estas características se logra cuando el mecanismo de cuatro barras el eslabón más pequeño, y es el que actúa como eslabón fijo o bastidor; en este caso las dos barras que están acopladas a la barra fija pueden realizar giros completos (manivela).

Doble balancín

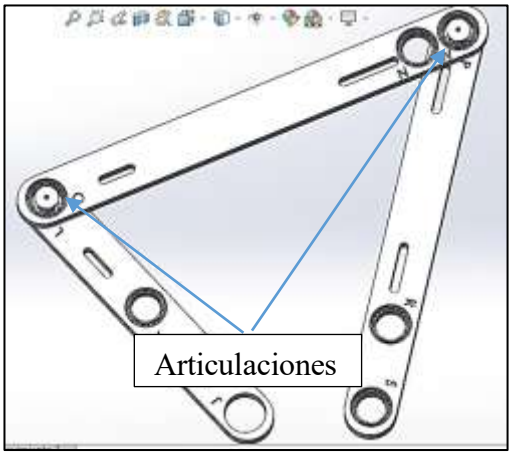
En este caso el mecanismo está formado por dos barras que actúan como balancines y están acoplados a la barra fija generando un movimiento oscilante cada eslabón, mientras que la barra restante es capaz de realizar un giro completo de manera libre, En este mecanismo la función es convertir un movimiento oscilatorio de entrada en un movimiento diferente oscilatorio de salida. [3]

IV. PROCEDIMIENTO

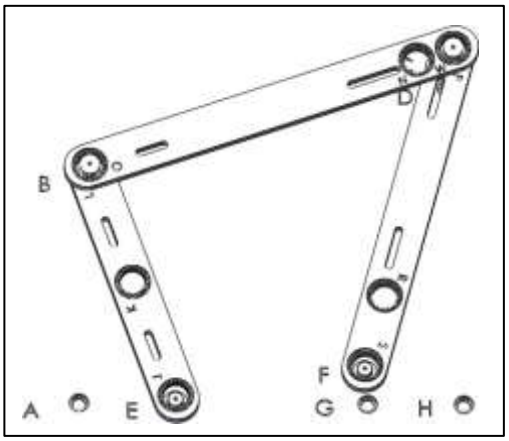
a) Para este primer ejemplo de mecanismo Grashof se debe tomar los apoyos fijos y ubicarlos en las letras “E” y “F”.



b) Posteriormente se ensamblan las tres barras restantes de la siguiente manera: "P” con “M”, “O” con “L”, para ese caso se utilizan los acoples rápidos para mantener fijas las uniones.



c) Se acoplan los puntos “J” con “E” y “S” con “F”



d) Se define un punto de partida tomando la medida del ángulo que posee la barra que se desea tomar la magnitud.

e) Rotar la barra en lo largo de su trayecto de libertad u hasta que presente alguna interferencia.

f) Anotar los ángulos del eslabón de entrada y salida en diferentes posiciones para compararlos con los valores calculados.

Cálculo de los ángulos directores de las barras

Datos:

Eslabón “S” = 150

Eslabón “P” = 200

Eslabón “Q” = 270

Eslabón “L” = 300

Angulo de entrada X2 = ?

B = ?

C= ?

F = ?

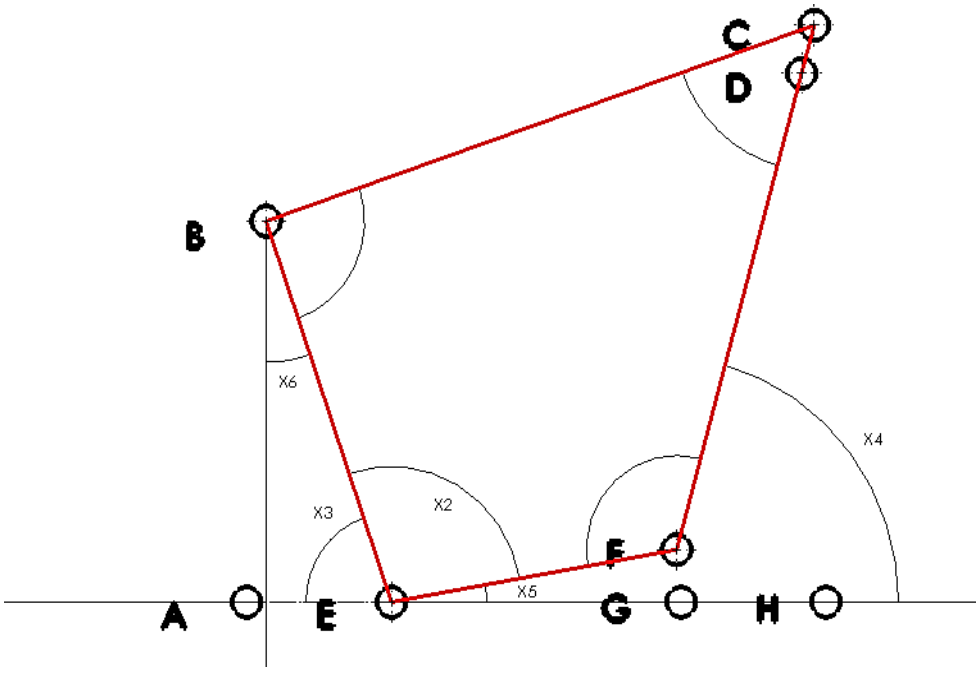
X2 = ?

X3= ?

X4 = ?

X5 =?

X6=?



Resultados:

X2	B	C	F	X3	X4	X5	X6
30º							
40º							
50º							
60º							
70º							

Llenar la siguiente tabla con los datos requeridos, de acuerdo con la longitud de la barra y otorgándole las letras a las barras de acuerdo con la "Ley de Grashof".

	¿Presenta rotación: ¿ninguna, total o parcial?	¿Cuál es la amplitud del ángulo barrido?	¿Como actúa el eslabón? fijo-manivela- balancín-acoplador
Barras "S" Eslabón de menor longitud			
Barras "P" Eslabón restante			
Barras "Q" Eslabón restante			
Barras "L" Eslabón de mayor longitud			

Preguntas para análisis:

1. ¿El mecanismo cumple con la condición de la ley de Grashof?
2. ¿Por qué no se puede generar una rotación completa de alguno de los eslabones?
3. ¿Es importante el orden en el que se acoplan las barras en sus articulaciones?
4. ¿Qué aplicaciones prácticas puede tener un mecanismo doble balancín en la vida cotidiana?
5. ¿Por qué es importante entender y aplicar los principios de los mecanismos de Grashof en el diseño de maquinarias y estructuras?

CONCLUSIONES

1. El estudiante concluye que el mecanismo doble manivela presenta movimiento continuo y estable, identificando con claridad las posiciones y ángulos críticos.
2. El estudiante concluye que ninguno de los eslabones presenta interferencias mecánicas significativas.
3. El estudiante determina que la exactitud del banco de pruebas es aceptable al cotejar los valores calculados con los observados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Cardona i Foix, S. (2000). Teoría de máquinas. España: Ediciones UPC.

[2] Cadenas, M. (1999). Guía de prácticas: cinemática y dinámica de máquinas. España: Universidad de Oviedo.

[3] Shigley, J. E., Uicker, J. J. (1983). Teoría de máquinas y mecanismos. España: McGraw-Hill.

Práctica Nº2

Tema: Mecanismo de cuatro barras segunda inversión cinemática: manivela – balancín

I. Objetivos

Estudiar el movimiento manivela-balancín, identificando posiciones críticas y ángulos de transmisión.
Determinar un proceso de pruebas estandarizado que permite a los estudiantes recrear el experimento de manera consistente y obtener resultados fiables.
Evaluar la precisión y exactitud del banco de pruebas diseñado través de la comparación entre los valores obtenidos de manera experimental con los calculados.

II. EQUIPOS Y MATERIALES

Cuaderno de apuntes
Reglas, escuadras. Graduador, marcadores
Banco de pruebas

III. FUNDAMENTO TEÓRICO

Mecanismo

Los mecanismos son componentes mecánicos que constan de elementos móviles entrelazados con articulaciones u algún tipo de acople, los elementos interactúan de manera coordinada y permiten transmitir, transformar o generar un movimiento deseado. Los mecanismos son indispensables en el diseño y funcionamiento de máquinas, sistemas robóticos y automatización industrial, los mecanismos pueden recrear movimientos de: rotación, traslación, oscilación, etc.[1],[2]

Mecanismo de cuatro barras de Grashof

La ley de Grashof describe que en un mecanismo de cuatro barras hay la posibilidad de que al menos un eslabón pueda realizar una rotación completa siempre que se cumpla con la condición de que la suma de la barra más corta y la barra las larga sea menor o igual que la suma de las otras barras sobrantes, esta ley se describe con la siguiente ecuación.

$$s + l \leq p + q$$

Tipo de Mecanismos

Para un Mecanismo que cumple con la condición de la ley de Grashof existen cuatro configuraciones posibles, estas dependen de la longitud de las barras, cual barra actúa como eslabón fijo y el orden en el que se arma el sistema. De esta manera se mencionan los siguientes casos:

Manivela – balancín

Una de las barras actúa como manivela, logrando girar de manera completa alrededor de su articulación y la otra barra actúa como un eslabón que oscila entre un determinado ángulo de amplitud, creando un movimiento repetitivo.

Doble manivela

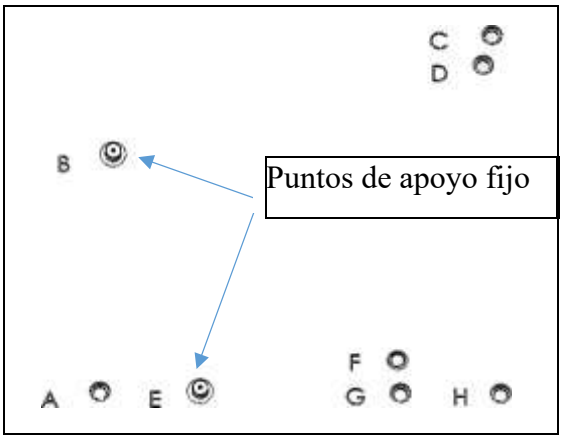
Un mecanismo con estas características se logra cuando el mecanismo de cuatro barras el eslabón más pequeño, y es el que actúa como eslabón fijo o bastidor; en este caso las dos barras que están acopladas a la barra fija pueden realizar giros completos (manivela).

Doble balancín

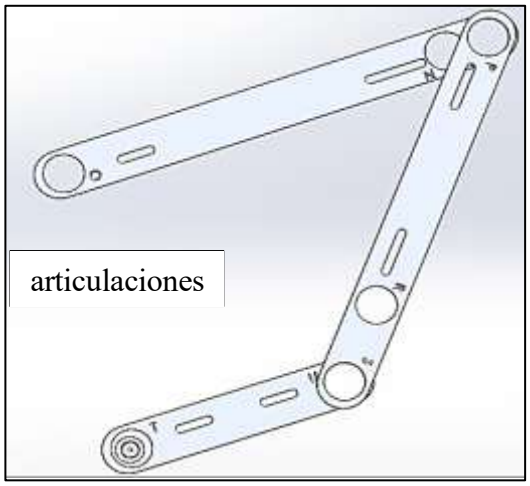
En este caso el mecanismo está formado por dos barras que actúan como balancines y están acoplados a la barra fija generando un movimiento oscilante cada eslabón, mientras que la barra restante es capaz de realizar un giro completo de manera libre, En este mecanismo la función es convertir un movimiento oscilatorio de entrada en un movimiento diferente oscilatorio de salida [3].

