

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
MAESTRIA EN INGENIERÍA MECÁNICA



TESIS

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE BRAZO MECÁNICO PARA MESA DE CALIBRACIÓN
DE MEDIDORES ELÉCTRICOS DIGITALES

Que para obtener el Grado de
Maestro en Ingeniería Mecánica

Presenta
Ing. Mario Guadalupe Gómez Macías
G05070893

Directora de Tesis
M.C. Eduardo Abid Becerra

Co-Director de Tesis
M.C. Marcela Castillo Juárez



SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Ciudad Madero

Cd. Madero, Tams., a **05 de Diciembre de 2018**

OFICIO No.: U4.046/18
ÁREA: DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN
DE TESIS.

ING. MARIO GUADALUPE GÓMEZ MACÍAS
NO. DE CONTROL G05070893
PRESENTE

Me es grato comunicarle que después de la revisión realizada por el Jurado designado para su examen de grado de Maestría en Ingeniería Mecánica, el cual está integrado por los siguientes catedráticos:

PRESIDENTE :	M.C.	EDUARDO ABID BECERRA
SECRETARIO :	M.C.	MARCELA CASTILLO JUÁREZ
VOCAL :	M.C.	JAVIER RESÉNDIZ HIDALGO
SUPLENTE :	M.C.	EDUARDO VEGA VÁZQUEZ
DIRECTOR DE TESIS :	M.C.	EDUARDO ABID BECERRA
CO-DIRECTOR	M.C.	MARCELA CASTILLO JUÁREZ

Se acordó autorizar la impresión de su tesis titulada:

“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE BRAZO MECÁNICO PARA MESA DE CALIBRACIÓN DE MEDIDORES ELÉCTRICOS DIGITALES”

Es muy satisfactorio para esta División compartir con Usted el logro de esta meta, esperando que continúe con éxito su desarrollo profesional y dedique su experiencia e inteligencia en beneficio de México.

ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica®
“Por mi patria y por mi bien”®*

DR. JOSÉ AARÓN MELO BANDA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN

c.c.p.- Archivo
Minuta

JAMB 'IEGS 'mdcoa*



Av. 1º de Mayo y Sor Juana I. de la Cruz Col. Los Mangos, Cd. Madero, Tam.

Tel. 01 (833) 357 48 20, e-mail: dir01_cdmadero@tecnm.mx

www.tecnm.mx | www.cdmadero.tecnm.mx

I AGRADECIMIENTOS

El amor recibido, la dedicación y la paciencia con la que cada día se preocupaban mis padres por el avance y desarrollo de esta tesis, es simplemente único y se refleja en la vida de un hijo.

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar en mí y mis expectativas, gracias a mis hermanas por estar dispuestas a acompañarme en cada larga y agotadora noche de estudio, gracias a mi madre por el apoyo incondicional, siempre hachándose porras para seguir adelante deseándome siempre lo mejor, gracias a mi padre por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

Gracias a mi esposa, que siempre estuvo a mi lado apoyándome dándome sus mejores deseos y nunca permitir que perdiera las ganas de seguir adelante.

Gracias a Dios por la vida de mis padres, también porque cada día bendice mi vida con la hermosa oportunidad de estar y disfrutar al lado de las personas que sé que más me aman, y a las que yo sé que más amo en mi vida, gracias a Dios por permitirme amar a mis padres.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en la realización de esta tesis.

II RESUMEN

Actualmente se utilizan medidores de energía eléctrica conocidos técnicamente como wathhorímetros, dichos equipos deben de medir de manera exacta el consumo de energía eléctrica, por lo tanto cada uno de los wathhorímetros deben estar calibrados y certificados por la Comisión Federal de Electricidad “CFE”.

En la actualidad existen mesas de calibración de wathhorímetros, las cuales pueden realizar calibraciones desde un equipó hasta diez, siendo este el máximo número de equipos calibrados al mismo tiempo.

Los soportes de sensores que utilizan las actuales mesas de calibración tienen el problema de tener una vida útil muy corta, reflejado en un alto consumo de soportes y pérdida de tiempo en la instalación, todo esto aunado a la cantidad de millones de equipos que deben ser calibrados, es un gasto económico elevado.

El limitante existente es que todo fue realizado por medio de la simulación, siendo utilizado el software de diseño Solidworks®, el cual se realizó el diseño de cada componente estructural del brazo mecánico para mesa de calibración de medidores eléctricos digitales.

El resultado obtenido del diseño y simulación del brazo mecánico para mesa de calibración de medidores eléctricos digitales, fue la mejora de los tiempos de calibración ya que este tendrá la capacidad de soportar dos sensores de pulsos.

Así mismo la mesa tendrá la capacidad de calibrar 12 medidores eléctricos al mismo tiempo, con la ayuda de 6 brazos mecánicos conectados en serie, y como se mencionó anteriormente el brazo tendrá la capacidad de medir y calibrar 2 equipos al mismo tiempo.

III ABSTRACT

Currently, electric energy meters known technically as watt-hourmeters are used, said equipment must measure the exact consumption of electric energy, and therefore each of the watt-hourmeters must be calibrated and certified by the Federal Electricity Commission "CFE".

At present there are calibration tables of watt-hourmeters, which can perform calibrations from one equipment to ten, this being the maximum number of equipment calibrated at the same time.

The sensor supports used by the current calibration tables have the problem of having a very short service life, reflected in a high consumption of supports and loss of time in the installation, all this added to the amount of millions of equipment that must be calibrated, is a high economic expense.

The existing limitation is that everything was done by means of simulation, using the Solidworks® design software, which was used to design each structural component of the mechanical arm for the calibration table of digital electric meters.

The result obtained from the design and simulation of the mechanical arm for calibration table of digital electric meters, was the improvement of calibration times since this will have the capacity to support two pulse sensors.

Likewise, the table will have the capacity to calibrate 12 electrical meters at the same time, with the help of 6 mechanical arms connected in series, and as previously mentioned, the arm will have the capacity to measure and calibrate 2 devices at the same time.

	Pag.
IV INDICE GENERAL	
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo general	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
1.2 Justificación	2
CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES	4
2.1 Mesas de calibración en la actualidad.	6
2.2 Problemáticas a resolver	7
2.2.1 Soluciones propuestas.	8
2.3 Implementación de un brazo mecánico como soporte de sensores.	9
2.4 Componentes de una mesa de calibración de medidores digitales	9
2.4.1 Medidor eléctrico digital	10
2.4.2 Equipo patrón.	12
2.4.3 Sensores	13
2.4.4 Mesa de trabajo.	14
2.5 Aplicación de normativas.	15
2.5.1 Normas para diseño de mecanismos.	15
2.5.2 Diseño de Engranés.	18
2.6 Normas de materiales	23
2.7 Normas de calibración de Watthorímetros.	23
2.7.1 Especificaciones generales	25
2.7.2 Procedimiento de prueba de Watthorímetro	25
2.8 Dimensiones de estructura de mesa de calibración	29
2.9 Bases matemáticas.	29
2.9.1 Ley de Hooke	33
2.9.2 Ley de Poisson	43
2.9.3 Módulo de elasticidad	44
2.9.4 Torsión	46

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA	48
3.1 Verificación de los medidores utilizados por la Comisión Federal de Electricidad	48
3.2 Verificación de las normas estándar.	49
3.2.1 Norma de materiales.	49
3.3 Posicionamiento del sensor.	50
3.4 Elementos del brazo.	52
3.5 Diseño y modelado.	53
CAPÍTULO 4 DISEÑO MODELADO Y SIMULACIÓN EN SOLIDWORKS®	54
4.1 Modelado de Watthorímetros.	54
4.2 Modelado del sensor óptico.	56
4.3 Diseño y modelado de los elementos del brazo mecánico.	58
4.3.1 Base del brazo.	58
4.3.2 Elemento de extensión vertical.	61
4.3.3 Elemento de extensión horizontal.	63
4.3.4 Elemento de extensión vertical telescópica.	65
4.3.5 Conjunto de engranes de posición.	67
4.3.6 Porta sensor.	73
4.3.7 Eje de enlace.	75
4.3.8 Porta watthorímetros	77
4.3.9 Mesa de trabajo	79
4.3.10 Ensamblaje de los elementos del brazo mecánico.	81
CAPÍTULO 5 RESULTADOS	89
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	96
6.1 Conclusión.	96
6.2 Recomendaciones.	97
6.3 Trabajos futuros.	98
Referencias	99

V ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Fig. 2.1 Los laboratorios de prueba y contrastación de medidores de energía PHAZER	6
Fig. 2.2 Mesa de calibración de medidores eléctricos marca INEVA®	7
Fig. 2.3 Alineación manual del sensor con el uso del tubo flexible	8
Fig. 2.4 Tubo flexible utilizado como soporte, presenta daños en un extremo	9
Fig. 2.5 Watthorímetro Electrónico Polifásico marca IUSA , modelo CP-05-12S	10
Fig. 2.6 Dimensiones del Watthorímetro	11
Fig. 2.7 Patrón de medición de watt-hora Radian Research modelo RD-20	12
Fig. 2.8 Sensor óptico marca PARMO modelo PO-1108	13
Fig. 2.9 Mesa de madera con soporte en acero	14
Fig. 2.10 Alineación de los dientes de engranes	20
Fig. 2.11 Diferentes reacciones a esfuerzos	30
Fig. 2.12 Esfuerzos aplicados	32
Fig. 2.13 Grafica de esfuerzo y deformación	33
Fig. 2.14 Esfuerzo de deformación unitaria	34
Fig. 2.15 Grafica de esfuerzo y deformación en incremento	34
Fig. 2.16 Grafica de rigidez resistencia y ductilidad	35
Fig. 2.17 Esfuerzos cortantes sobre un material	39
Fig. 2.18 Detalle de la base del edificio (los pernos están sometidos a corte)	39
Fig. 2.19 Pernos sometidos a corte. Universidad nacional de Colombia	40
Fig. 2.20 Deformación por cortante	41
Fig. 2.21 Esfuerzos cortantes y deformaciones angulares	41
Fig. 2.22 Configuración de elemento para soportar los esfuerzos cortantes.	42
Fig. 2.23 Relación de Poisson demostración sobre un material	43
Fig. 2.24 Esquema de la deformación producida por un esfuerzo de cizalla	46
Fig. 3.1 Medidor modelo CP-12-1S	48
Fig. 3.2 Medidor modelo CP-12-16S	48
Fig. 3.3 Perfil de aluminio estructural anodizado.	50

Fig. 3.4 Posición de alineación del sensor respecto al wathhorímetro	51
Fig. 4.1 Modelado de medidor digital	54
Fig. 4.2 Medidor eléctrico digital con tablillas electrónicas, para simulación de Cargas	55
Fig. 4.3 Dimensiones de sensor marca PARMO. de amplia lectura	56
Fig. 4.4 Modelado de sensor marca PARMO. de amplia lectura	57
Fig. 4.5 Plano de construcción de base de brazo mecánico	59
Fig. 4.6 Vistas del diseño en Solidworks de la base de brazo mecánico Vertical	60
Fig. 4.7 Vistas del diseño en Solidworks de la unión de la base vertical.	61
Fig. 4.8 Vistas del diseño en Solidworks de la unión de la base vertical.	62
Fig. 4.9 Plano de construcción de extensión del brazo mecánico	63
Fig. 4.10 Vistas del diseño realizado en Solidworks de la extensión horizontal del brazo mecánico.	64
Fig. 4.11 Plano de construcción de elemento de extensión vertical telescópica	65
Fig. 4.12 Vista del diseño en Solidworks de la extensión vertical telescópica	66
Fig. 4.13 Circunferencias de referencia de un engrane	67
Fig. 4.14 Identificación de circunferencia primitiva	68
Fig. 4.15 Calculo de dimensiones de los dientes del engrane	69
Fig. 4.16 Dimensiones del engranaje	71
Fig. 4.17 Modelado del engranaje	72
Fig. 4.18 Dimensiones del porta sensor	73
Fig. 4.19 Modelado del porta sensor	74
Fig. 4.20 Dimensiones de los ejes de engranes	75
Fig. 4.21 Modelado de eje de engranes	76
Fig. 4.22 Dimensiones del porta wathhorímetros	77
Fig. 4.23 Modelado del porta wathhorímetro	78
Fig. 4.24 Dimensiones de la mesa de trabajo	79
Fig. 4.25 Modelado de la mesa de trabajo	80
Fig. 4.26 Elementos del brazo mecánico	82
Fig. 4.27 Elementos del brazo mecánico	83
Fig. 4.28 Elementos del brazo mecánico y su movimiento	84

Fig. 4.29 Elementos del brazo mecánico y la ubicación de sensores	85
Fig. 4.30 Vista lateral de elementos explosionados en Solidworks	86
Fig. 4.31 Vista posterior de elementos explosionados en Solidworks	87
Fig. 4.33 Brazo mecánico completo	88
Fig. 5.1 Secuencia de alineación de brazo con respecto a medidores Eléctricos	90
Fig. 5.2 Secuencia de alineación de brazo con respecto a medidores Eléctricos	91
Fig. 5.3 Secuencia de alineación de brazo con respecto a medidores Eléctricos	92
Fig. 5.4 Secuencia de alineación de brazo con respecto a medidores Eléctricos	93
Fig. 5.5 Secuencia de alineación de brazo con respecto a medidores Eléctricos	94
Fig. 5.6 Secuencia de alineación de brazo con respecto a medidores Eléctricos	95

VI INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tipos de engranes	21
Tabla 2.2 Lista de materiales y su resistencia	36
Tabla 2.3 Materiales y sus esfuerzos cortantes	42
Tabla 2.4 Relación de Poisson en diferentes materiales	44
Tabla 3.1 Componentes principales del brazo mecánico.	52

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

El propósito de este proyecto es el de diseño y simulación un brazo mecánico para una mesa de calibración de medidores eléctricos digitales pertenecientes a la Comisión Federal de Electricidad.

Para realizar el diseño y simulación del brazo mecánico para la mesa de calibración se utilizaron los principios y la aplicación de mecanismos, así como un estudio de materiales que ayudo a mejorar la calidad en el diseño y simulación del mismo.

Se evaluaron los tipos de mecanismos que pueden ser utilizados para el correcto funcionamiento de los sistemas de soportes de sensores, que serán utilizados en la mesa de calibración de medidores eléctricos digitales.

Se definieron los materiales que serán utilizados en el diseño y simulación del brazo mecánico para la mesa de calibración de medidores eléctricos digitales.

El diseño y la simulación del brazo mecánico son aplicados para una mesa de calibración de 12 medidores eléctricos digitales.

El tiempo requerido por una mesa de calibración es aproximado a 10 min por medidor digital, teniendo en cuenta que los lotes o paquetes de medidores que serán puestos a pruebas de medición y/o calibración superan más de los 100 mil equipos, con tiempos de entrega no mayor a 45 días.

Uno de los mayores beneficios que se obtendrán, es que los tiempos de entrega serán menores ya que la producción de equipos verificados será multiplicada por 12, dando cumplimiento a la demanda de equipos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Diseño y simulación del brazo mecánico para una mesa de calibración de medidores eléctricos digitales que puede ejecutar el trabajo simultáneamente en 12 medidores de energía eléctrica

1.1.2 Objetivos específicos

Evaluar los tipos de mecanismos que pueden ser utilizados en el diseño y simulación del brazo mecánico así como verificar el correcto funcionamiento de los sistemas de soportes de sensores, que serán utilizados en la mesa de calibración de medidores eléctricos digitales.

Definir los materiales de acuerdo a los estándares y normativas que serán utilizados en el diseño y simulado del brazo mecánico para la mesa de calibración de medidores eléctricos digitales.

Diseño, modelado y simulación del brazo mecánico

1.2 Justificación

El diseño de un brazo mecánico que será instalado en una mesa de calibración tiene como finalidad la disminución del tiempo requerido en el procedimiento de identificación, calibración y aprobación de cada medidor así como la ventaja en la mejora de costos de adquisición, operación y mantenimiento asociados a la labor de calibración.

En los siguientes párrafos se describe el contenido general de cada uno de los capítulos.

Capítulo 2. En este capítulo se describen los antecedentes de las mesas de calibración existentes y de los métodos que son utilizados para realizar la calibración de los medidores eléctricos digitales.

Capítulo 3. En este capítulo se describe la metodología utilizada para el diseño del brazo así como toda la información de normas en la cual fue basada dicha investigación.

Capítulo 4. En este capítulo se describe el modelo analítico utilizado para el diseño del brazo mecánico que será utilizado para la mesa de calibración y los resultados de las pruebas de la simulación del movimiento aplicado.

Capítulo 5. En este capítulo se demuestra que los resultados obtenidos por el diseño del brazo mecánico aplicado en la mesa de calibración con 12 medidores cumplen satisfactoriamente con las necesidades en tiempos de ejecución y cantidad de equipos calibrados.

Capítulo 6. En este capítulo se demuestra las conclusiones a las que se llegó después de haber realizado el diseño y simulación del brazo para la mesa de calibración de medidores eléctricos digitales, así como las recomendaciones y los trabajos a futuro que se pueden realizar para la mejora continua del proyecto.

CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES

En este capítulo se describen las mesas de calibración de medidores de energía eléctrica y sus características. En base a estas, se plantea y justifica el diseño y simulación de un brazo mecánico para una mesa de calibración.

Tanto en México como en cualquier país del mundo la energía eléctrica es la base de la civilización tal como la conocemos, por lo que su generación, transmisión y distribución es una práctica cotidiana. Para lograr esto, se requiere toda una infraestructura, de la cual abarca desde la generación hasta el usuario final, por lo que se requiere cuantificar la energía consumida para establecer una cantidad monetaria proporcional al consumo del cliente.

Para esto, se utilizan los instrumentos llamados wathorímetros, los cuales registran la energía eléctrica entregada en unidades de watt-hora (en la práctica se usa el kilowatt-hora (kWh) equivalente a mil watt-hora), y por cada kWh consumido se establece una tarifa.

En México la Comisión Federal de Electricidad (CFE), es la encargada de generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica a todo el país a través de una amplia red construida durante años, todo para hacer llegar la energía eléctrica a los hogares y negocios para el desempeño diario.

En general, cuando CFE y el cliente celebran un contrato, al cliente se le instala un medidor de energía para que registre el consumo y así poder establecer un cobro bimestral al cliente que debe ser proporcional a su consumo. Por lo que es imperante que estos medidores sean calibrados cada cierto tiempo para así asegurar su fiabilidad en la lectura.

Típicamente los medidores han sido electromecánicos, esto quiere decir que a través de una inducción electromagnética se hace rotar un disco, el cual deberá ser de un tamaño específico para poder establecer una proporción de kWh por vuelta.

Sin embargo estos medidores están siendo obsoletos ya que son muy propensos a descalibrarse o a ser alterados, por lo tanto están siendo sustituidos por medidores digitales los cuales tienen una mayor veracidad en la lectura del consumo.

Para esto, en CFE, se debe contar con un laboratorio de metrología que debe encargarse de la calibración de dichos medidores, sin embargo la mayoría de los instrumentos utilizados son de origen extranjero por lo que realizar estas pruebas resulta costoso.

Muchas veces, el proceso de calibración es realizado medidor por medidor por lo que todo el proceso resulta ser muy tardado y puede llegar a ser muy tedioso y repetitivo bajando así la productividad del operador encargado de esta tarea.

Para facilitar esta labor se han creado mesas de calibración donde a través de software de computadora se logra realizar la calibración de forma óptima con la ventaja de que estas mesas admiten múltiples medidores por sesión por lo que se agiliza enormemente el proceso de calibración.

Dichas mesas de calibración en su mayoría son fabricadas en el extranjero, sin embargo hay pocas empresas mexicanas que se dedican a la construcción de estas mesas de calibración, por lo que hay mercado para la fabricación y venta de estos equipos a un costo menor

2.1 Mesas de calibración en la actualidad.

En la actualidad existen mesas de calibración de medidores que tienen un soporte de sensor estable, sin embargo son de 1 a 6 medidores. En la figura 2.1 se puede apreciar una mesa de calibración de medidores eléctricos, sin embargo el operario de esta mesa a pesar de tener un soporte tiene que sujetar para lograr la alineación correcta hasta realizar la prueba necesaria.



Fig. 2.1 Los laboratorios de prueba y contrastación de medidores de energía marca PHAZER modelo "J"

También existen mesas de calibración de hasta 10 medidores como son los de la marca INEVA® modelo "MTS-10", tal como se muestra en la figura 2.2

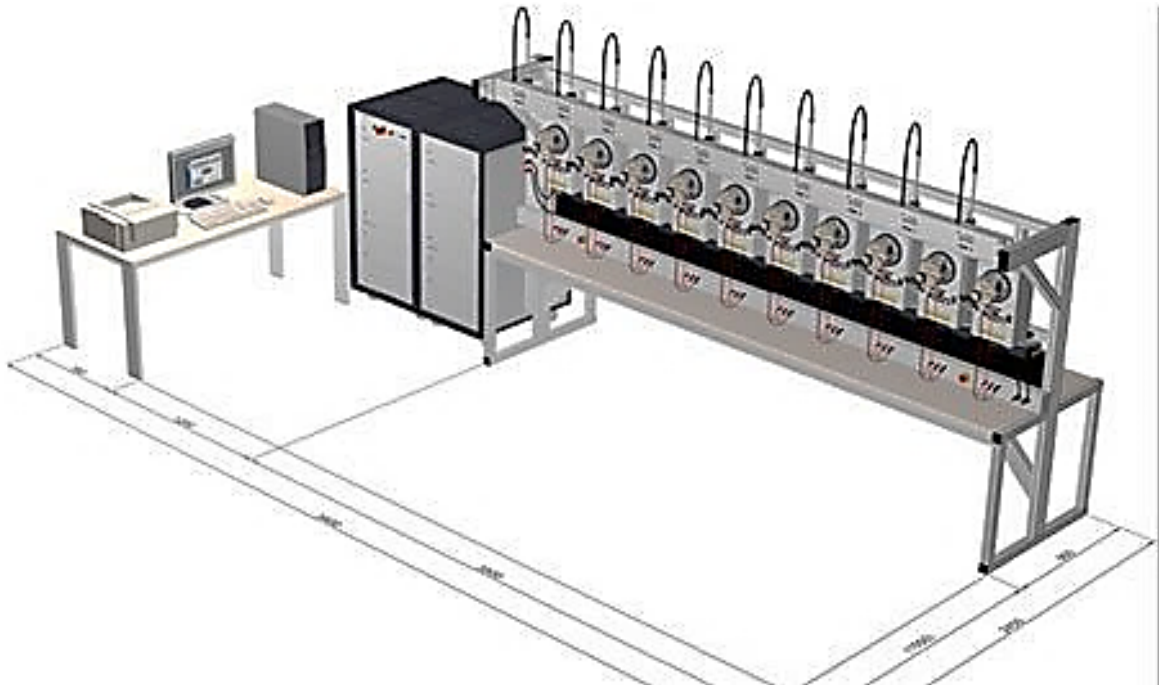


Fig. 2.2 Mesa de calibración de medidores eléctricos marca INEVA®, modelo MTS-10.

2.2 Problemáticas a resolver.

El problema que presentan todas las mesas de calibración que se utilizan en CFE. Son los sistemas de soporte de sensores, esto repercute en la exactitud de los valores que presenta el sistema de medición, así mismo los tiempos de medición y calibración de un medidor digital excede los 10 minutos por equipo, teniendo en cuenta el montaje del medidor a la base, la colocación del sensor y las pruebas que será sometido el equipo y por último el retiro del equipo de la mesa de calibración.