- PROCEDIMIENTO

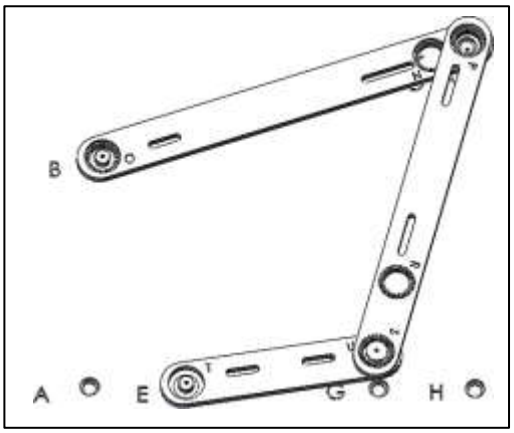
a) Para este caso de mecanismo Grashof se debe tomar los apoyos fijos y ubicarlos en las letras “B” y “E”.



b) Posteriormente se ensamblan las tres barras restantes de la siguiente manera: "P" con "M", "S" con "U", para ese caso se utilizan los acoples rápidos para mantener fijas las uniones.



c) Se acoplan los puntos "E" con "T" y "B" con "O"



Se define un punto de partida tomando la medida del ángulo que posee la barra que se desea tomar la magnitud.

d) Rotar la barra en lo largo de su trayecto de libertad u hasta que presente alguna interferencia.

e) Calcular los valores de ángulos de las barras, tomando como guía la práctica caso 1, desarrollando las fórmulas y evaluando los resultados con los valores del banco de pruebas.

Cálculo de los ángulos directores de las barras Datos:

Eslabón “S” = 150

Eslabón “P” = 200

Eslabón “Q” = 270

Eslabón “L” = 300

Angulo de entrada X2 = ?

B = ?

C= ?

F = ?

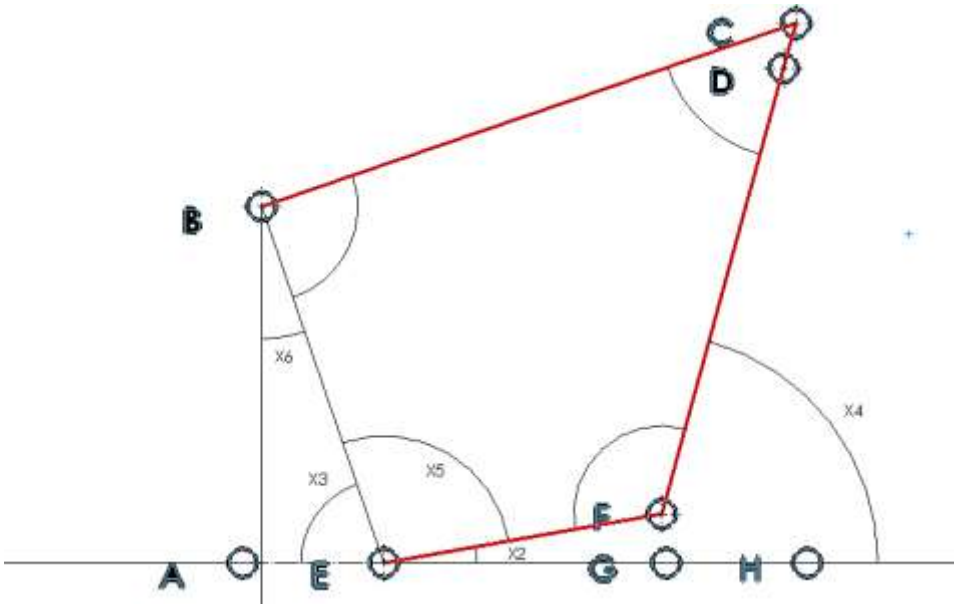
X2 = ?

X3= ?

X4 = ?

X5 =?

X6=?



Resultados:

X2	B	C	F	X3	X4	X5	X6
30º							
40º							
50º							
60º							
70º							

Preguntas para análisis:

1. ¿El mecanismo cumple con la condición de la ley de Grashof?
2. ¿Es importante el orden en el que se acoplan las barras en sus articulaciones?
3. ¿Qué aplicaciones prácticas puede tener un mecanismo manivela - balancín en la vida cotidiana?
4. ¿Qué tipo de movimiento produce un mecanismo manivela balancín y cuál es su utilidad en aplicaciones mecánicas?
5. ¿Puede un mecanismo manivela balancín violar la ley de Grashof? En caso afirmativo, ¿qué consecuencias puede tener en su funcionamiento?

Resultados

Llenar la siguiente tabla con los datos requeridos, de acuerdo con la longitud de la barra y otorgándole las letras a las barras de acuerdo con la "Ley de Grashof".

	¿Presenta rotación: ¿ninguna, total o parcial?	¿Cuál es la amplitud del ángulo barrido?	¿Como actúa el eslabón? fijo-manivela- balancín-acoplador
Barras "S" Eslabón de menor longitud			
Barras "P" Eslabón restante			
Barras "Q" Eslabón restante			
Barras "L" Eslabón de mayor longitud			

V. CONCLUSIONES

- El estudiante concluye que el mecanismo manivela-balancín presenta la rotación completa de uno de sus eslabones, mientras que el eslabón de salida presenta una oscilación.
- El estudiante determina los ángulos y puntos de interferencia críticos del mecanismo.
- El estudiante corrobora que los cálculos realizados son confiables a los valores obtenidos en el banco de pruebas.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Cardona i Foix, S. (2000). Teoría de máquinas. España: Ediciones UPC.

[2] Cadenas, M. (1999). Guía de prácticas: cinemática y dinámica de máquinas. España: Universidad de Oviedo.

[3] Shigley, J. E., Uicker, J. J. (1983). Teoría de máquinas y mecanismos. España: McGraw-Hill.

Práctica Nº3

Tema: Mecanismo de cuatro barras tercera inversión cinemática: doble balancín

Cálculo de los ángulos de los eslabones en función del ángulo de entrada.

I. Objetivos

- Estudiar el movimiento doble balancín, identificando posiciones críticas y ángulos de transmisión.
- Cálculo de los ángulos en los diferentes puntos de los eslabones en función del ángulo de entrada
- Determinar un proceso de pruebas estandarizado que permite a los estudiantes recrear el experimento de manera consistente y obtener resultados fiables.

II. EQUIPOS Y MATERIALES

- Cuaderno de apuntes
- Reglas, escuadras, graduador, marcadores
- Banco de pruebas

III. FUNDAMENTO TEÓRICO

Mecanismo

Los mecanismos son componentes mecánicos que constan de elementos móviles entrelazados con articulaciones u algún tipo de acople, los elementos interactúan de manera coordinada y permiten transmitir, transformar o generar un movimiento deseado. Los mecanismos son indispensables en el diseño y funcionamiento de máquinas, sistemas robóticos y automatización industrial, los mecanismos pueden recrear movimientos de: rotación, traslación, oscilación, etc [1],[2].

Mecanismo de cuatro barras de Grashof

La ley de Grashof describe que en un mecanismo de cuatro barras hay la posibilidad de que al menos un eslabón pueda realizar una rotación completa siempre que se cumpla con la condición de que la suma de la barra más corta y la barra las larga sea

menor o igual que la suma de las otras barras sobrantes, esta ley se describe con la siguiente ecuación: [1],[2]

$$s + l \leq p + q$$

Tipo de Mecanismos

Para un Mecanismo que cumple con la condición de la ley de Grashof existen cuatro configuraciones posibles, estas dependen de la longitud de las barras, cual barra actúa como eslabón fijo y el orden en el que se arma el sistema. De esta manera se mencionan los siguientes casos:

Manivela – balancín

Una de las barras actúa como manivela, logrando girar de manera completa alrededor de su articulación y la otra barra actúa como un eslabón que oscila entre un determinado ángulo de amplitud, creando un movimiento repetitivo.

Doble manivela

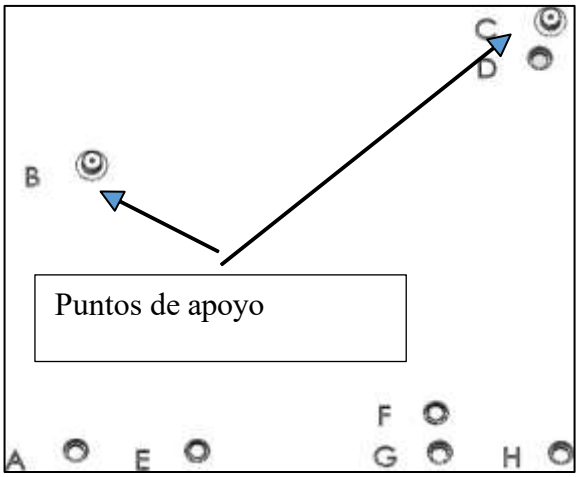
Un mecanismo con estas características se logra cuando el mecanismo de cuatro barras el eslabón más pequeño, y es el que actúa como eslabón fijo o bastidor; en este caso las dos barras que están acopladas a la barra fija pueden realizar giros completos (manivela).

Doble balancín

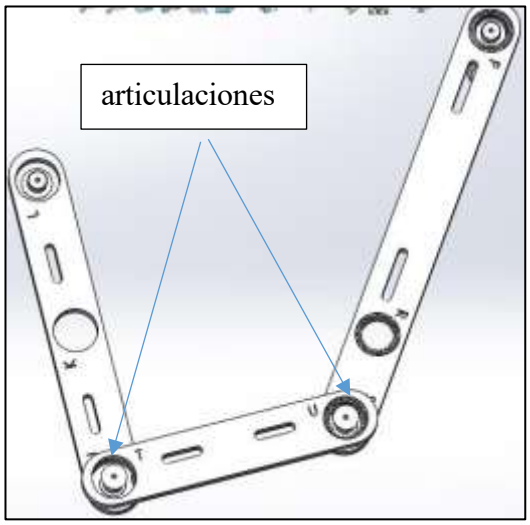
En este caso el mecanismo está formado por dos barras que actúan como balancines y están acoplados a la barra fija generando un movimiento oscilante cada eslabón, mientras que la barra restante es capaz de realizar un giro completo de manera libre, En este mecanismo la función es convertir un movimiento oscilatorio de entrada en un movimiento diferente oscilatorio de salida. [3]

IV. Procedimiento

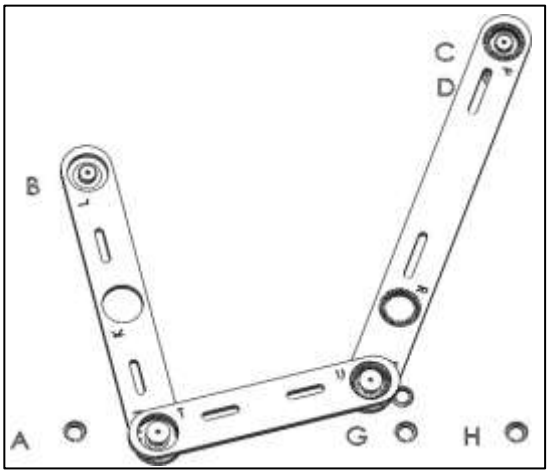
a) Para este caso de mecanismo Grashof se debe tomar los apoyos fijos y ubicarlos en las letras “B” y “C”.



b) Posteriormente se ensamblan las tres barras restantes de la siguiente manera: "J" con “T”, “S” con “U”, para ese caso se utilizan los acoples rápidos para mantener fijas las uniones.



c) Se acoplan los puntos “B” con “L” y “C” con “P”



d) Se define un punto de partida tomando la medida del ángulo que posee la barra que se desea tomar la magnitud.

e) Rotar la barra en lo largo de su trayecto de libertad u hasta que presente alguna interferencia.

f) Calcular los valores de ángulos de las barras, tomando como guía la práctica 1, desarrollando las fórmulas y evaluando los resultados con los valores del banco de pruebas.

Cálculo de los ángulos directores de las barras Datos:

Eslabón “S” = 150

Eslabón “P” = 200

Eslabón “Q” = 270

Eslabón “L” = 300

Angulo de entrada X2 = ?

E = ?

C = ?