Todo este problema se incrementa exponencialmente debido a que la cantidad de medidores a verificar, probar y calibrar excede en varios millones de equipos.

2.2.1 Soluciones propuestas.

En la actualidad se está utilizando sistemas de tuberías flexibles, donde un extremo está unido a la mesa de calibración y el otro extremo soporta el sensor que será utilizado para realizar la medición de dicho medidor digital.

Desgraciadamente la vida útil de este sistema de tubería flexible es muy corta debido a que la cantidad de movimientos es demasiado en un tiempo muy corto, perdiendo la flexibilidad y cediendo ante el peso del sensor, que así mismo repercute en los tiempos de alineación del sensor-medidor.

En las siguientes fotografías, se muestran los medidores digitales que actualmente se utilizan, así como el dispositivo de sujeción del sensor. Figuras 2.3 Y 2.4



Fig. 2.3 Alineación manual del sensor con el uso del tubo flexible



Fig. 2.4 Tubo flexible utilizado como soporte, presenta daños en un extremo.

2.3 Implementación de un brazo mecánico como soporte de sensores.

La implementación de un brazo mecánico como soporte para sensores, aplicado en una mesa de calibración, deberá de beneficiar la alineación correcta, dicho soporte no se limita a la selección de una marca de medidor. Los sistemas de brazo mecánico, mejorara los tiempos de ejecución y al mismo tiempo se verá reflejado económicamente.

2.4 Componentes de una mesa de calibración de medidores digitales

Los componentes principales de una mesa de calibración son los siguientes:

- Medidor digital (Wattthorímetro)
- Equipo Patrón
- Sensores
- Mesa de trabajo

2.4.1 Medidor eléctrico digital

El Watthorímetro Electrónico Bifásico, CP-12-16S de tarjeta sin contacto, es un medidor de autogestión para usuarios domésticos de bajo consumo de energía eléctrica para dos fases forma 12S. Posee un registro electrónico con pantalla de cristal líquido (LCD). Ver Figura 2.5



Fig. 2.5 Watthorímetro Electrónico Polifásico marca **IUSA**, modelo CP-05-12S

Las dimensiones están ubicadas en la figura 2.6, donde se muestra cada uno de sus componentes

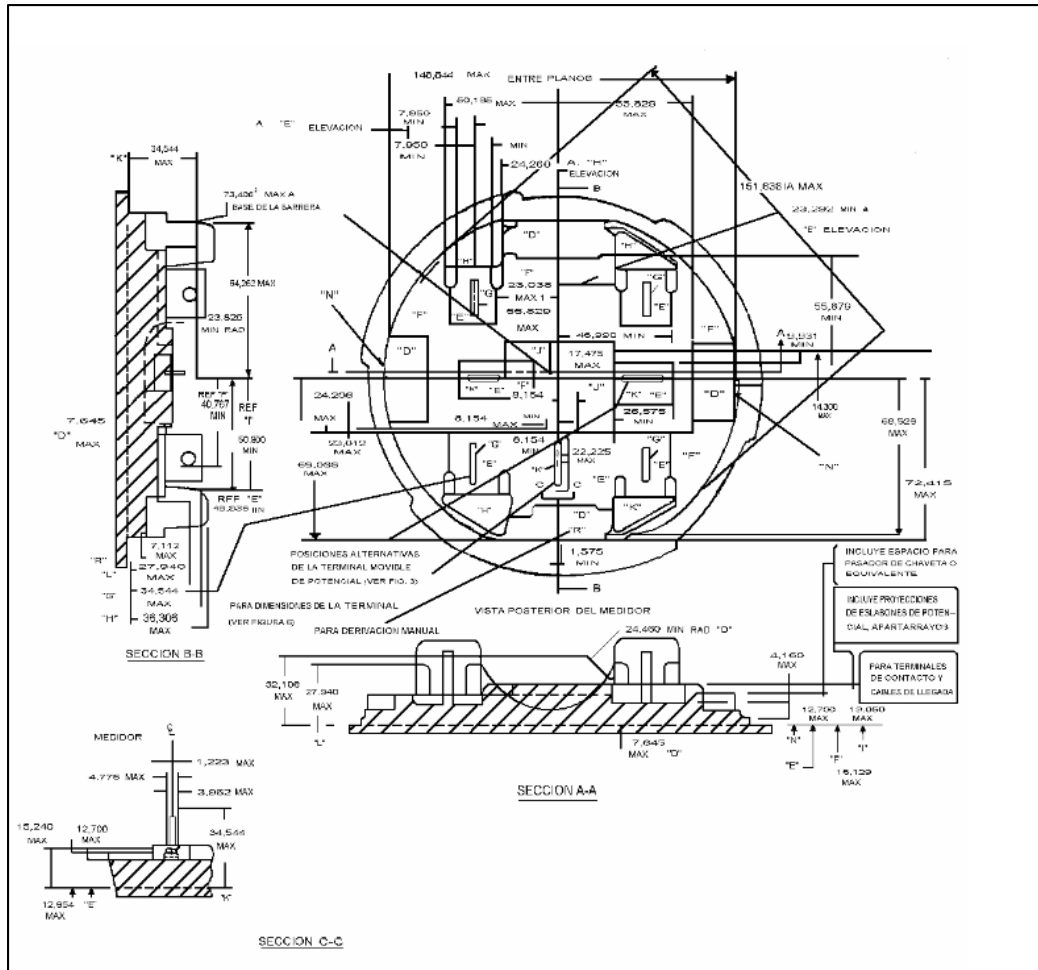


Fig. 2.6 Dimensiones del Watthorímetro

2.4.2 Equipo patrón.

El patrón Radian Research Modelo RD-20 es un dispositivo de calibración que hace la comparación de una medición de consumo eléctrico con respecto a un estándar previamente establecido como unidad patrón, Este patrón nos entrega con una gran precisión una equivalencia en Wh utilizando un tren de pulsos (Típicamente un pulso equivale a 0.00001W), por lo que ofrece una excelente precisión, requerida para la calibración de medidores de CFE. El tren de pulsos que sale del dispositivo se transmite al micro-controlador para su posterior uso en el cálculo del error. Ver Figura 2.7



Fig. 2.7 Patrón de medición de watt-hora Radian Research modelo RD-20

Las dimensiones del equipo son de .25 x .25 x .30 mts., teniendo un recubrimiento plástico de uso rudo para soportar la transportación y manejo sin sufrir daño alguno.

2.4.3 Sensores

La interface óptica PO-1108, está equipado con conector USB lo que le permite ser conectado a una computadora de escritorio o Laptop para descarga de datos y uso en laboratorio o en campo, la alimentación eléctrica de la interface se realiza a través de este conector y se toma directamente de la computadora, cuenta con un cable multiconductor de la más alta calidad y durabilidad en color negro, flexible, con longitud de 2 mts, la cubierta exterior es cilíndrica de 1.25" de largo y 1.125" de diámetro exterior, el material es polipropileno en color negro y todo se encuentra herméticamente sellado contra humedad y polvo, la forma del socket frontal es compatible con cualquier medidor tarifario conforme a ANSI C12.18-2006, la adhesión al medidor es magnética. Es compatible con medidores IUSA.

La velocidad de operación es ideal para trabajos de toma de lecturas en campo y programación en laboratorio. Ver figura 2.8.



Fig. 2.8 Sensor óptico marca PARMO modelo PO-1108.

2.4.4 Mesa de trabajo.

La mesa de trabajo está constituida principalmente de soportes de acero y una plancha de madera sólida, la cual está diseñada para soportar el suficiente peso de los equipos y aislar del suelo los equipos., tal como se muestra en la siguiente figura 2.9, también tiene la finalidad de ser duradera para evitar que se oxide o pierda estabilidad, tiene soportes que se pueden elevar para mantener la altura deseada para mejor ergonomía de trabajo.



Fig. 2.9 Mesa de madera con soporte en acero

2.5 Aplicación de normativas.

Se realizó la investigación de las normas que se aplicaron en el desarrollo de la tesis, con la finalidad de estandarizar, y asegurar la calidad en los sistemas de mecanismos que son utilizados por el brazo mecánico, disminuyendo la incertidumbre provocado por una mala alineación entre el sensor y el medidor de energía eléctrica.

2.5.1 Normas para diseño de mecanismos.

Se utilizó la norma ISO (Organización Internacional de Normalización), ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) y AGMA (Asociación Americana de Fabricantes de Engranajes), todo esto con la finalidad de estandarizar y asegurar que el resultado de dicha verificación sea correcta.

La norma ISO de tolerancias y ajuste. Parte 1: Base de tolerancias, desviaciones y ajustes. (ISO 286-1:1988). (Ref.18)

La cual hace referencia a lo siguiente:

La tolerancia admisible referida principalmente a las dimensiones de un elemento dado que debe fabricarse, también puede incluir a la forma y posición de las superficies que lo limitan, puesto que según las razones ya expuestas, la forma de una superficie mecanizada no será nunca absolutamente plana, cilíndrica, circular o esférica.

Por otra parte, aun cuando el mecanizado sea muy preciso, no es posible conseguir superficies perfectamente paralelas, perpendiculares o coaxiales entre sí. Por ejemplo, no es posible conseguir perpendicularidad perfecta entre caras adyacentes de un cubo, ya sea mecanizado a mano o a máquina, ni paralelismo perfecto entre sus caras

opuestas. Tampoco es posible obtener en un torno, y ni siquiera en una rectificadora, una pieza cilíndrica cuyas generatrices sean perfectamente paralelas entre sí.

Por consiguiente deberán admitirse:

- Tolerancias dimensionales
- Tolerancias geométricas de forma y de posición

Teniendo en cuenta además los errores inevitables en la medición de las piezas, las tolerancias citadas deben disminuirse a efectos de poder garantizar que todas las piezas obtenidas cumplan con las cotas del plano, y de ese modo pueda esperarse que su funcionamiento responda según lo previsto.

Los símbolos, designaciones y definiciones que emplearemos son los de las normas UNE 4024, 4026 y 5023, basadas en el sistema de tolerancias de la norma ISO 286 universalmente aceptado. Las definiciones se refieren al acoplamiento de piezas cilíndricas (ejes y agujeros), pero pueden aplicarse a elementos de cualquier otra forma.

La temperatura de referencia de las dimensiones es de 20 °C. Construcciones mecánicas. Ajustes (acoplamientos) Las construcciones mecánicas están generalmente compuestas por una cadena más o menos compleja de elementos acoplados, móviles o no, cada uno con respecto al sucesivo. Dicha cadena se inicia en el bastidor, o sostén de todos los mecanismos, y finaliza cerrándose sobre el mismo.

Los elementos acoplados más simples y comunes, son: un eje trabajando y su correspondiente alojamiento, es decir, un agujero. El acoplamiento será móvil, cuando exista entre eje y agujero un cierto espacio radial (juego), destinado a consentir el movimiento relativo de rotación, traslación, y además a contener la película lubricante.

Será forzado cuando el eje queda fijado al agujero mediante una fuerza que suprime el movimiento relativo entre ambos, quedando solidarios entre sí. Para que ello ocurra, el

diámetro del eje debe ser, antes de acoplarse, mayor que el del agujero (interferencia o aprieto). El montaje es posible en este caso, variando la temperatura de una o ambas piezas, o bien, debido a la deformación plástica y elástica de los dos elementos que se acoplan, y que sufren por consiguiente un engrane o trabazón mutua o permanente, creando en consecuencia un vínculo rígido.

Piezas ajustadas, son las acopladas entre sí, articuladas o no, formando ellas el llamado vínculo, y de acuerdo a las dimensiones de ambas piezas, habrá:

- Ajustes con juego cuando el eje es menor que el agujero.
- Ajustes con apriete, cuando el eje es mayor que el agujero, antes de ser montados.