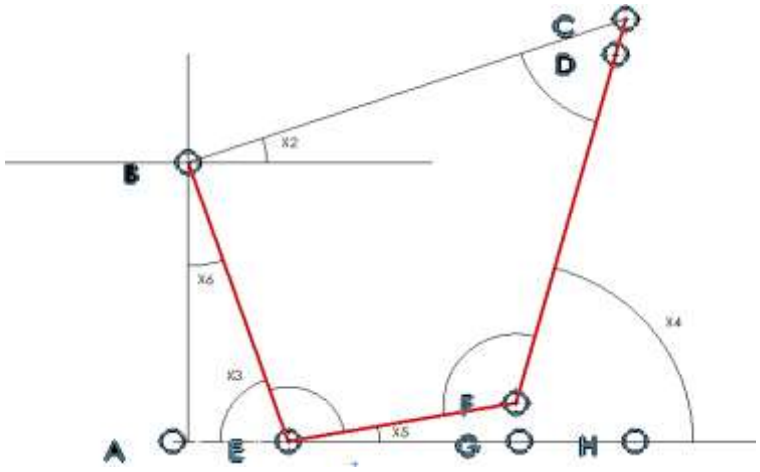
F = ?

X3 = ?

X4 = ?

X5= ?

X6=?



Resultados:

X2	E	C	F	X3	X4	X5	X6
30º							
40º							
50º							
60º							
70º							

Preguntas para análisis:

1. ¿El mecanismo cumple con la condición de la ley de Grashof?
2. ¿Por qué no se puede generar una rotación completa de alguno de los eslabones?
3. ¿Es importante el orden en el que se acoplan las barras en sus articulaciones?
4. ¿Qué aplicaciones prácticas puede tener un mecanismo doble balancín en la vida cotidiana?
5. ¿Por qué es importante entender y aplicar los principios de los mecanismos de Grashof en el diseño de maquinaria y estructuras?

Resultados

Llenar la siguiente tabla con los datos requeridos, de acuerdo con la longitud de la barra y otorgándole las letras alas barras de acuerdo con la "Ley de Grashof".

	¿Presenta rotación: ¿ninguna, total o parcial?	¿Cuál es la amplitud del ángulo barrido?	¿Como actúa el eslabón? Fijo-manivela-balancín- acoplador
Barras "S" Eslabón de menor longitud			
Barras "P" Eslabón restante			
Barras "Q" Eslabón restante			
Barras "L" Eslabón de mayor longitud			

V. CONCLUSIONES

- El estudiante concluye que el mecanismo doble balancín no presenta rotación completa de ninguno de sus eslabones, en cambio los eslabones demuestran realizar un movimiento oscilatorio.
- El estudiante determina los ángulos y puntos de interferencia críticos del mecanismo, el tipo de movimiento que realizan los eslabones y la velocidad de las barras que actúan como balancines.
- El estudiante corrobora que los cálculos realizados son confiables a los valores obtenidos en el banco de pruebas.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Cardona i Foix, S. (2000). Teoría de máquinas. España: Ediciones UPC.

[2] Cadenas, M. (1999). Guía de prácticas: cinemática y dinámica de máquinas. España: Universidad de Oviedo.

[3] Shigley, J. E., Uicker, J. J. (1983). Teoría de máquinas y mecanismos. España: McGraw-Hill.

Práctica Nº4

Tema: Mecanismo de cuatro barras Cuarta inversión cinemática: manivela - balancín

Cálculo de los ángulos de los diferentes puntos de los eslabones en función del ángulo de entrada

I. Objetivos

- Estudiar el movimiento manivela-balancín, identificando posiciones críticas y ángulos de transmisión.
- Cálculo de los ángulos de los eslabones en función del ángulo de entrada
- Determinar un proceso de pruebas estandarizado que permite a los estudiantes recrear el experimento de manera consistente y obtener resultados fiables.

II. EQUIPOS Y MATERIALES

- Cuaderno de apuntes
- Reglas, escuadras, graduador
- Banco de pruebas

III. FUNDAMENTO TEÓRICO

Mecanismo

Los mecanismos son componentes mecánicos que constan de elementos móviles entrelazados con articulaciones u algún tipo de acople, los elementos interactúan de manera coordinada y permiten transmitir, transformar o generar un movimiento deseado. Los mecanismos son indispensables en el diseño y funcionamiento de máquinas, sistemas robóticos y automatización industrial, los mecanismos pueden recrear movimientos de: rotación, traslación, oscilación, etc, [1],[2].

Mecanismo de cuatro barras de Grashof

La ley de Grashof describe que en un mecanismo de cuatro barras hay la posibilidad de que al menos un eslabón pueda realizar una rotación completa siempre que se cumpla con la condición de que la suma de la barra más corta y la barra las larga sea menor o igual que la suma de las otras barras sobrantes, esta ley se describe con la siguiente ecuación:

$$s + l \leq p + q$$

Tipo de Mecanismos

Para un Mecanismo que cumple con la condición de la ley de Grashof existen cuatro configuraciones posibles, estas dependen de la longitud de las barras, cual barra actúa como eslabón fijo y el orden en el que se arma el sistema. De esta manera se mencionan los siguientes casos:

Manivela – balancín

Una de las barras actúa como manivela, logrando girar de manera completa alrededor de su articulación y la otra barra actúa como un eslabón que oscila entre un determinado ángulo de amplitud, creando un movimiento repetitivo.

Doble manivela

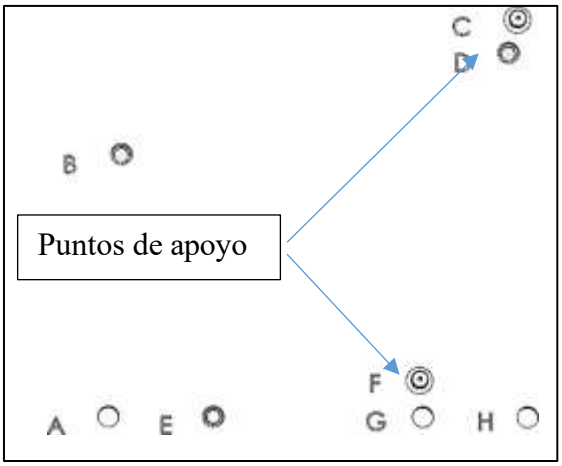
Un mecanismo con estas características se logra cuando el mecanismo de cuatro barras el eslabón más pequeño, y es el que actúa como eslabón fijo o bastidor; en este caso las dos barras que están acopladas a la barra fija pueden realizar giros completos (manivela).

Doble balancín

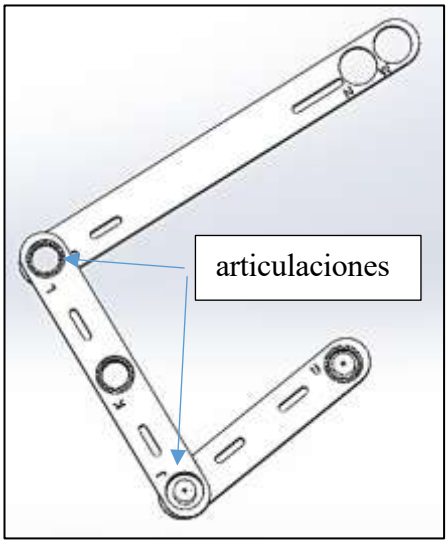
En este caso el mecanismo está formado por dos barras que actúan como balancines y están acoplados a la barra fija generando un movimiento oscilante cada eslabón, mientras que la barra restante es capaz de realizar un giro completo de manera libre, En este mecanismo la función es convertir un movimiento oscilatorio de entrada en un movimiento diferente oscilatorio de salida. [3]

IV. Procedimiento

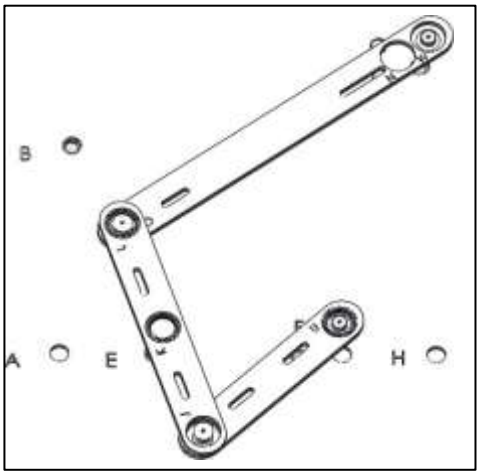
a) Para este primer ejemplo de mecanismo Grashof se debe tomar los apoyos fijos y ubicarlos en las letras “C” y “F”.



b) Posteriormente se ensamblan las tres barras restantes de la siguiente manera: "L" con "O", "J" con "T", para ese caso se utilizan los acoples rápidos para mantener fijas las uniones.



c) Se acoplan los puntos "C" con "M" y "F" con "U"



d) Se define un punto de partida, tomando la medida del ángulo que posee la barra que se desea tomar la magnitud.

e) Rotar la barra en lo largo de su trayecto de libertad u hasta que presente alguna interferencia.

f) Calcular los valores de ángulos de las barras, evaluar los resultados calculados con los valores del banco de pruebas.

Cálculo de los ángulos directores de las barras Datos:

Eslabón “S” = 150

Eslabón “P” = 200

Eslabón “Q” = 270

Eslabón “L” = 300

Angulo de entrada X2 = ?

B = ?

E = ?

C = ?

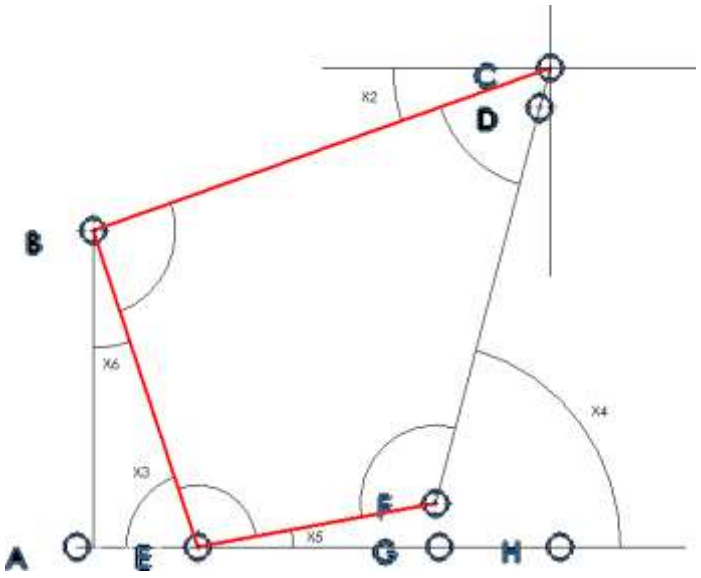
X2= ?

X3 = ?

X4= ?

X5 = ?

X6 =?



Resultados:

X2	B	E	C	X3	X4	X5	X6
30º							
40º							
50º							
60º							
70º							

Preguntas para análisis:

1. ¿El mecanismo cumple con la condición de la ley de Grashof?
2. ¿Es importante el orden en el que se acoplan las barras en sus articulaciones?
3. ¿Qué aplicaciones prácticas puede tener un mecanismo manivela - balancín en la vida cotidiana?
4. ¿Qué tipo de movimiento produce un mecanismo manivela balancín y cuál es su utilidad en aplicaciones mecánicas?
5. ¿Puede un mecanismo manivela balancín violar la ley de Grashof? En caso afirmativo, ¿qué consecuencias puede tener en su funcionamiento?

Resultados

Llenar la siguiente tabla con los datos requeridos, de acuerdo con la longitud de la barra y otorgándole las letras alas barras de acuerdo con la "Ley de Grashof".

	¿Presenta rotación: ¿ninguna, total o parcial?	¿Cuál es la amplitud del ángulo barrido?	¿Como actúa el eslabón? manivela-balancín- acoplador
Barras "S" Eslabón de menor longitud			
Barras "P" Eslabón restante			
Barras "Q" Eslabón restante			
Barras "L" Eslabón de mayor longitud			

V. CONCLUSIONES

- El estudiante concluye que en un mecanismo manivela -balancín, una de las barras del mecanismo realiza una rotación completa y no presenta interferencias en su movimiento.
- El estudiante determina los ángulos y puntos de interferencia críticos del mecanismo, así como la velocidad de oscilación del eslabón de salida.
- El estudiante corrobora que los cálculos realizados son confiables a los valores obtenidos en el banco de pruebas.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Cardona i Foix, S. (2000). Teoría de máquinas. España: Ediciones UPC.

[2] Cadenas, M. (1999). Guía de prácticas: cinemática y dinámica de máquinas. España: Universidad de Oviedo.