El tipo de vinculación debe mantener sus características durante el trabajo variable del mecanismo que involucran, con cargas dinámicas variables o bruscas, variación en el número de revoluciones, variación en las propiedades del lubricante, cambios de temperatura, etc.

Los dos tipos de ajustes mencionados, se obtendrán estableciendo dos límites (máximo y mínimo) en las medidas de cada uno de los elementos a acoplarse, cuya magnitud debe prever el proyectista basándose en general en normas de ajuste o en ciertos casos en su propia experiencia.

La diferencia entre esos límites es la ya citada tolerancia de fabricación de cada elemento.

2.5.2 Diseño de Engranajes.

Los engranajes son juegos de ruedas que disponen de unos elementos salientes denominados “dientes”, que encajan entre sí, de manera que unas ruedas (las motrices) arrastran a las otras (las conducidas o arrastradas). (Ref.9)

Transmiten el movimiento circular a circular.

La condición para que las ruedas “engranen”, es decir, que puedan acoplarse y transmitir el movimiento correctamente, es que tengan los mismos parámetros o dimensiones en el diente.

Una rueda dentada transmite el movimiento a la contigua que se mueve en sentido opuesto al original.

Son sistemas muy robustos que permiten transmitir grandes potencias entre ejes próximos, paralelos, perpendiculares u oblicuos, según su diseño.

Ventajas, inconvenientes y aplicaciones.

Estos mecanismos presentan numerosas ventajas respecto a las correas y poleas, aunque también algunos inconvenientes.

Ventajas:

- Ocupan espacios muy reducidos.
- No tiene posibilidad de deslizamiento.
- Tiene una gran capacidad de transmisión de potencia.
- Poseen un elevado rendimiento.
- Tienen un bajo mantenimiento.

Inconvenientes:

- Son más costosos, más difíciles de fabricar.
- Producen bastante ruido en el proceso de transmisión.

Aplicaciones.

Su uso está muy extendido tanto en máquinas industriales, en automoción, en herramientas; así como también en objetos como electrodomésticos, juguetes,...

Partes.

En los engranajes se deben diferenciar las siguientes partes, que definen al propio engranaje y al diente:

Diente de un engranaje. Son los que efectúan el esfuerzo de empuje y transmiten la potencia desde el eje motriz al conducido. Tienen un perfil característico que se tiene en cuenta en su diseño y fabricación.

Circunferencia exterior. Es la circunferencia que limita la parte exterior del engranaje.

Circunferencia interior. Es la circunferencia que limita el pie del diente.

Circunferencia primitiva. Es la circunferencia a lo largo de la cual engranan los dientes.

En las siguientes imágenes se muestra la alineación de los dientes de los engranes. Ver figura 2.10

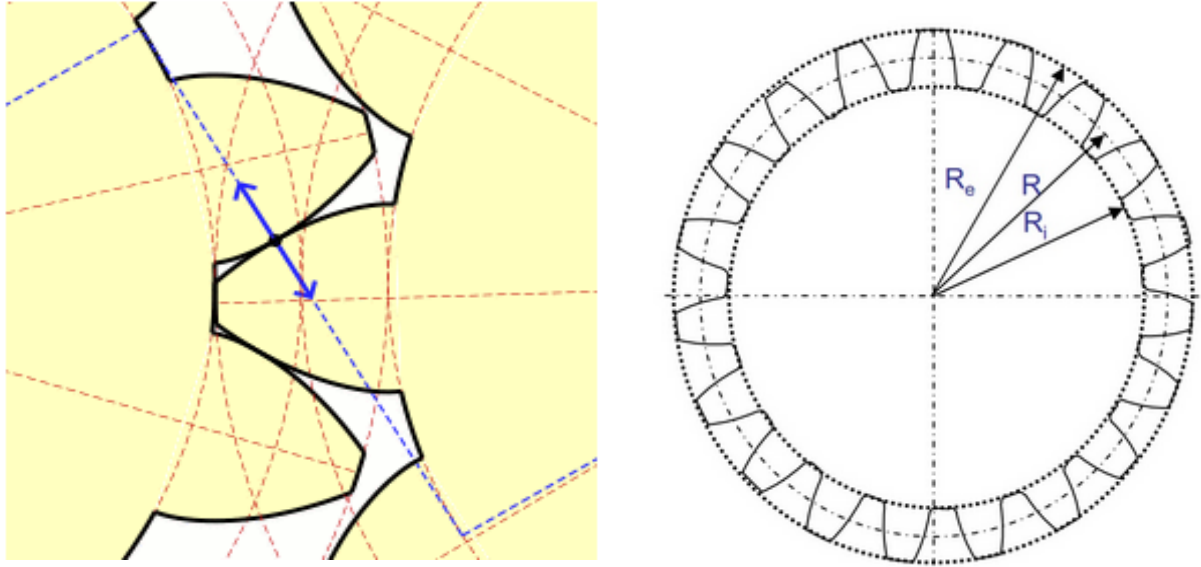
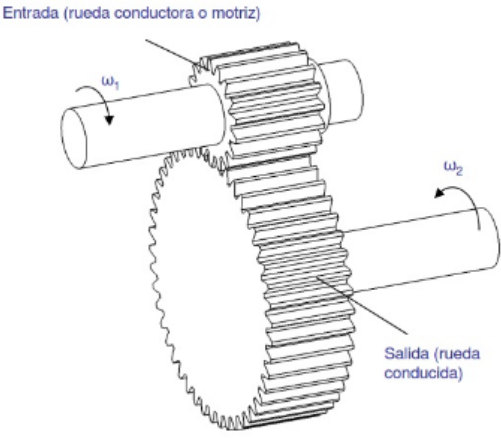
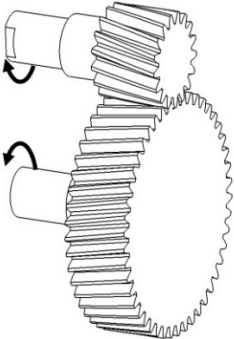
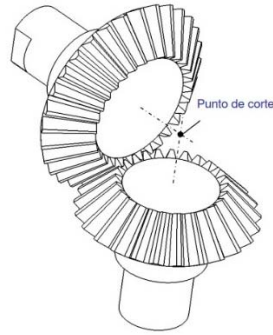


Fig. 2.10 alineación de los dientes de engranes

En la siguiente tabla se presentan los tipos de engranajes más utilizados. Ver tabla 2.1

Tabla 2.1 Tipos de engranes

<p>Engranajes rectos</p>	<p>Se utilizan en transmisiones de ejes paralelos. Son uno de los mecanismos más utilizados, y se encuentran en cualquier tipo de máquina: relojes, juguetes, máquinas herramientas, etc.</p>
	
<p>Engranajes Helicoidales.</p>	<p>Sus dientes están dispuestos siguiendo la trayectoria de hélices paralelas alrededor de un cilindro. Pueden transmitir movimiento (potencia) entre ejes paralelos o entre ejes que se cruzan en cualquier dirección (incluso perpendiculares). Este sistema de engrane de los dientes proporciona una marcha más suave que la de los engranajes rectos, ya que en el mismo instante hay varios pares de dientes en contacto, lo cual hace que se trate de un sistema más silencioso, con una transmisión de fuerza y de movimiento más uniforme y segura.</p>
	
<p>Engranajes Cónicos</p>	<p>Se emplean para transmitir movimiento entre ejes perpendiculares, o para ejes con ángulos distintos a 90 grados. Se trata de ruedas dentadas en forma de tronco de cono, y pueden ser rectos o curvos (hipoides), siendo estos últimos muy utilizados en sistemas de transmisión para automóviles.</p>



**Engranajes
exteriores**

Los dientes de ambas ruedas están tallados en la superficie exterior.



**Engranajes
interiores**

Los dientes de una de las ruedas están tallados en la parte interna.



2.6 Normas de materiales

Se utilizó la norma de ASTM A01 para materiales ferrosos, y la norma B02 para materiales no ferrosos, considerando que el diseño de la estructura de la mesa deberá de ser lo suficientemente fuerte para soportar la carga a la cual será sometido debido al peso que de los equipos que serán instalados de manera simulada en la mesa de calibración. (Ref.19)

Así mismo se utilizó la norma B02 de materiales no ferrosos, para el diseño y simulación de todos los componentes del brazo mecánico, con la finalidad de reducir el peso, y asegurar que la energía eléctrica no afecte el correcto funcionamiento de los sensores que serán montados en los brazos mecánicos.

Asegurando la correcta verificación y calibración de los medidores eléctricos digitales.

2.7 Normas de calibración de Watthorímetros.

Se realiza el análisis del medidor de energía eléctrica que mide y registra la integral, con respecto al tiempo de la potencia activa del circuito en el cual está conectado. Esta integral de la potencia es la energía consumida por el circuito durante el intervalo en el que se realiza la integración y la unidad en la que ésta es medida, convencionalmente es el kilowatt hora.(Ref. 17)

La norma oficial mexicana, **NOM-044-SCFI-2008**, Watthorímetros Definiciones, características y métodos de prueba, está considerada como la base para realizar las pruebas y las referencias de correctas para la adecuada verificación y certificación.

En el punto 3.9 denominado “Por ciento de error”

Hace mención lo siguiente:

Es la relación entre la diferencia de la energía eléctrica registrada por el Watthorímetro y el valor de energía eléctrica de referencia por el valor de energía eléctrica de referencia expresada en por ciento y que se obtiene por la fórmula siguiente:

$$\text{Por ciento de error} = \frac{\text{Energía registrada por el wattorímetro} - \text{Valor de Energía de Referencia}}{\text{Valor de Energía de Referencia}} \times 100$$

NOTA: El valor registrado por el Watthorímetro patrón es el valor de energía que se toma como referencia.

En los siguientes puntos de la norma en mención muestra la clasificación, y especificaciones generales para el montaje adecuado, los cuales se tomaran en cuenta para el diseño y simulación del brazo mecánico para la mesa de calibración de medidores digitales

Los wattorímetros objeto de la presente Norma Oficial Mexicana se clasifican de acuerdo a lo siguiente:

4.1 Por su forma de conexión:

Tipo "S"

4.2 Por sus corrientes básica y máxima. Ver tabla 4.2

Tabla 4.2 Valores mínimos y máximos de corriente de operación del medidor eléctrico

In (A)	I máx (A)	Tipo
15	100	S
30	200	S

4.3 *Por su tipo de registrador:*

- De manecillas;
- De indicación digital.

2.7.1 Especificaciones generales

Todos los wathorímetros a los cuales se les realizara las pruebas deben de estar en óptima condición si en caso de no estar así, se procederá a realizarse el reemplazo evitando así pérdida de tiempo en reparaciones y calibraciones.

2.7.2 Procedimiento de prueba de Wathorímetro

1.- Montaje.

Para realizar las pruebas los wathorímetros deben montarse con la cubierta y el registrador colocados, a menos que se especifique lo contrario en alguna prueba.

Debe contarse con una mesa de pruebas con soportes y accesorios para fijar los wathorímetros en la posición de prueba.

2.- Acondicionamiento.

Antes de iniciar cualquier ciclo de prueba, los wathhorímetros deben permanecer durante una hora a la tensión y frecuencia nominales. En las pruebas que involucren la verificación de varios puntos o condiciones, el Wathhorímetro debe permanecer en la nueva condición durante 10 min. Antes de realizar las determinaciones del error.

3.- Condiciones de referencia.

- a) Temperatura ambiente: $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
- b) Posición de operación: La que corresponda, con una tolerancia de $\pm 0,5^{\circ}$ referido al eje del disco
- c) Tensión: La que corresponda, con una tolerancia de $\pm 1\%$
- d) Frecuencia: La que corresponda, con una tolerancia de $\pm 0,5$ Hz
- e) Factor de distorsión en la forma de onda senoidal de tensión y corriente: No mayor de 3%
- f) Factor de Potencia: El que corresponda, con una tolerancia en su ángulo correspondiente de $\pm 2^{\circ}$ eléctricos.
- g) Corriente de prueba: La que corresponda, con una tolerancia de $\pm 1\%$
- h) Inducción magnética de referencia de origen externo, que no cause una variación en el error mayor de $\pm 0,3\%$.