[3] Shigley, J. E., Uicker, J. J. (1983). Teoría de máquinas y mecanismos. España: McGraw-Hill.

SECCIÓN D- FOTOGRAFIAS

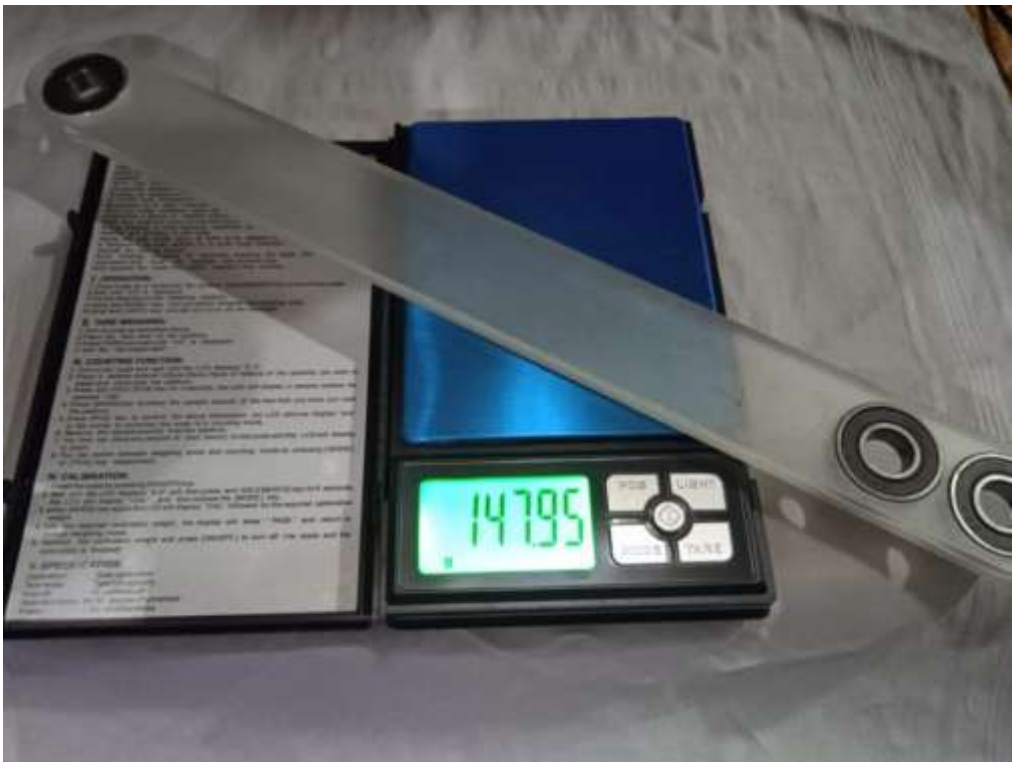
Fotografía 1



Fotografía 2



Fotografía 3



Fotografía 4



Fotografía 5



Fotografía 6



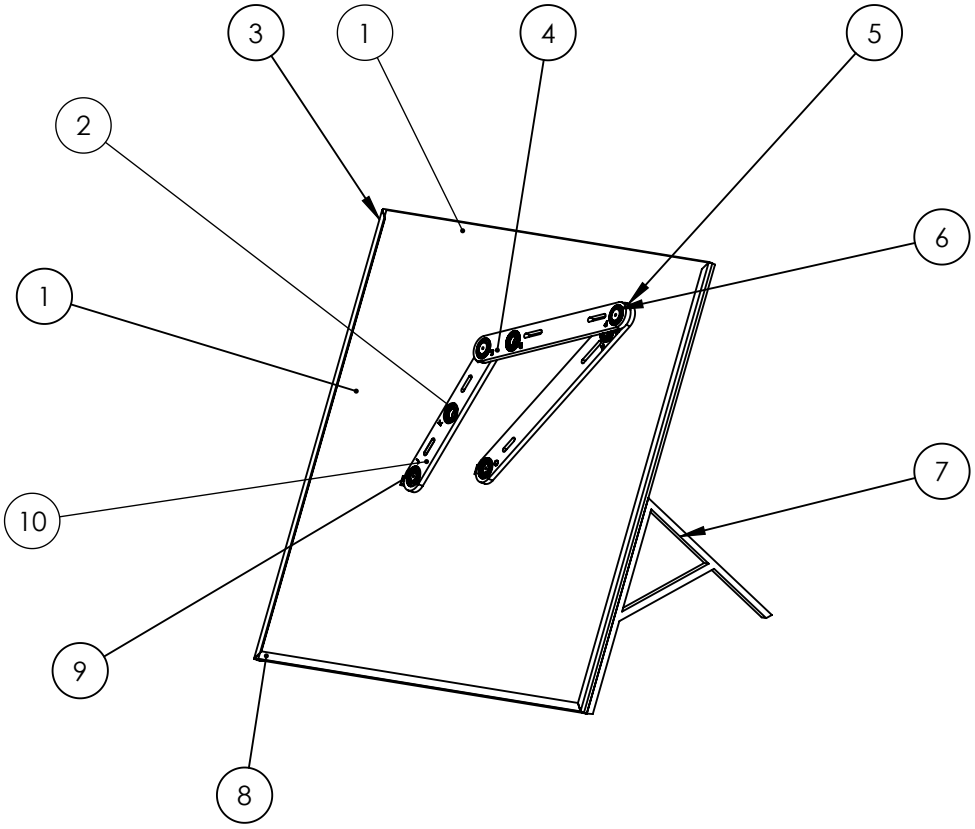
Fotografía 7



Fotografía 8



SECCIÓN E- PLANOS



N.º DE ELEMENTO	Nombre	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Tablero de trabajo	Lámina de acrílico de 6 mm	1
2	Rodamiento	6001-2RSC3	9
3	Marco 620 mm	Perfil de aluminio U 10*10*10	2
4	Barra Q	Perfil de aluminio e=8mm	1
5	Barra L	Perfil de aluminio e=8mm	1
6	union macho	pasador acero inoxidable 304	2
7	Soporte tablero	perfil de aluminio	2
8	Marco 720 mm	Perfil de aluminio U 10*10*10	1
9	Soporte macho Tablero	pasador acero inoxidable 304	2
10	Barra P	Perfil de aluminio e=8mm	1
12	pasador hembra tablero	pasador acero inoxidable 304	2
13	union hembra	pasador acero inoxidable 304	2

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia: N/A

Peso: 3716.4 gr

Material: VARIOS

	Fecha:	Nombre:
Dibujó:	08/01/2026	José Durán
Revisó:	08/01/2026	Ing. Mauricio Carrillo
Aprobó:	08/01/2026	Ing. Mauricio Carrillo

U.T.A
INGENIERÍA MECÁNICA

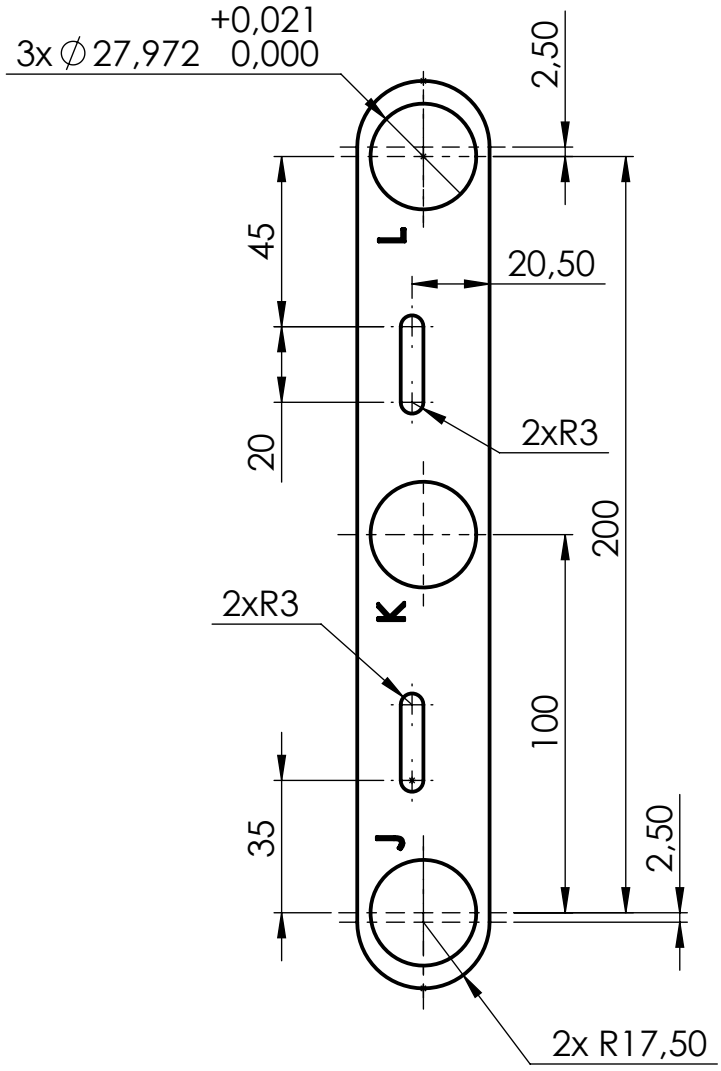
Denominación: PLANO DE CONJUNTO

Escala: 1:10

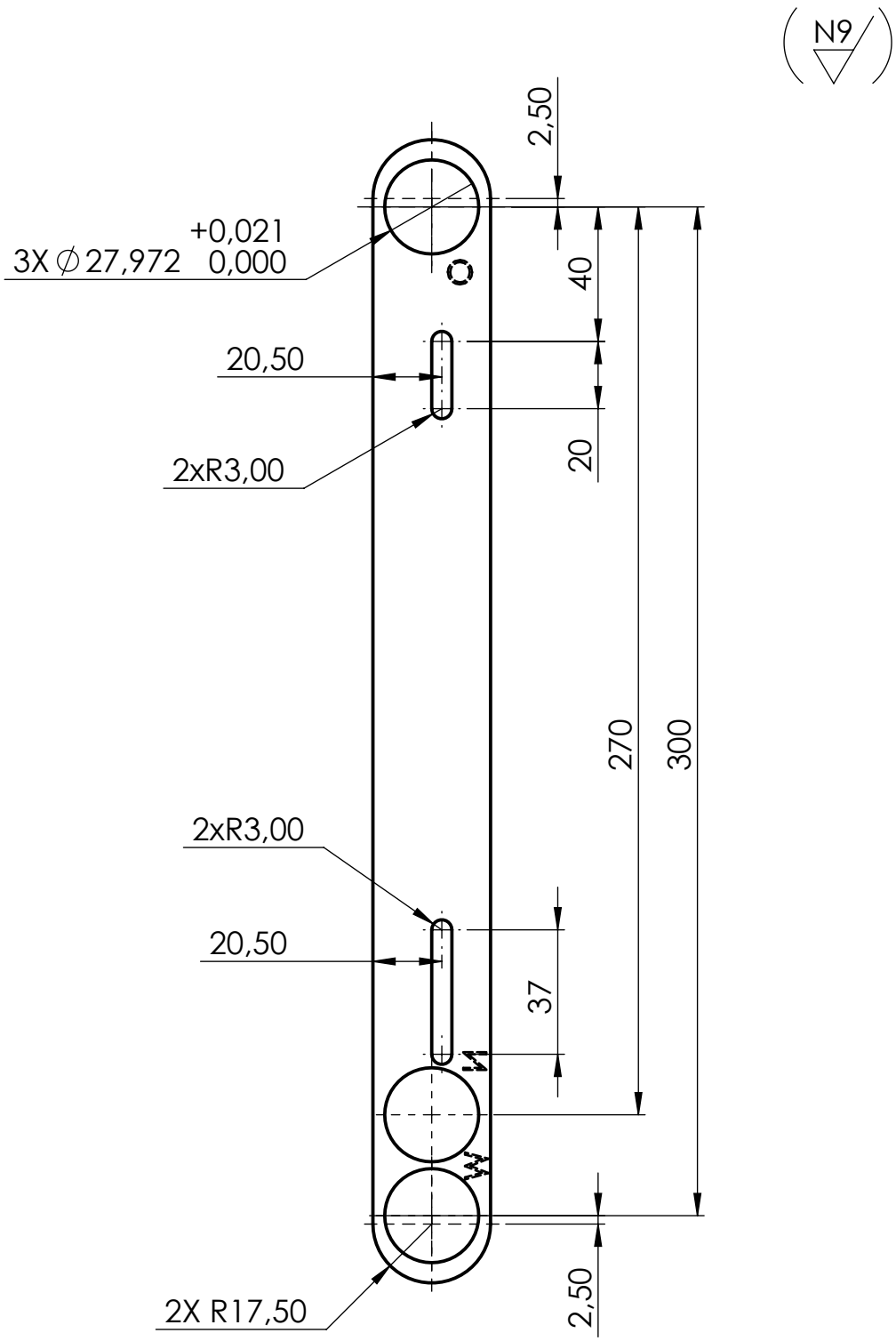
Número de Lámina: 01 DE 12

(Sustitución)

Registro:



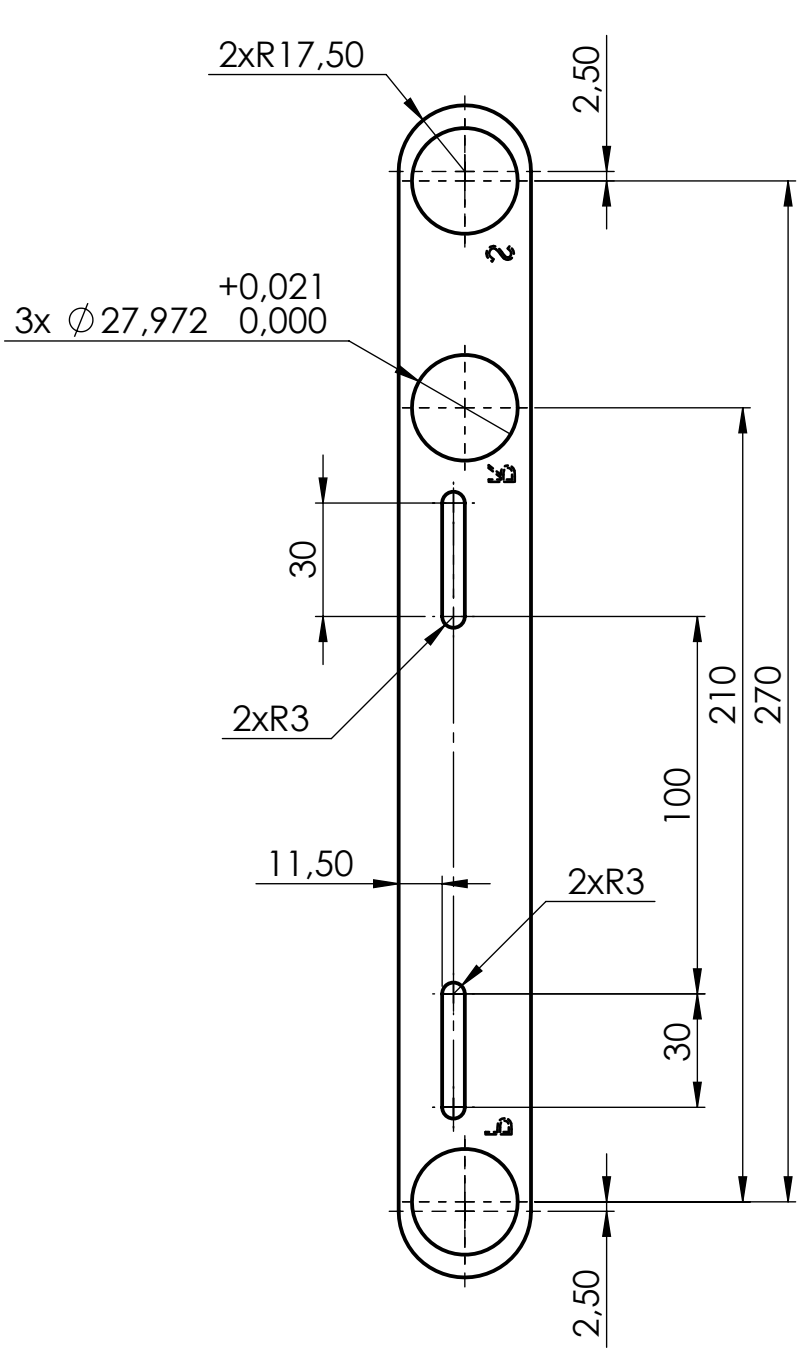
				Tolerancia: ±0.1	Peso: 113.25g	Material: ACRÍLICO e=8mm	
					Fecha:	Nombre:	Denominación: BARRA "P"	Escala: 1:2
				Dibujó:	2/12/2025	José Durán		
				Revisó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo		
				Aprobó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			Número de Lámina: 02 DE 12	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)	



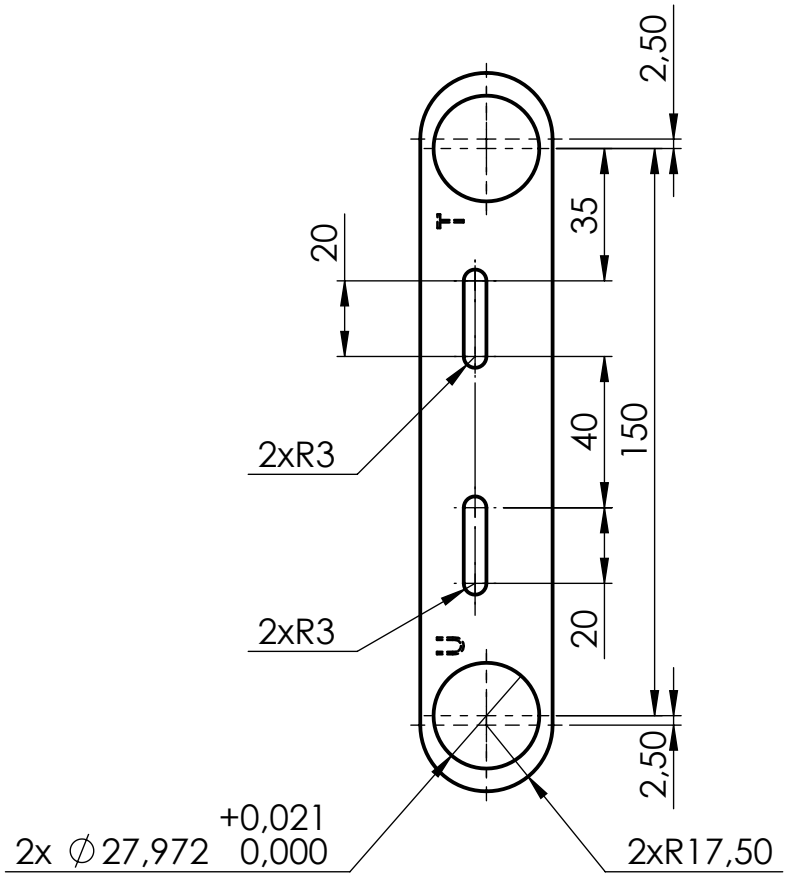
				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±0.1	147.98g	Acrílico e=8mm	
					Fecha:	Nombre:	Denominación:
				Dibujó:	2/12/2025	José Durán	Barra "L"
				Revisó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo	
				Aprobó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			Número de Lámina: 03 DE 12 (Sustitución)

Escala: 1:2

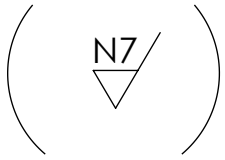
Registro:

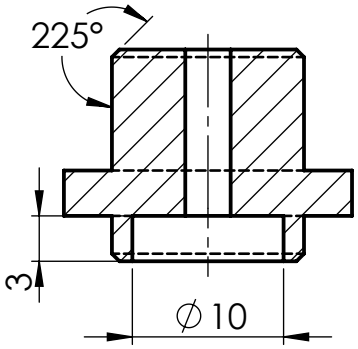


				Tolerancia: ±0.1	Peso: 135.08g	Material: ACRÍLICO e=8mm	
					Fecha:	Nombre:	Denominación: Barra "Q"	Escala: 1:2
				Dibujó:	2/12/2025	José Durán		
				Revisó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo		
				Aprobó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			Número de Lámina: 04 DE 12	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)	

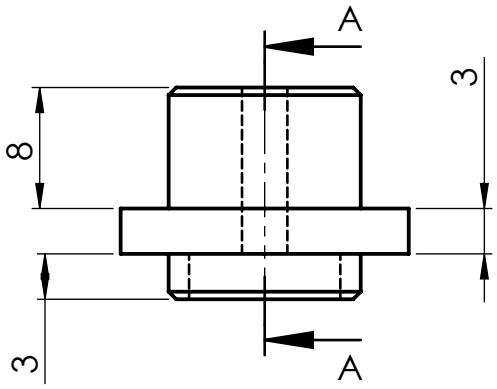


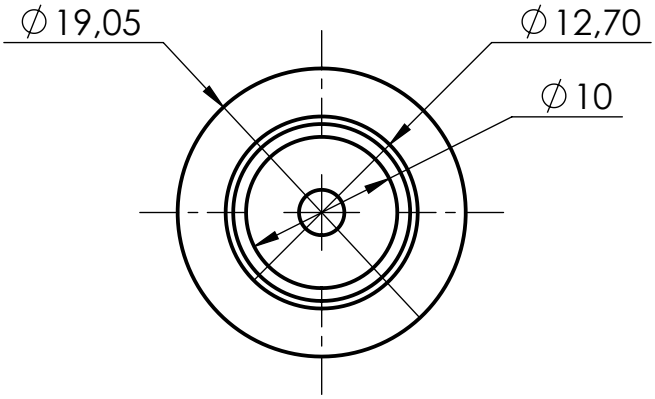
Tolerancia: ±0.1	Peso: 83.30g	Material: Acrílico e=8mm	
	Fecha:	Nombre:	Denominación: barra "S" — Escala: 1:2
Dibujó:	2/12/2025	José Durán	
Revisó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo	
Aprobó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo	
U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			Número de Lámina: 05 DE 12 — Registro:
Edición / Modificación / Fecha / Nombre			(Sustitución)





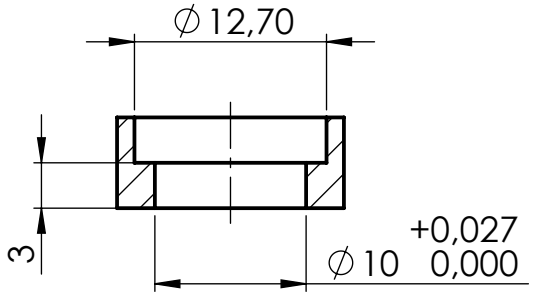
CORTE A-A



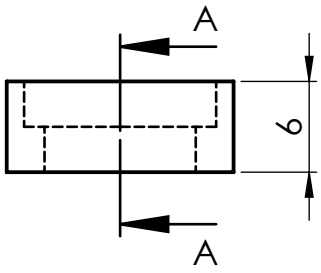


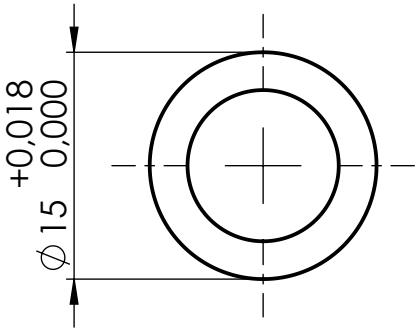
				Tolerancia: ±0.1		Peso: 10.58	Material: Acero inoxidable 304
					Fecha:	Nombre:	Denominación: pasador macho tablero
				Dibujó:	25/06/2024	José Durán	Escala: 2:1
				Revisó:	25/06/2024	Ing. Mauricio Carrillo	
				Aprobó:	25/06/2024	Ing. Mauricio Carrillo	
				U.T.A			Número de Lámina: 06 DE 12
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA			(Sustitución)

Registro:



CORTEA-A

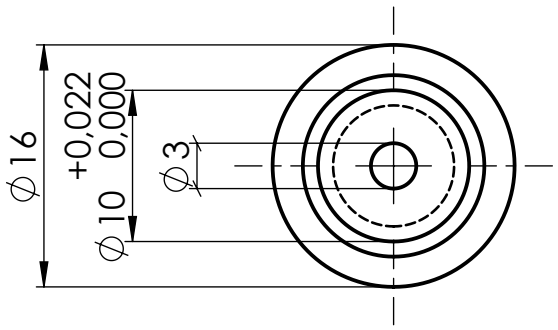


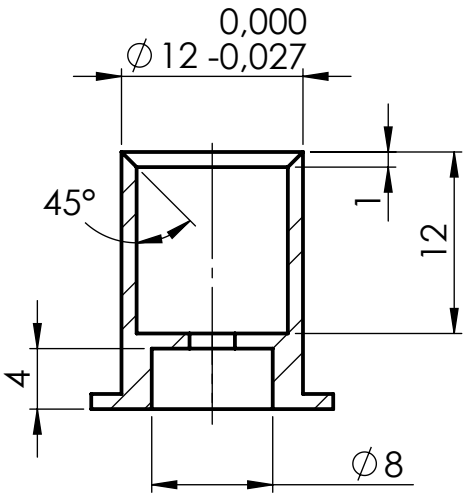


				Tolerancia: ±0.1	Peso: 18.23g	Material: ACERO INOXIDABLE 304	
					Fecha:	Nombre:	Denominación: PASADOR HEMBRA TABLERO
				Dibujó:	2/12/2025	José Durán	Escala: 2:1
				Revisó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo	
				Aprobó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			Número de Lámina: 07 DE 12
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)

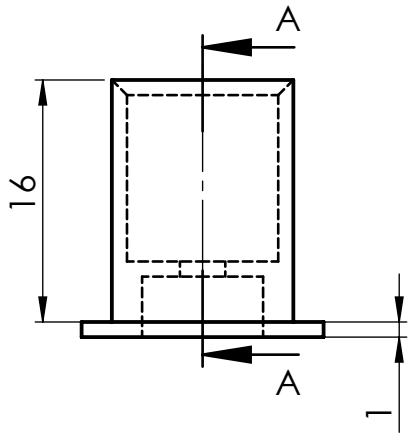
Registro:

N7

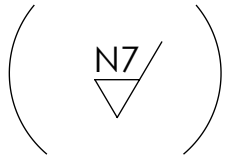


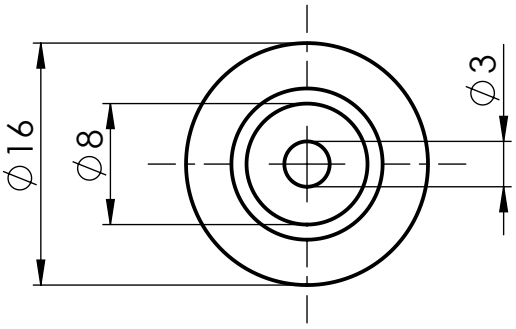


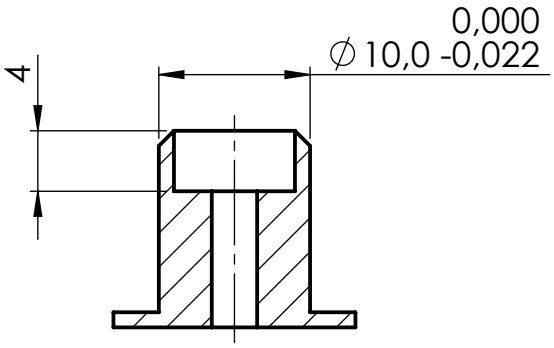
CORTE A-A



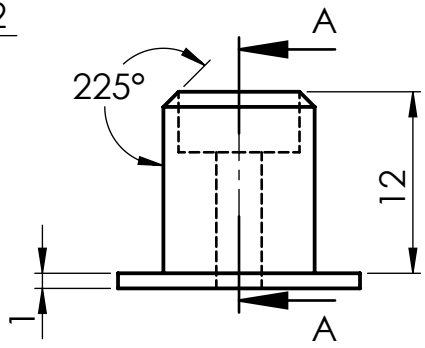
				Tolerancia: ±0.1	Peso: 6.75g	Material: ACERO INOXIDABLE 304	
					Fecha:	Nombre:	Denominación: PASADOR HEMBRA — Escala: 2:1
				Dibujó:	2/12/2025	José Durán	
				Revisó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo	
				Aprobó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			Número de Lámina: 08 DE 12 — Registro:
							(Sustitución)



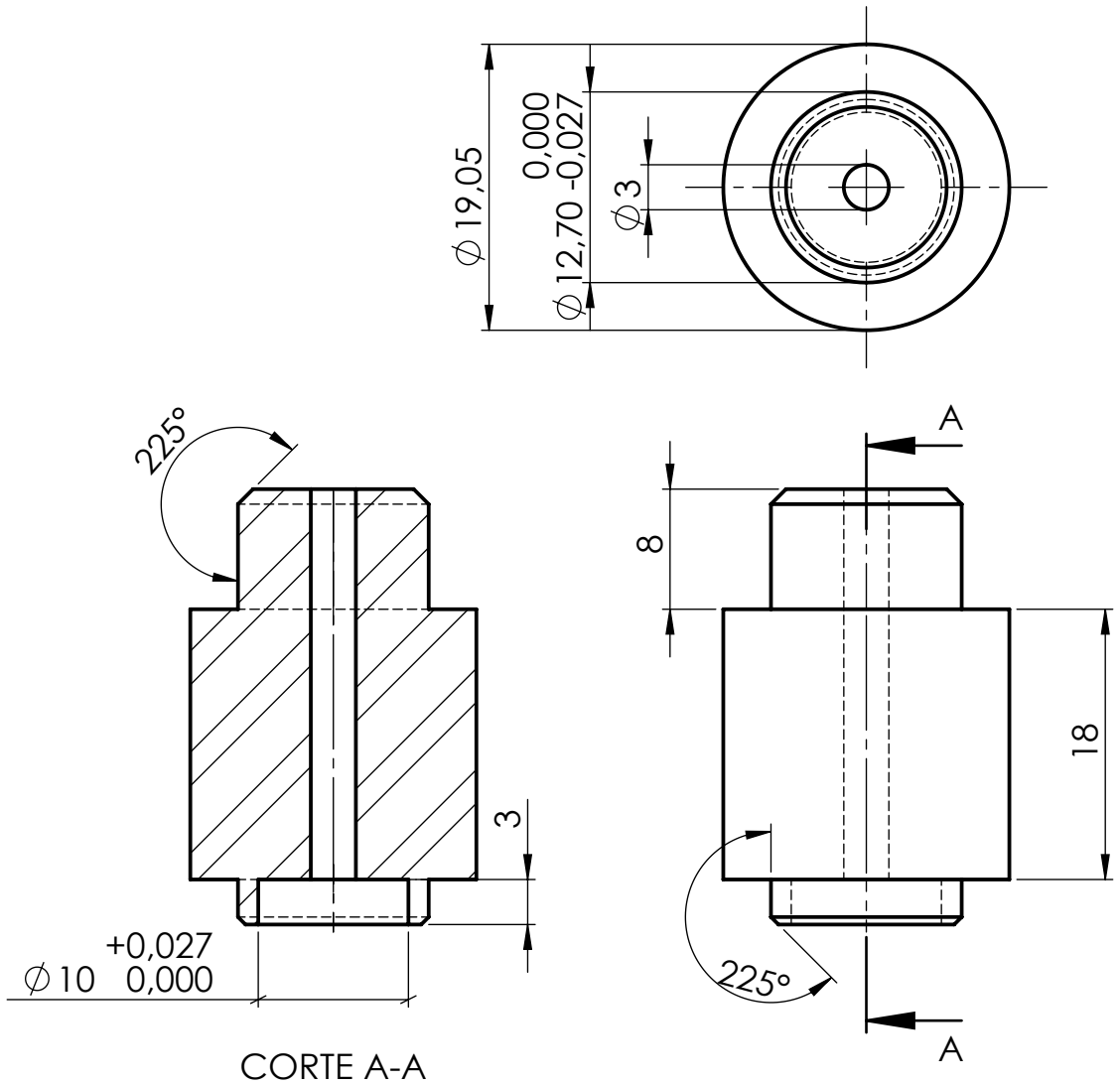




CORTEA-A



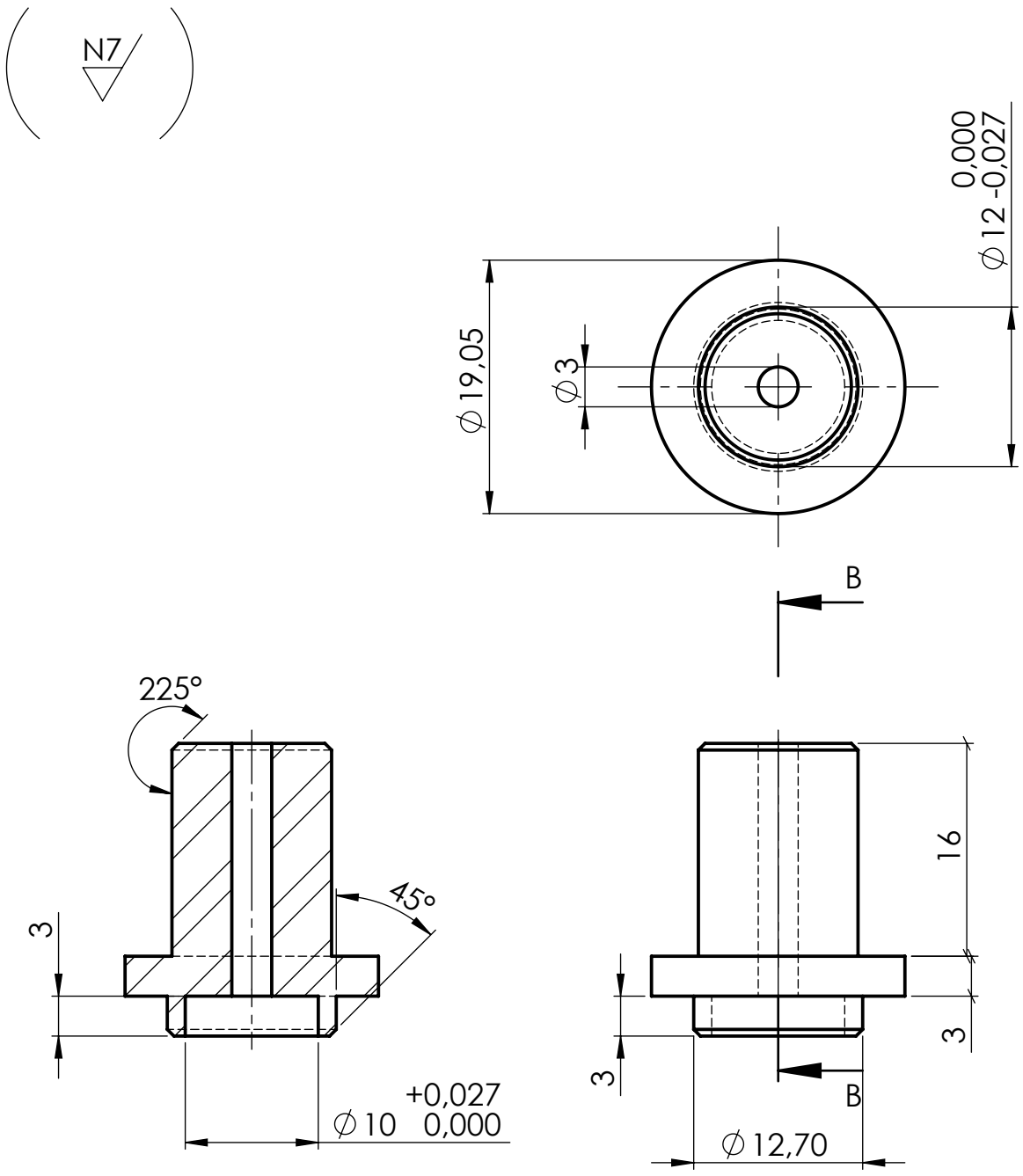
				Tolerancia: ±0.1	Peso: 19.53g	Material: ACERO INOXIDABLE 304	
					Fecha:	Nombre:	Denominación: PASADOR MACHO — Escala: 2:1
				Dibujó:	2/12/2025	José Durán	
				Revisó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo	
				Aprobó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			Número de Lámina: 09 DE 12 — Registro:
							(Sustitución)