Para cumplir con esta condición, es necesario verificar los errores del Wathhorímetro, primero conectado éste en forma normal a la fuente y posteriormente invirtiendo las conexiones de la alimentación, tanto al circuito de corriente como al de tensión. La mitad de la diferencia entre los dos errores es el valor de la variación del error. Puesto que se desconoce la fase del campo externo, la prueba debe realizarse con 0,1 de corriente

básica y factor de potencia unitario y 0,2 de corriente básica con factor de potencia 0,5 atrasado.

i) Humedad relativa $50\% \pm 15\%$.

j) Debido a posibles errores en las mediciones y en los patrones empleados, debe aplicarse una tolerancia a los límites especificados de desviación en por ciento, para cualquier prueba que involucre una determinación de exactitud de un Watthorímetro.

Un Watthorímetro debe ser considerado dentro de los límites permitidos si la desviación de las mediciones no excede la desviación máxima especificada con respecto a la referencia en 0,1%, o en una décima de la máxima desviación establecida, lo que sea mayor. El punto de referencia deberá ser lo más cercano posible a un error de cero y en ningún caso el error deberá exceder el 0,5%.

4.-Incertidumbre de la medición.

La exactitud de los equipos e instrumentos utilizados en la realización de las pruebas, deben ser tales que la incertidumbre de la medición no sea mayor de 0,3% calculada conforme a lo establecido en la NMX-CH-140-2002-IMNC.

La temperatura ambiente durante la realización de cada prueba debe registrarse con un termómetro con alcance de medición de 0 a 50°C con resolución mínima de 1°C.

La humedad relativa del ambiente, durante la realización de cada prueba, debe registrarse con un higrómetro con alcance de 20 a 100% con una resolución mínima de $\pm 1\%$.

5.- Conexiones de los wathhorímetros.

Cuando se prueban varios wathhorímetros simultáneamente, o al probar wathhorímetros que contengan más de una bobina de corriente y/o tensión, se deben conectar sus circuitos de corriente en serie y sus circuitos de tensión en paralelo de tal forma que todos los circuitos queden energizados, a menos que se especifique otra cosa.

6.-Determinación del error de los wathhorímetros

La determinación del error de los wathhorímetros se realiza por el método de comparación con un Wathhorímetro patrón. Este método consiste en conectar el Wathhorímetro de prueba y el Wathhorímetro patrón, a un circuito de carga de potencia constante y medir simultáneamente el número de revoluciones del rotor de ambos. El error del Wathhorímetro se obtiene mediante la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de error} = \left[\frac{K_h \cdot N - K_p \cdot n \cdot R_{tc} \cdot R_{tp} \cdot c}{K_p \cdot n \cdot R_{tc} \cdot R_{tp} \cdot c} \right] \cdot 100$$

Dónde:

K_h : Es la constante del Wathhorímetro bajo prueba.

K_p : Es la constante del Wathhorímetro patrón.

N : Es el número de revoluciones del Wathhorímetro bajo prueba.

n : Es el número de revoluciones del Wathhorímetro patrón.

R_{tc} : Es la relación del transformador de corriente del patrón.

R_{tp} : Es la relación del transformador de potencial del patrón.

c : Es la cantidad de bobinas de corriente energizadas del Wathhorímetro bajo prueba.

NOTAS: Cuando no se use transformador de corriente y/o potencial.

$R_{tc} = 1$ y/o $R_{tp} = 1$

Todos los aparatos y equipos indicados en los diagramas, así como el arreglo y disposición de los circuitos de prueba, se mencionan a nivel de recomendación debido a la diversidad de circuitos y elementos que pueden ser utilizados para realizar las pruebas.

Los instrumentos de medición que se usen en las pruebas deben contar con dictámenes de calibración vigentes expedidos por laboratorios de calibración acreditados y, en sus casos aprobados.

La fórmula indicada en este inciso, para el por ciento de error, es equivalente a la indicada en el inciso **3.39**.

2.8 Dimensiones de estructura de mesa de calibración

Se tuvo en cuenta las dimensiones de cada uno de los componentes que tendrá en su interior la mesa así como el peso total que debe de soportar la estructura, por lo tanto esta debe de tener

2.9 Bases matemáticas.

Los esfuerzos se calculan mediante la aplicación de las ecuaciones de equilibrio (suma de fuerzas igual a cero y suma de momentos igual a cero). Aunque el cálculo de las reacciones que garanticen el reposo es fundamental, éste es solo el primer paso en el proceso de análisis y diseño que en cada situación llevará a la definición del tipo de material, de la forma y de las dimensiones que harán que las estructuras sean seguras y funcionales. (Ref.1)

Seguras quiere decir que no se rompan.

Funcionales quiere decir que no se deformen excesivamente afectando el servicio que prestan. Estas dos condiciones, **resistencia** y **rigidez** deberán asegurarse para que las estructuras cumplan su fin.

Es claro que en las situaciones mostradas a continuación las estructuras pueden romperse o deformarse excesivamente. Ver figura 2.11

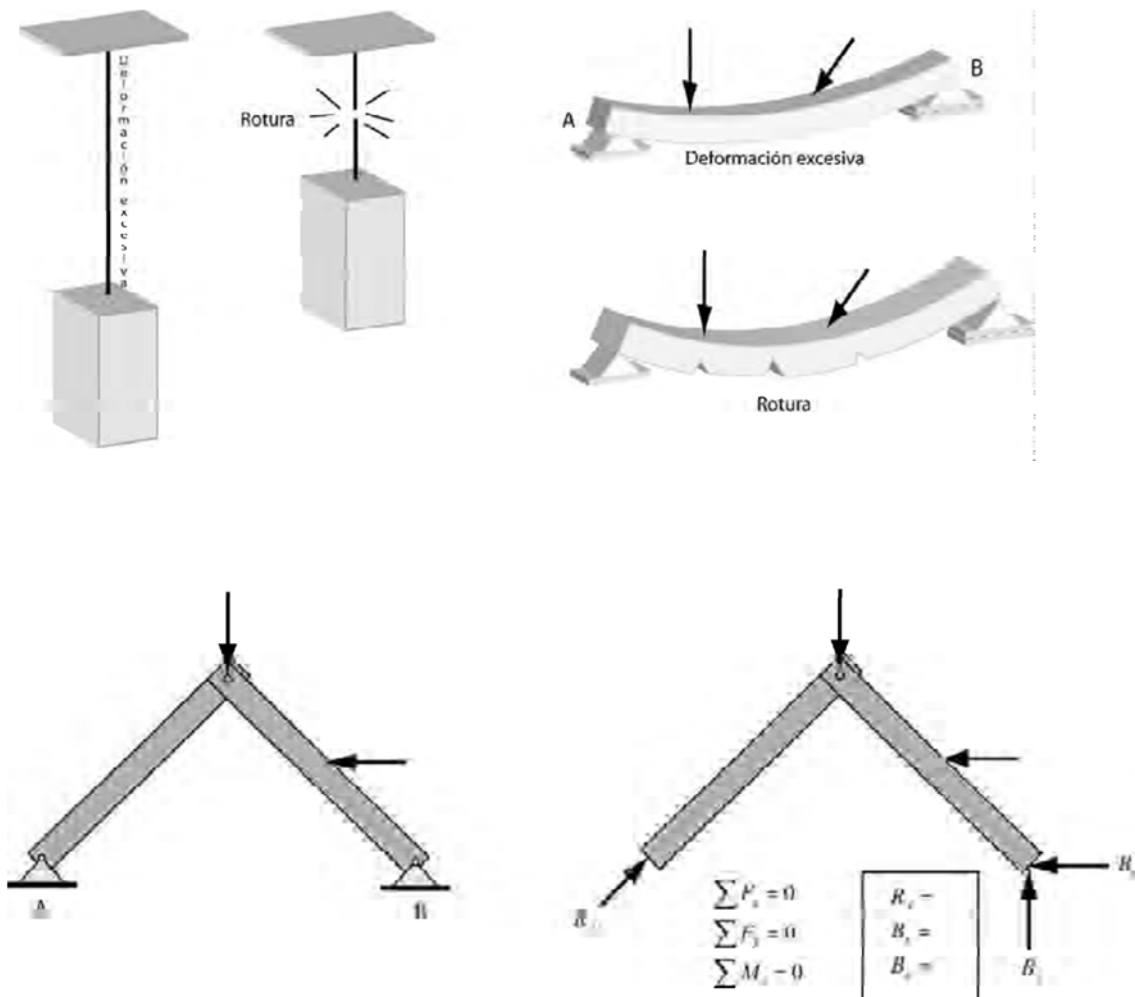


Fig. 2.11 Diferentes reacciones a esfuerzos

Como puede verse, cualquiera de las dos situaciones (*Deformación excesiva* o *Rotura*) es inadmisibles.

De esto trata la *resistencia de materiales*. Debemos ser capaces de garantizar que las estructuras a construir no se deformen excesivamente y que no se fracturen.

Para hacerlo, es necesario que sepamos calcular las fuerzas internas que se producen en los elementos estructurales y que son en últimas las que producirán las deformaciones y la rotura.

En general podemos afirmar que una fuerza interna produce un esfuerzo actuante que trata de romper el elemento. Que se rompa depende del esfuerzo resistente que tenga el elemento el cual dependerá del material y de sus dimensiones transversales.

Debe por tanto determinarse primero que todo si el elemento en estudio está sometido a fuerzas axiales, transversales (en cuyo caso se producirá flexión), momentos torsionales (torsión) o una combinación de algunos de ellos. Ver figura 2.12

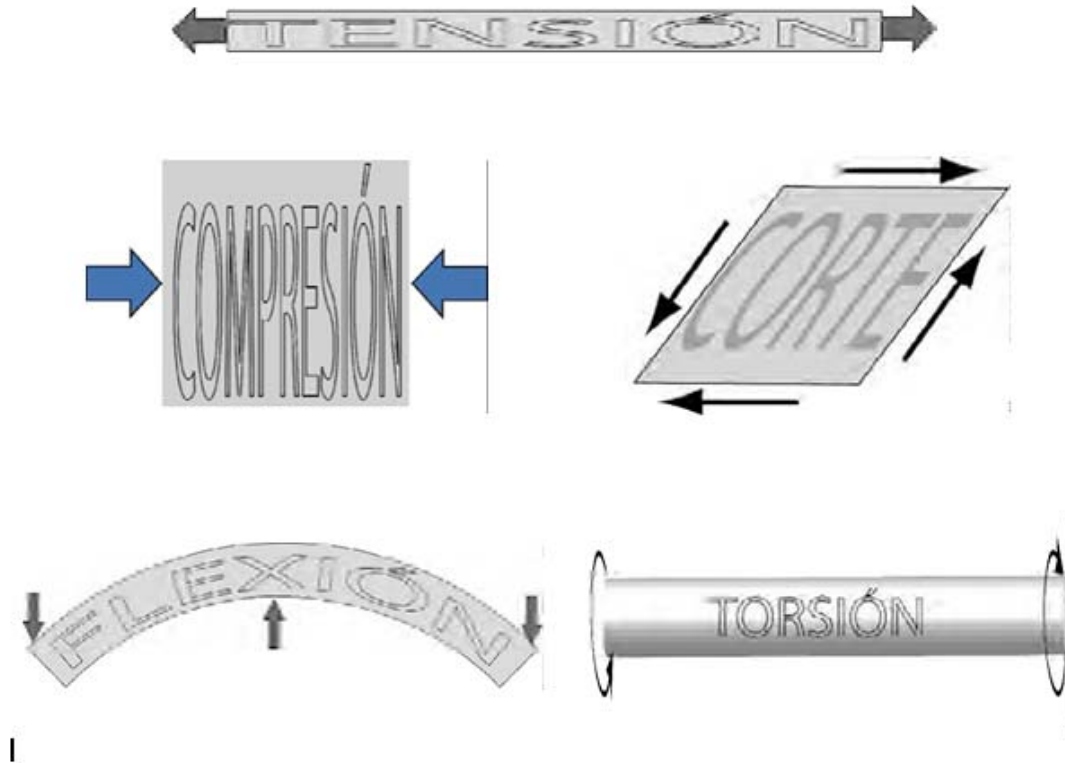


Fig. 2.12 esfuerzos aplicados

2.9.1 Ley de Hooke

La famosa Ley que relaciona fuerzas y deformaciones. Con un sencillo dispositivo en el cual a un plato se le van agregando pesos y se van midiendo las deformaciones producidas progresivamente en el resorte encontró una proporcionalidad directa entre los pesos aplicados y las deformaciones.(Ref.8)