CORTE A-A

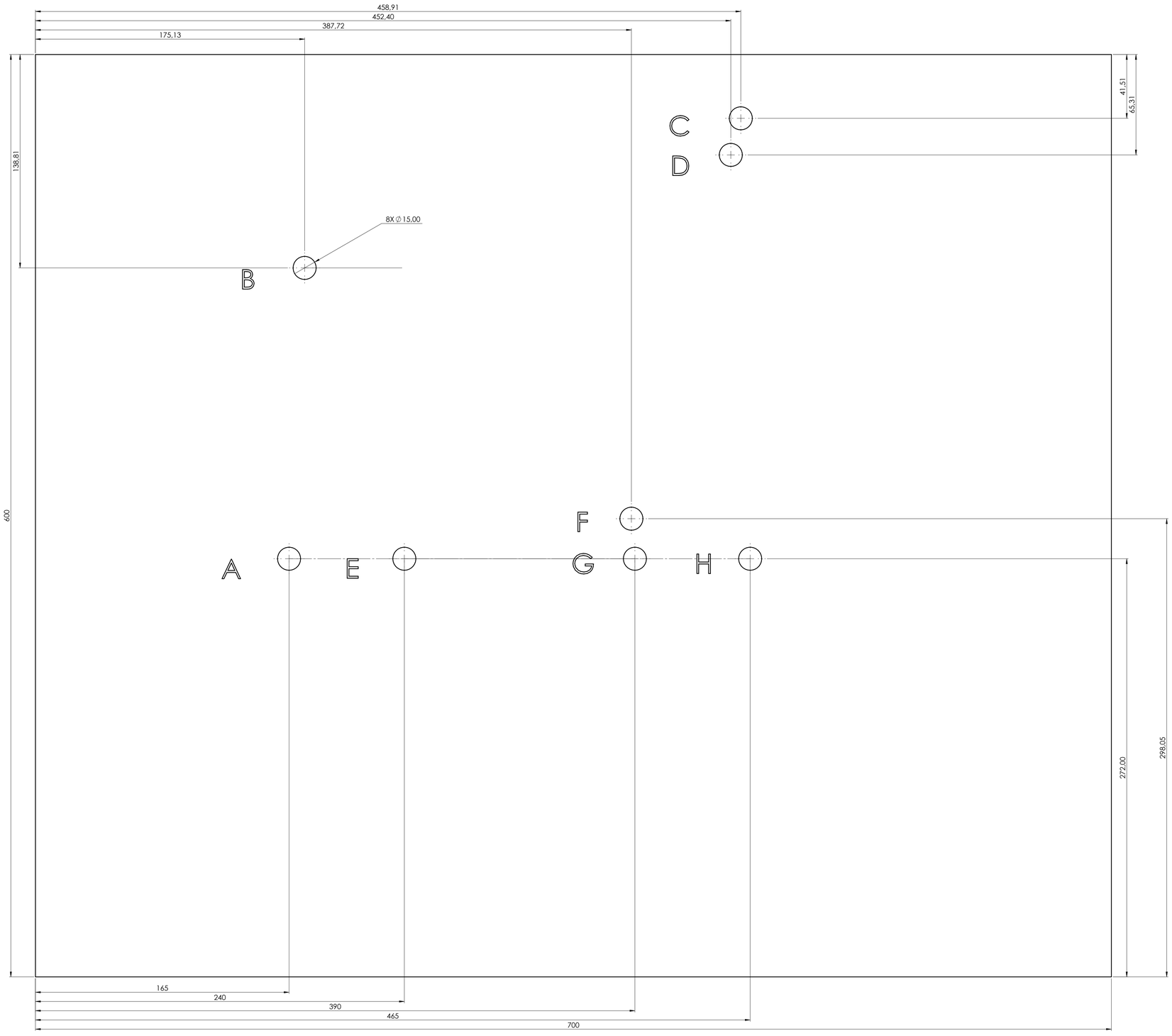
				Tolerancia: ±0.1		Peso: 48.65g	Material: ACERO INOXIDABLE 304
					Fecha:	Nombre:	Denominación: SEPARADOR
				Dibujó:	2/12/2025	José Durán	Escala: 1:2
				Revisó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo	
				Aprobó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo	
				U.T.A			Número de Lámina: 10 DE 12
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA			(Sustitución)

Registro:



CORTE B-B

				Tolerancia: ±0.1	Peso: 21.32g	Material: ACERO INOXIDABLE 304	
					Fecha:	Nombre:	Denominación: SEPARADOR	Escala: 1:2
				Dibujó:	2/12/2025	José Durán		
				Revisó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo		
				Aprobó:	2/12/2025	Ing. Mauricio Carrillo		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			Número de Lámina: 11 DE 12 (Sustitución)	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					


458,91
452,40
387,72
175,13
138,81
600
41,51
65,31
8X ∅15,00
B
C
D
A
E
F
G
H
272,00
298,05
165
240
390
465
700

| | | |

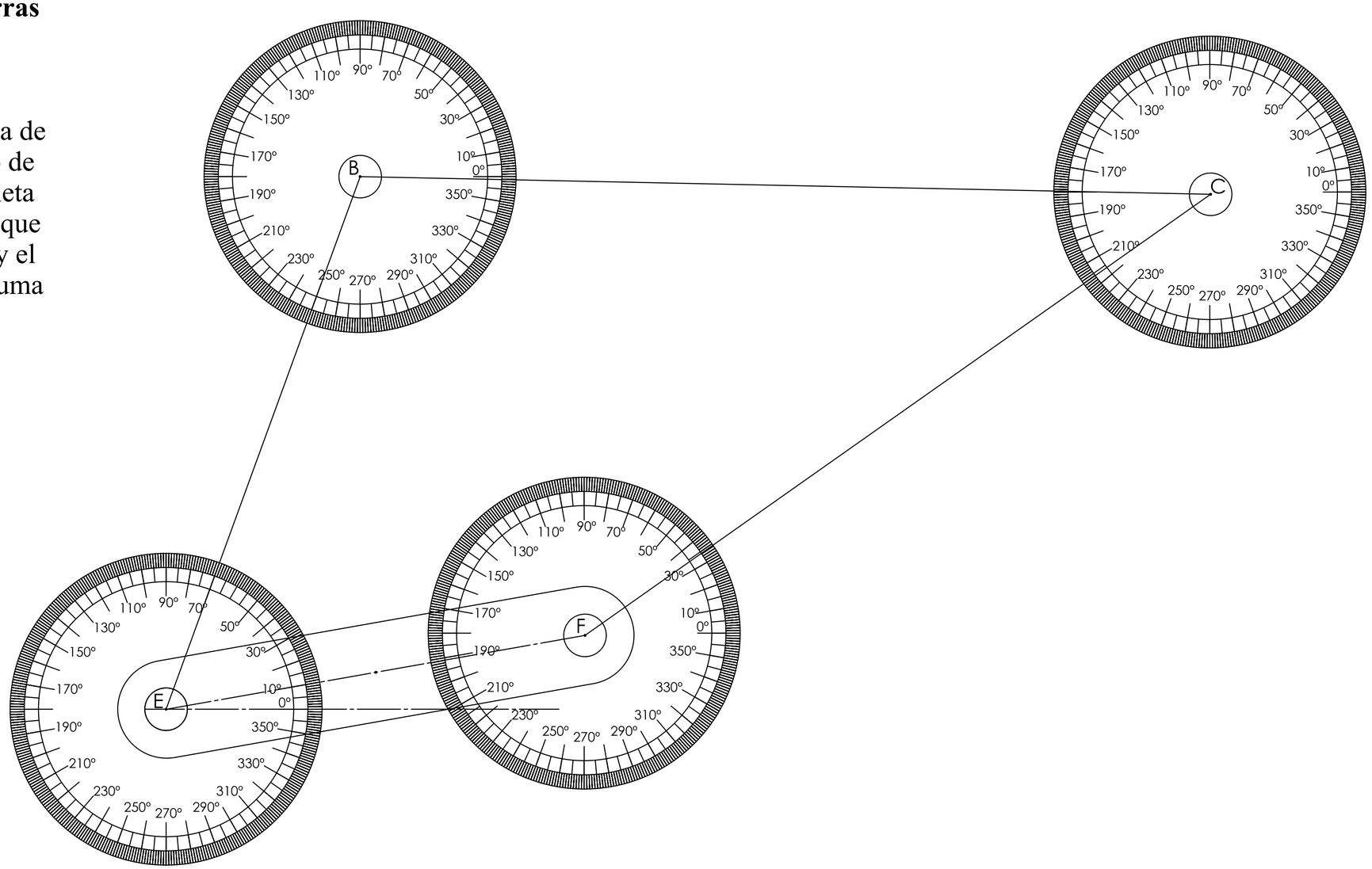
SECCIÓN F- PLANTILLAS DE TRABAJO

Análisis cinemático del mecanismo Grashof cuatro barras, determinación de los ángulos

Universidad Tecnica de Ambato
Facultad de Ingeniería Civil y Mécanica
Carrera de Ingenieria Mecanica

Mecanismo Grashof de cuatro barras
s+l < p+q
15+30 < 20+15
DOBLE BALANCÍN

"Para un mecanismo plano que consta de cuatro barras para que al menos uno de los eslabones de una rotación completa se debe cumplir con la condición de que la suma de los eslabones más corto y el más largo sea menor o igual que la suma de los otros dos eslabones"



PRIMERA INVERSIÓN CINEMÁTICA

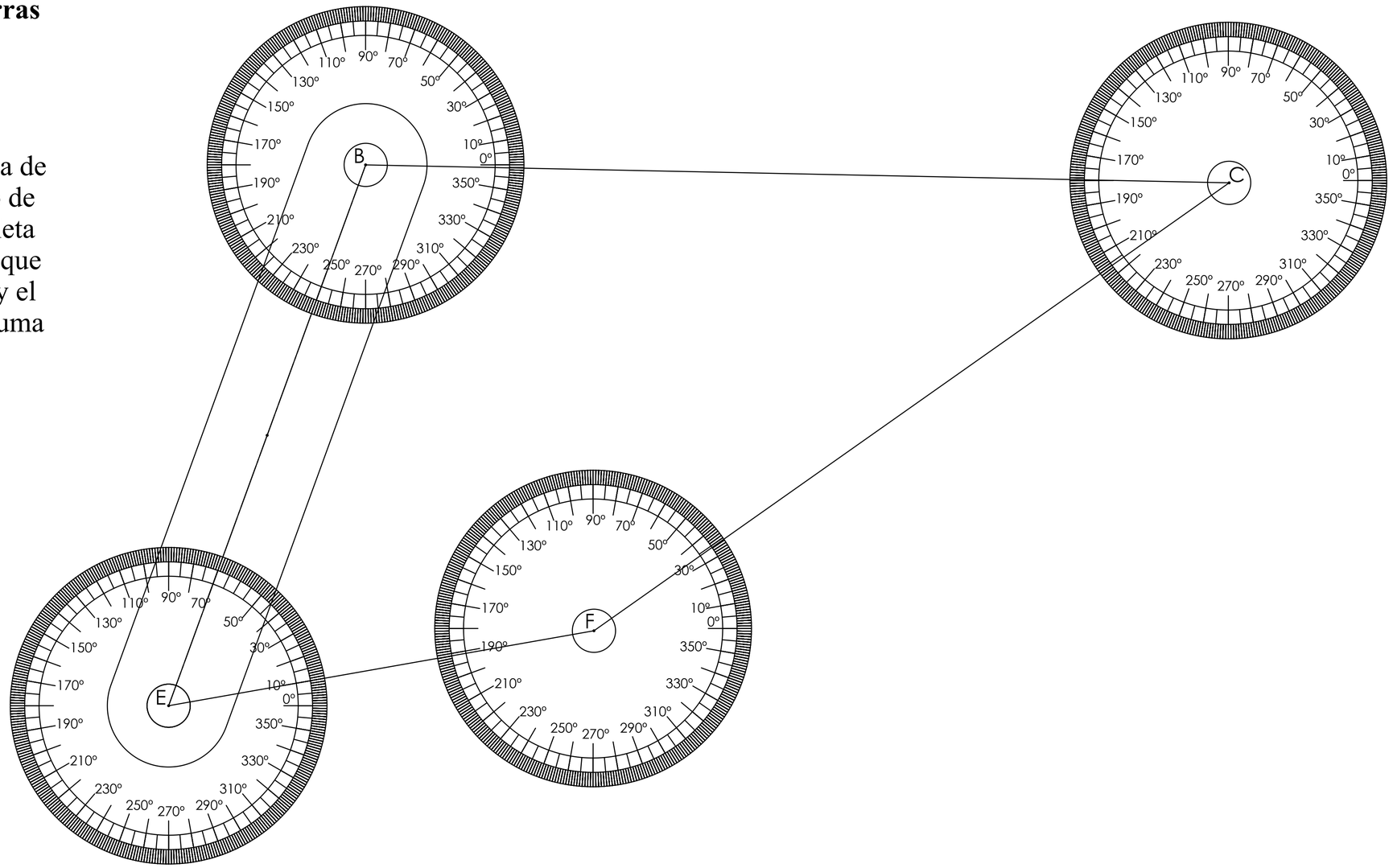
DOBLE BALANCÍN
Un mecanismo de 4 barras doble balancín es un tipo de mecanismo en el que dos eslabones conectados a la barra fija oscilan, y un acoplador puede dar vueltas completas, con la barra mas corta actuando como acoplador en algunas configuraciones.