A partir de un ensayo en el laboratorio puede graficarse la variación de la Fuerza contra la Deformación total: ver figura 2.13

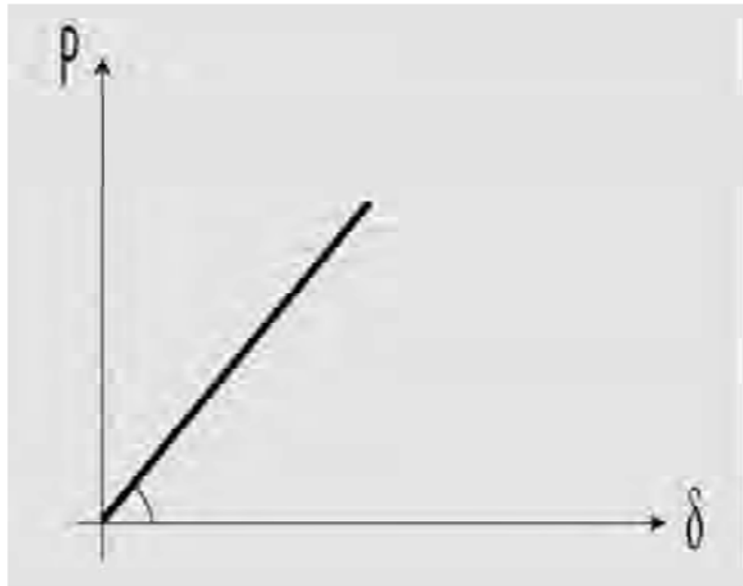


Fig. 2.13 Grafica de esfuerzo y deformación

Ley establecida originalmente por Hooke: $P = k\delta$

Sin embargo, para estudiar las propiedades de un material, deben relacionarse cantidades unitarias (esfuerzo s y deformación unitaria e) de tal manera que en la ley queden obviadas el área y la longitud de la probeta ensayada. Ver figura 2.14

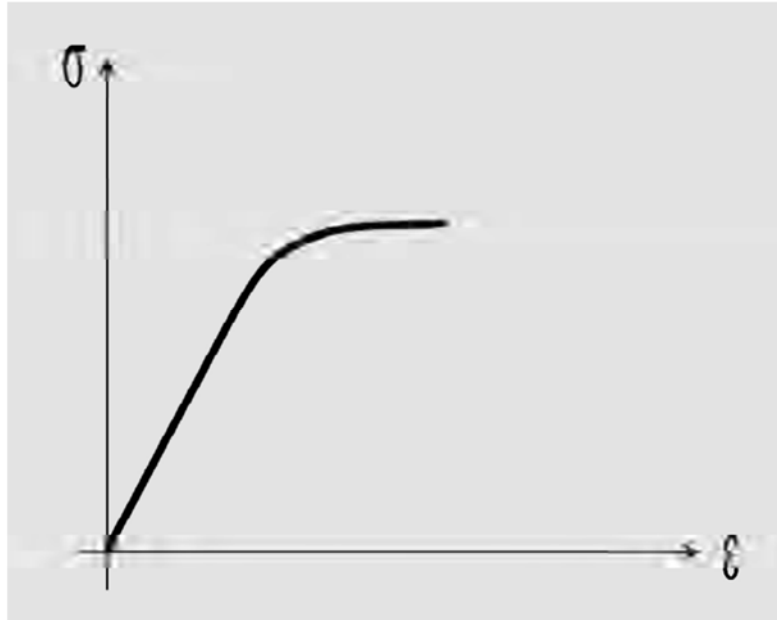


Fig. 2.14 esfuerzo de y deformación unitaria

Como se ve en la figura, a medida que aumenta el esfuerzo se incrementa la deformación unitaria del material que se está ensayando, pudiendo de esta forma obtenerse las propiedades mecánicas de los materiales a partir de esta Gráfica Esfuerzo-Deformación. Ver figura 2.15

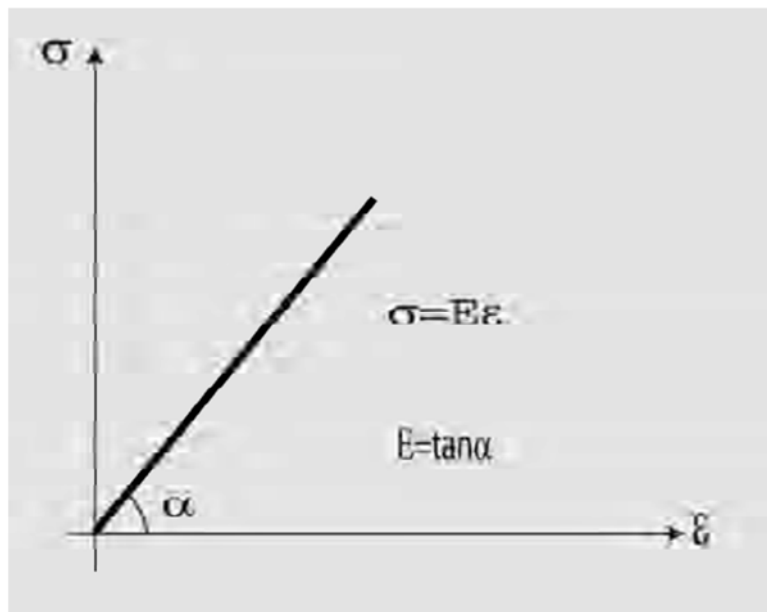


Fig. 2.15 Grafica de esfuerzo y deformación en incremento

Si escribimos la ecuación de la recta obtendremos la expresión actual de la Ley de Hooke:

$$\sigma = E\varepsilon$$

Siendo **E**, la pendiente de la recta. Este valor que es característico de cada material se conoce como el módulo de elasticidad o módulo de Young del material y nos dice que tan rígido es un material.

La rigidez, la resistencia y la ductilidad son propiedades mecánicas de los materiales:
Ver figura 2.16

Rigidez: Capacidad de oponerse a las deformaciones

Resistencia: Capacidad de oponerse a la rotura

Ductilidad: Capacidad de deformarse antes de romperse.

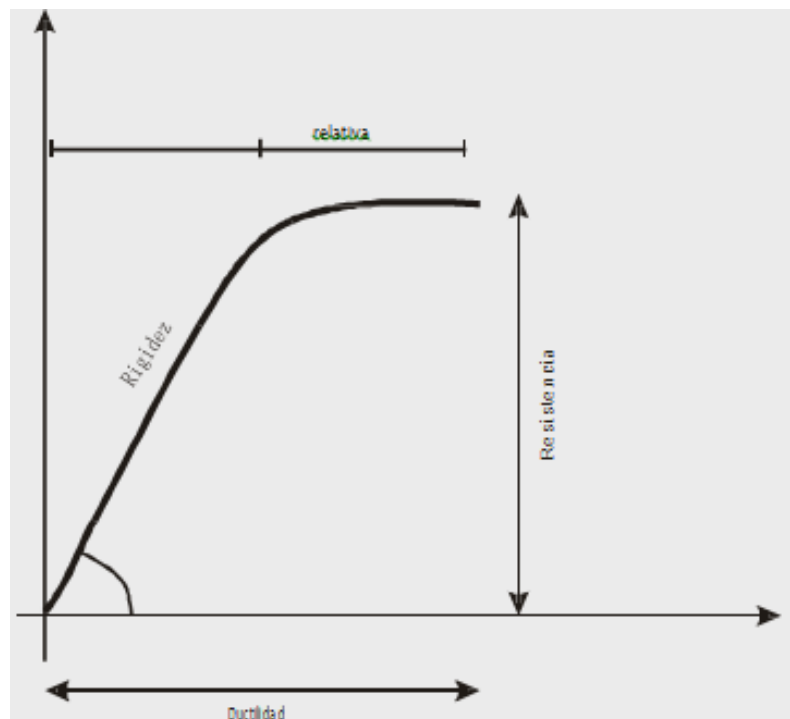


Fig. 2.16 Grafica de rigidez, resistencia y ductilidad

A partir de la Ley de Hooke puede calcularse la **deformación total** que sufrirá un elemento sometido a fuerza axial.

Según la Ley de Hooke:

$$\sigma = E\varepsilon$$

$$\frac{P}{A} = E \frac{\delta}{L}$$

$$\delta = \frac{PL}{AE}$$

Con esta expresión puede calcularse la deformación conociendo la carga **P** la longitud de la barra **L**, la sección transversal **A** y el módulo de elasticidad **E** (en la zona elástica). Ver tabla 2.2.

Tabla 2.2 Lista de materiales y su resistencia

Material	GPa	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
Acero	200	2.1 x 10 ⁶	30 x 10 ⁶
Aluminio	70	0.7 x 10 ⁶	10 x 10 ⁶
Cobre	110	1.2 x 10 ⁶	17 x 10 ⁶
Concreto	17-31	0.18 x 10 ⁶ - 0.32 x 10 ⁶	2.5 x 10 ⁶ - 4.5 x 10 ⁶
Madera	11-14	0.11 x 10 ⁶ - 0.14 x 10 ⁶	1.6 x 10 ⁶ - 2.0 x 10 ⁶

La ingeniería no es una ciencia exacta. Tanto en el cálculo de las estructuras como en la previsión de las cargas que actuarán sobre ellas, los ingenieros están expuestos a incertidumbres de distinto tipo que hacen que deban tomar previsiones que garanticen con una alta probabilidad que no se producirán fallas. Estas previsiones se denominan factores de seguridad.(Ref.6)

Las incertidumbres que se presentan se deben a los siguientes factores:

Incertidumbre en las cargas a considerar: A pesar de todos los estudios estadísticos que se hagan para determinar las cargas máximas que actuarán sobre una estructura durante su vida útil, nunca será posible hacerlo con total exactitud. Pensemos en los casos de los camiones sobre los puentes o en las cargas máximas producidas por sismos y entenderemos cuan incierta es la determinación de sus efectos máximos.

Incertidumbre en las propiedades mecánicas de los materiales: Se calculan a partir de análisis estadísticos de los resultados de ensayos practicados a muestras de los materiales que se emplearán en la construcción de estructuras. Es obvio que los propios materiales con los cuales se construyen las estructuras no se ensayan para cada construcción. Por lo tanto en este caso también se tienen aproximaciones derivadas de los métodos estadísticos empleados y de los procedimientos de los ensayos de laboratorio utilizados.

Incertidumbre en las dimensiones de los elementos estructurales: Es muy difícil garantizar que las dimensiones con que se construyen los elementos de una estructura sean exactamente iguales a los especificados en los planos arquitectónicos y estructurales. Debido a las imprecisiones en los procesos constructivos se introducen incertidumbres que deben ser cubiertas por los factores de seguridad.

Incertidumbre en la precisión de los cálculos: En los métodos de cálculo de estructura se hacen suposiciones que simplifiquen el análisis y disminuyan los tiempos del análisis. Esto obviamente tiene un costo en el sentido de que los modelos matemáticos empleados no siempre representan de manera exacta la manera como se comportará la estructura en la realidad.