Análisis cinemático del mecanismo Grashof cuatro barras, determinación de los ángulos

Universidad Tecnica de Ambato
Facultad de Ingeniería Civil y Mécanica
Carrera de Ingenieria Mecanica

Mecanismo Grashof de cuatro barras
s+l < p+q
15+30 < 20+15
MANIVELA- BALANCÍN
ESLABÓN FIJO BARRA "P"

"Para un mecanismo plano que consta de cuatro barras para que al menos uno de los eslabones de una rotación completa se debe cumplir con la condición de que la suma de los eslabones más corto y el más largo sea menor o igual que la suma de los otros dos eslabones"



SEGUNDA INVERSIÓN CINEMÁTICA

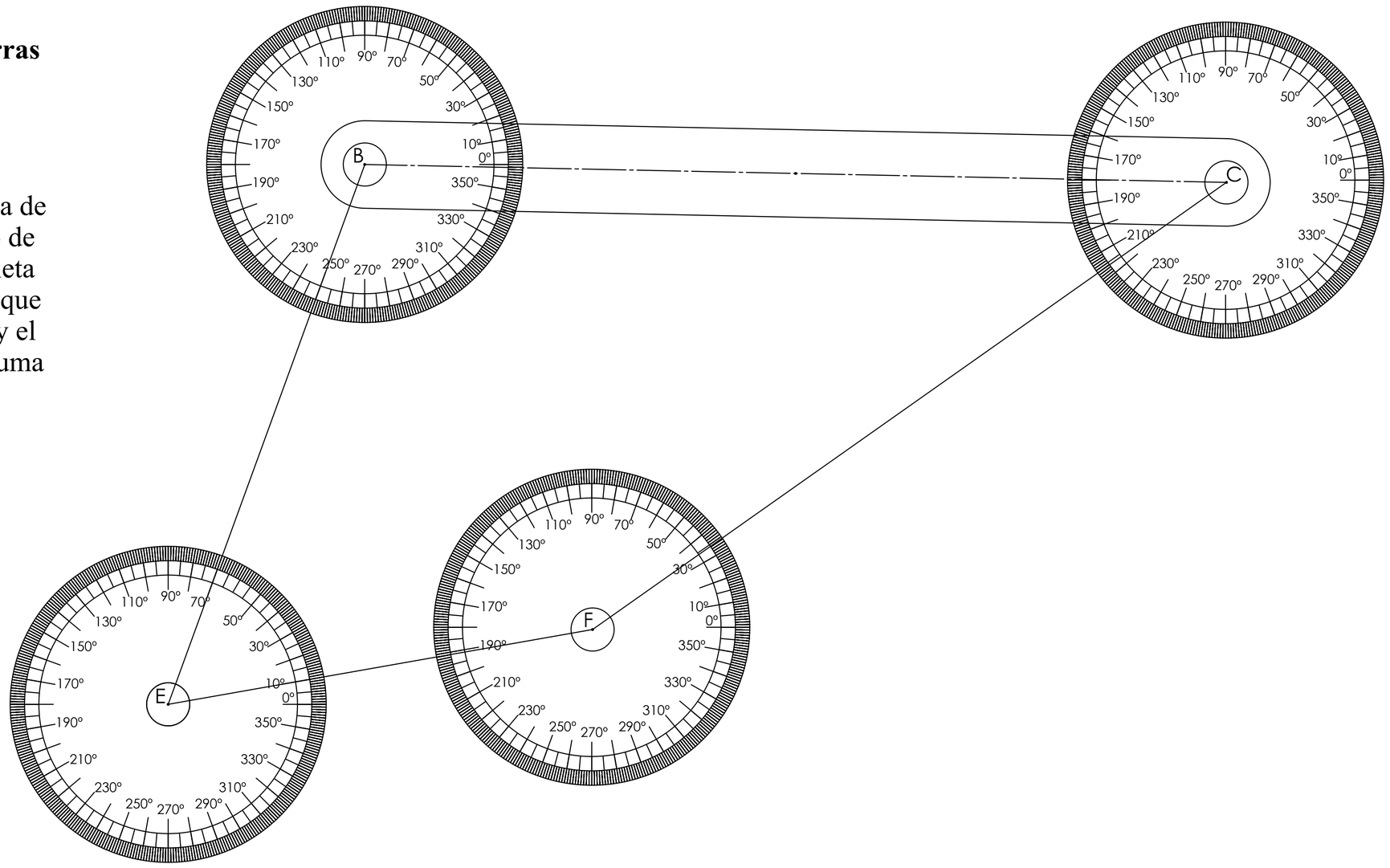
MANIVELA-BALANCÍN
Un mecanismo manivela balancín de cuatro barras convierte el movimiento rotatorio continuo en un movimiento oscilatorio

Análisis cinemático del mecanismo Grashof cuatro barras, determinación de los ángulos

Universidad Tecnica de Ambato
Facultad de Ingeniería Civil y Mécanica
Carrera de Ingenieria Mecanica

Mecanismo Grashof de cuatro barras
s+l < p+q
15+30 < 20+15
DOBLE BALANCÍN
ESLABÓN FIJO BARRA "L"

"Para un mecanismo plano que consta de cuatro barras para que al menos uno de los eslabones de una rotación completa se debe cumplir con la condición de que la suma de los eslabones más corto y el más largo sea menor o igual que la suma de los otros dos eslabones"



TERCERA INVERSIÓN CINEMÁTICA

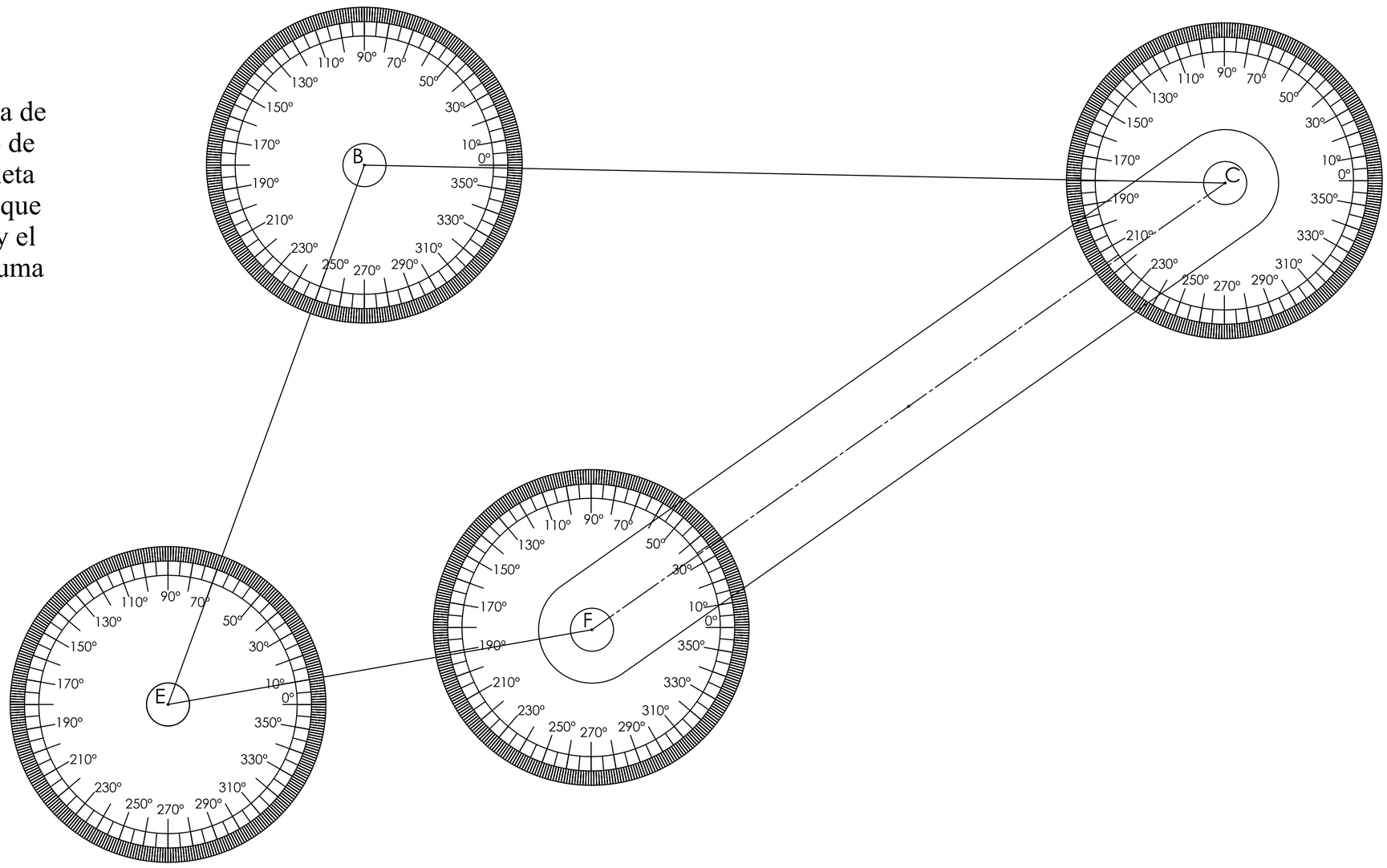
DOBLE BALANCÍN
Un mecanismo de 4 barras doble balancín es un tipo de mecanismo en el que dos eslabones conectados a la barra fija oscilan, y un acoplador puede dar vueltas completas, con la barra mas corta actuando como acoplador en algunas configuraciones.

Análisis cinemático del mecanismo Grashof cuatro barras, determinación de los ángulos

Mecanismo Grashof de cuatro barras
s+l < p+q
15+30 < 20+15
MANIVELA-BALANCÍN
ESLABÓN FIJO BARRA "Q"

"Para un mecanismo plano que consta de cuatro barras para que al menos uno de los eslabones de una rotación completa se debe cumplir con la condición de que la suma de los eslabones más corto y el más largo sea menor o igual que la suma de los otros dos eslabones"

Universidad Tecnica de Ambato
Facultad de Ingeniería Civil y Mécanica
Carrera de Ingenieria Mecanica



CUARTA INVERSIÓN CINEMÁTICA

MANIVELA-BALANCÍN
Un mecanismo manivela balancín de cuatro barras convierte el movimiento rotatorio continuo en un movimiento oscilatorio