Por la relación presentada la ingeniería emplea factores de seguridad. Hay varios enfoques para definir estos factores:

Esfuerzos admisibles: Se calcula dividiendo el esfuerzo que resiste el material por el factor de seguridad (mayor que 1), de tal manera que aunque uno "sabe" que el material tiene una resistencia dada lo "pone a trabajar" a un esfuerzo menor (el esfuerzo admisible).

$$\sigma_{admisible} = \frac{\sigma_{resistente MATERIAL}}{F.S.}$$

Métodos probabilísticos: la seguridad se relaciona con la probabilidad de falla de la estructura: mientras más baja sea esta probabilidad, más alto será el factor de seguridad.

Diseño por estados límite: A través de los códigos de estructuras de los diferentes países se definen los aspectos de seguridad de las estructuras a diseñar. La idea consiste en considerar que como una estructura puede colapsar o puede deformarse excesivamente o tener grandes vibraciones, el diseñador debe considerar los límites para los cuales la estructura se hace inaceptable desde los tres puntos de vista y garantizar que esos límites no serán superados.

Esfuerzos cortantes

No en todas las ocasiones los elementos estructurales son tensionados o comprimidos por las fuerzas externas que actúan sobre ellos. En muchas ocasiones un elemento está tratando de ser cortado. Ver figuras 2.17, 2.18 y 2.19

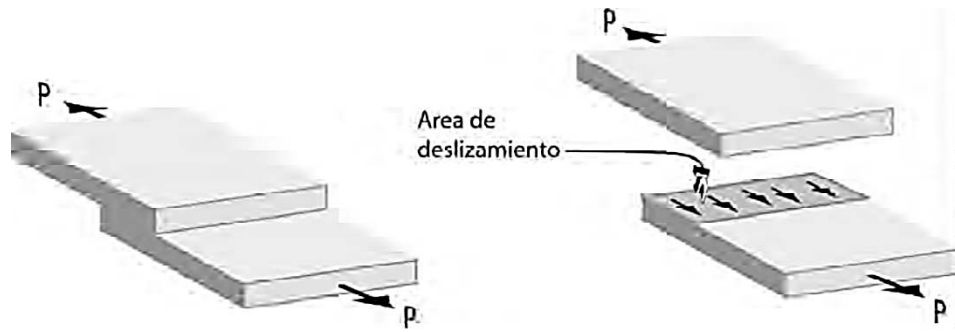


Fig. 2.17. Esfuerzos cortantes sobre un material

En este caso, las dos platinas están intentando ser cortadas a lo largo del área transversal que las une, la cual es paralela a la fuerza P que está siendo aplicada.



Fig. 2.18 Detalle de la base del edificio de la foto anterior (los pernos están sometidos a corte)



Fig. 2.19 Pernos sometidos a corte. Universidad nacional de Colombia sede Manizales, campus la Nubia, 2004

Se define el Esfuerzo cortante o de cizalladura como:

$$\tau = \frac{V}{A}$$

Las unidades son las mismas del esfuerzo normal:

$$\tau = \frac{P}{A} \quad \frac{Kg}{cm^2} \quad \frac{lb}{in^2} :psi \quad \frac{N}{m^2} :Pascal$$

Al producirse una distorsión como la que se ve en la figura, la deformación está dada por la variación angular que sufre el elemento al ser deformado por el esfuerzo cortante. Ver figura 2.20

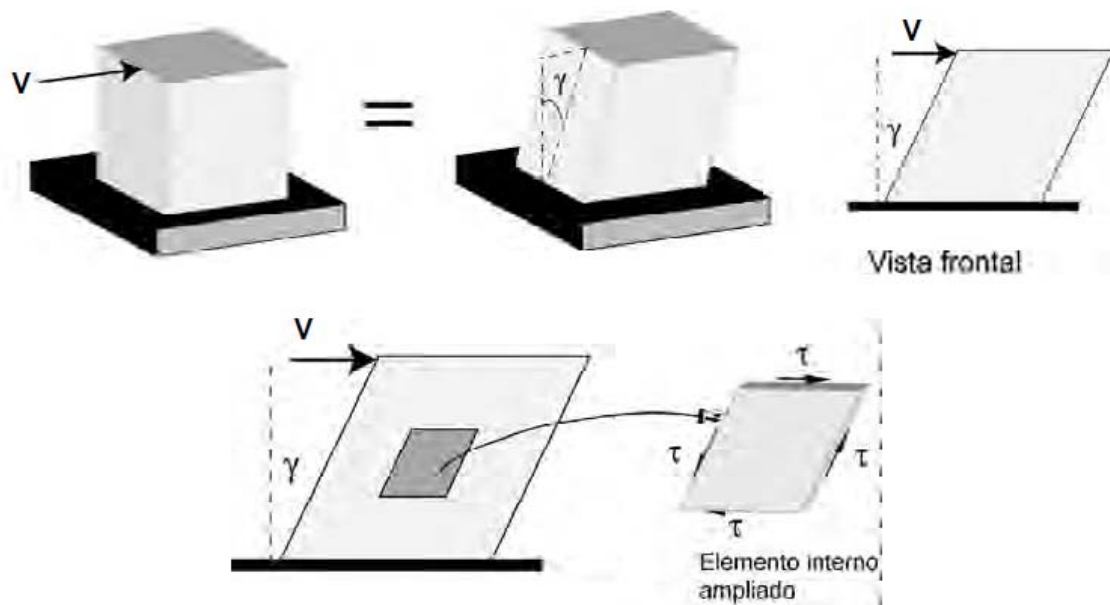


Fig. 2.20 Deformación por cortante

En el rango elástico lineal del material se ha encontrado relación directa entre los esfuerzos cortantes y las deformaciones angulares sufridas por el elemento. Ver figura 2.21

$$\tau = G\gamma$$

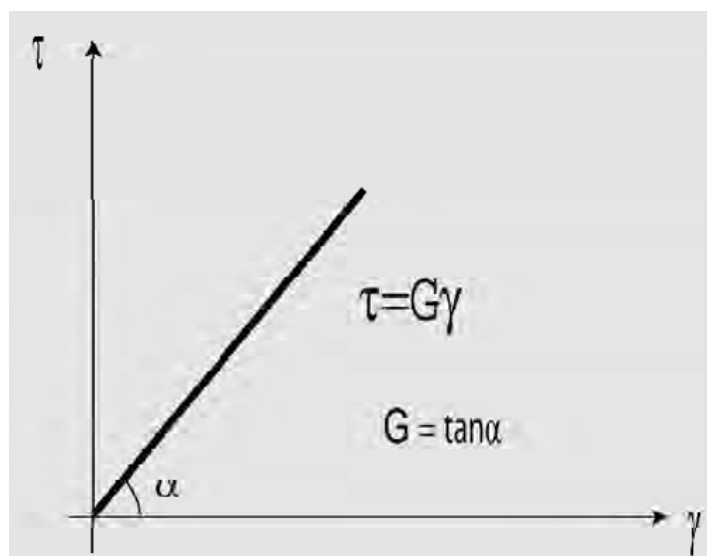


Fig. 2.21 Esfuerzos cortantes y deformaciones angulares.

Siendo **G** el módulo cortante o de rigidez del material

La siguiente tabla muestra algunos esfuerzos a la cortante, Tabla 2.3

Tabla 2.3 Materiales y sus esfuerzos cortantes

Material	GPa	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
Acero	77	0.77×10^6	11×10^6
Aluminio	28	0.28×10^6	4×10^6
Bronce	36-44	$0.31 \times 10^6 - 0.44 \times 10^6$	$5.2 \times 10^6 - 6.3 \times 10^6$
Cobre	40-47	$0.41 \times 10^6 - 0.48 \times 10^6$	$5.8 \times 10^6 - 6.8 \times 10^6$



Fig. 2.22 Configuración de elemento para soportar los esfuerzos cortantes.

En este caso, el corte se resiste a través de 2 áreas. Ver imagen 2.22 Por lo tanto:

$$\tau = \frac{V}{2A}$$

2.9.2 Ley de Poisson

Cuando a un elemento se le produce un alargamiento en una dirección dada, automáticamente se genera un acortamiento en la dirección perpendicular o viceversa.

Deducida por el francés **Simeón Denis Poisson** (1781-1840) quien encontró que la relación entre la deformación unitaria transversal y la longitudinal era constante para cada material, denominándose por tanto esta constante, Relación de Poisson. Ver figura 2.23. (Ref.6)

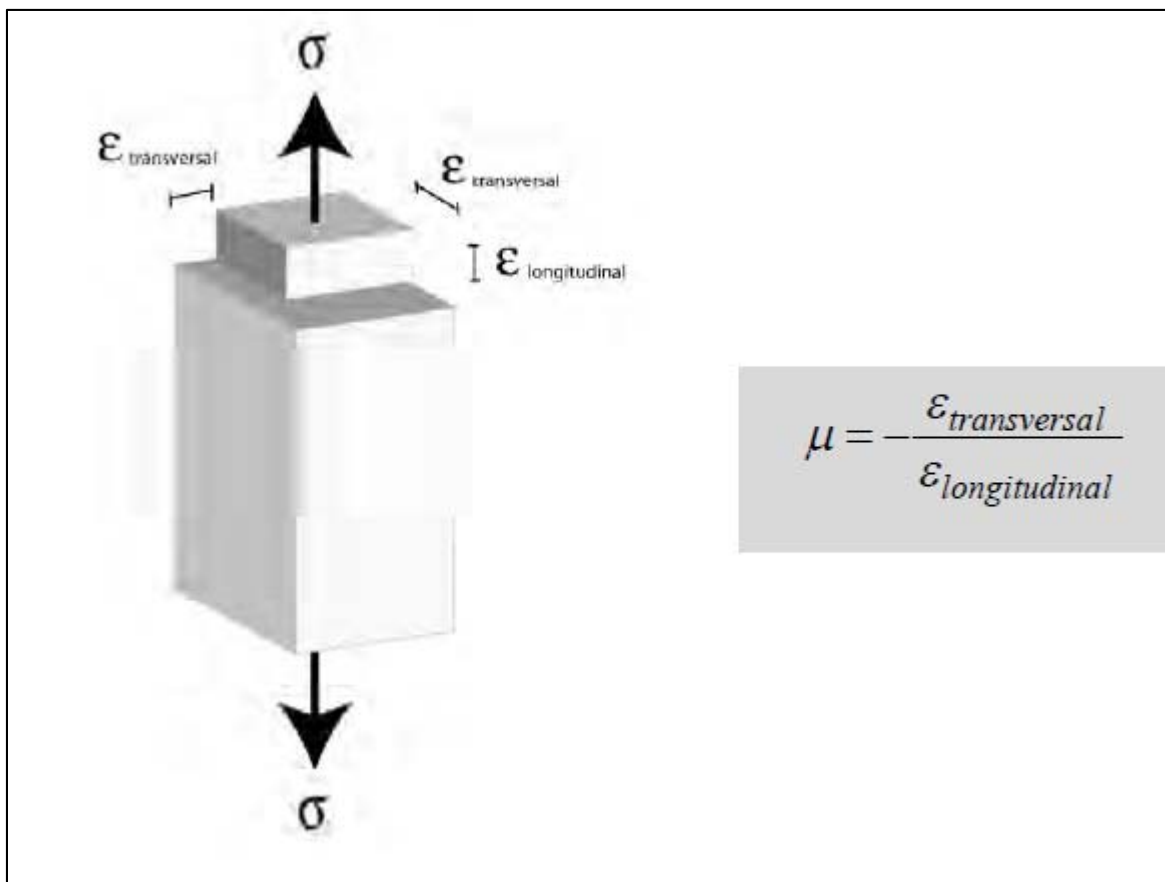


Fig. 2.23 Relación de Poisson demostración sobre un material

El signo menos indica que a un alargamiento en un sentido corresponde un acortamiento en el otro y viceversa.

Valores de la relación de Poisson para diferentes materiales. Ver tabla 4

Tabla 2.4 Relación de Poisson en diferentes materiales

Material	Relación de Poisson μ
Corcho	0.0
Concreto	0.1 – 0.2
Acero	0.27 – 0.30
Caucho	0.47

$$0 \leq \mu \leq 0,5$$

2.9.3 Módulo de elasticidad

Las deformaciones de un cuerpo se refieren al cambio relativo de sus dimensiones o forma. Esta deformación es función de las propiedades moleculares del material e independiente de sus dimensiones específicas. La deformación de un cuerpo es el resultado de un esfuerzo aplicado. El esfuerzo se define como la fuerza por unidad de área.(Ref.8)

La deformación que un objeto elástico sufre es proporcional al esfuerzo fuerza aplicada y, cuando se quita esa fuerza, el objeto tiende a regresar a sus dimensiones originales. Sin embargo, todas las sustancias tienen un límite elástico después del cual ya no regresan a las dimensiones originales. Si la fuerza sigue aumentando después de este punto, el material o sustancia eventualmente se rompe o fractura. La fuerza en este punto se conoce como esfuerzo de ruptura o rompimiento.

Cuando se aplica un esfuerzo longitudinal (de tensión o compresión) a un cuerpo elástico, el módulo que relaciona al esfuerzo y la deformación se denomina Módulo de Young. Este es un valor constante para cada material y es expresado en unidades de la fuerza por unidad de masa $\frac{N}{m^2}$ o pascales (Pa) así el módulo de Young se define como:

$$Y = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L_0}}$$

Donde F es la fuerza aplicada para deformar un objeto, A es el área sobre la cual actúa, ΔL es el cambio longitudinal experimentado y L_0 es la longitud inicial del cuerpo. En general, se ha establecido que la ley de Hooke se cumple mientras $\Delta L \ll L$.

Cuando es un esfuerzo de corte o cizalla el que se aplica, el módulo de elasticidad recibe el nombre de Módulo de Cizalla. Dicho módulo tiene las mismas unidades que el Módulo de Young. A diferencia de los esfuerzos longitudinales, al aplicar un esfuerzo de cizalla se tiene que el cuerpo cambia de forma pero no de dimensiones. Se define como:

$$S = \frac{E}{\varphi} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{d}{L}}$$

Donde d es la distancia que se deformó y $\varphi=d/L$ es el ángulo de deformación. Ver figura 2.24

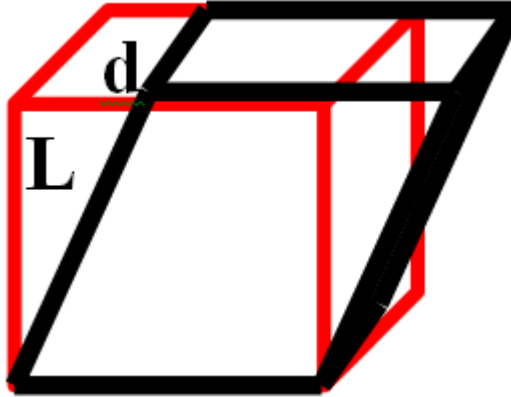


Fig. 2.24. Esquema de la deformación producida por un esfuerzo de cizalla

2.9.4 Torsión

El problema de torsión simple se presenta muy pocas veces, ya que en general aparece la torsión combinada con flexión y corte. Sin embargo, lo que estudiaremos es totalmente general, dado que aplicando el principio de superposición de efectos, a partir del problema de torsión simple puede llegarse a otros casos de torsión compuesta. (Ref.5)

Sección circular

Para esta sección es válida la hipótesis de Coulomb, la cual se verifica experimentalmente tanto en el caso de secciones circulares macizas como huecas. La hipótesis referida establece que las secciones normales al eje de la pieza permanecen planas y paralelas a sí misma luego de la deformación por torsión. Además, luego de la deformación, las secciones mantienen su forma.

Como consecuencia de lo enunciado resulta que las secciones tienen rotaciones relativas, de modo que las rectas trazadas sobre ellas continúan siendo rectas y los ángulos mantienen su medida. Por otro lado, las generatrices rectilíneas de la superficie lateral del cilindro se transforman en hélices.

A partir de las consideraciones anteriores, que están relacionadas con la compatibilidad de las deformaciones, deseamos saber qué tipo de tensiones genera la torsión simple y cuales su distribución. Supongamos en primera instancia que aparecen tensiones normales σ . Su distribución no podría ser uniforme ya que de ser así existiría una resultante normal a la sección. Al distribuirse entonces en forma variable, según la Ley de Hooke, las deformaciones específicas ϵ variarían también punto a punto, y la sección no continuaría siendo normal al eje, no siendo válida la hipótesis de Coulomb, que indica que la sección se mantiene plana.

En virtud de lo anterior sólo resta considerar que en el problema de torsión aparecen únicamente tensiones tangenciales.

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA

Como el trabajo de la tesis consiste en el diseño de un brazo para soportar un elemento de calibración de medidores eléctricos digitales. Se llevó a cabo el reconocimiento de los tipos de medidores, para posteriormente saber qué tipo de calibrador es el que se utilizara para a calibración, esto implica conocer la posición de este respecto al medidor.

3.1 Verificación de los medidores utilizados por la Comisión Federal de Electricidad.

Se realizó la verificación de los diferentes medidores de energía eléctrica digitales utilizados por la Comisión Federal de Electricidad, Actualmente son 2 modelos ambos de la marca IUSA® y son los siguientes: CP-12-1S y CP-12-16S, tal como se muestra en las siguientes figuras 3.1 y 3.2



Fig. 3.1 Medidor modelo CP-12-1S



Fig. 3.2 Medidor modelo CP-12-16S

Estos medidores son residenciales y de comercio con un voltaje 110v y 220v, ambos manejan el pulsador (Led indicador).

Por lo tanto la referencia de alineación del medidor con el calibrador prácticamente estará en la misma posición. Ya que solo varía el voltaje.

3.2 Verificación de las normas estándar.

Así mismo se realizó la investigación de las normas utilizadas durante esta tesis, las cuales fueron descritas con anterioridad, en este caso solo se hará específico el uso de las normas y como afectara sobre el diseño y simulación del brazo.

3.2.1 Norma de materiales.

Los materiales que serán utilizados para el diseño y simulación del brazo está basado en la norma ASTM B02, la cual se refiere a los materiales no ferrosos, cabe mencionar que la idea de haber utilizado esta norma es que el material estructural no debe de ejercer un peso extra y sobre todo generar una interferencia al momento de realizar una calibración.(Ref.19)

Aunque se hizo la comparativa de materiales tales como el cuadrado "PTR" el cual está construido de acero, este representa un gran peso extra en el brazo y en la totalidad de la mesa de calibración, así mismo por cuestión de durabilidad y bajo soporte a la corrosión esta opción se deshecho.

El material propuesto fue aluminio anodizado "6063" temple 6, el cual es fabricado para uso de estructuras de alta resistencia, con la diferencia de manejar un peso mínimo. Y con una de las ventajas principales que es la durabilidad y firmeza de la estructura así como anticorrosiva.

Este material es más económico y tiene un diseño ya establecido el cual sirve para poder realizar los elementos estructurales del brazo. Ver figura 3.3



Fig. 3.3 Perfil de aluminio estructural anodizado.

3.3 Posicionamiento del sensor.

Después de haber obtenido la información correspondiente a los diferentes modelos existentes de medidores utilizados por la Comisión Federal de Electricidad así como las normas y materiales que serán utilizados en el modelado y simulación del brazo se procede a identificar la posición de alineación del sensor con el Watthorímetro. El cual debe de ser en un ángulo recto, aunque gracias a los nuevos sensores este puede tener la capacidad de realizar la calibración aunque tenga un ángulo de grados aproximado a los ± 10 grados. Ver la siguiente figura 3.4

Alineación sensor- wathhorímetro

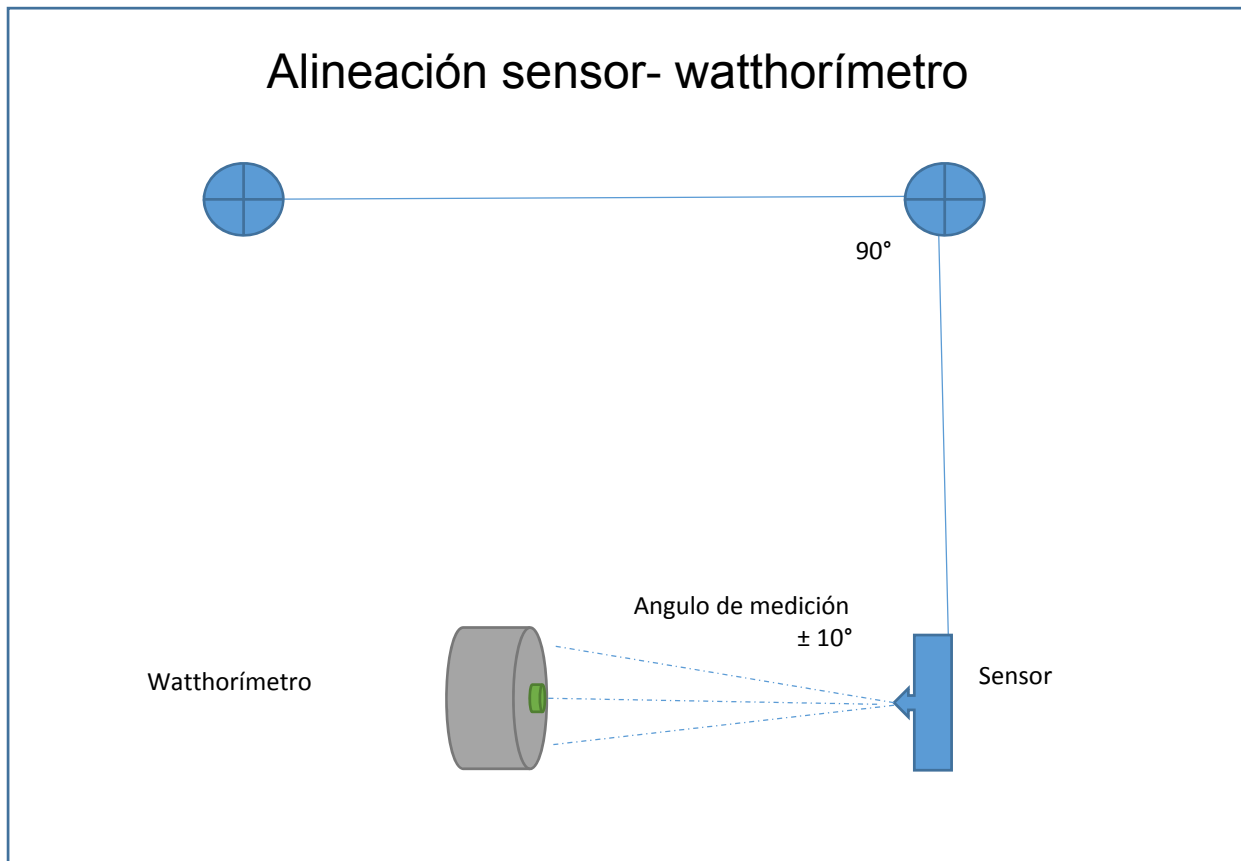


Fig. 3.4 Posición de alineación del sensor respecto al Wathhorímetro

3.4 Elementos del brazo.

Ya verificada la posición de trabajo del sensor se procedió a realizar los diseños de cada uno de los componentes que conformaran el brazo. Los cuales se mencionan en la tabla siguiente: Tabla 3.1

Tabla 3.1 Componentes principales del brazo mecánico.

Componentes principales	Descripción
Base principal	Es la parte inferior del brazo la cual se une a la mesa por medio de tornillos, está diseñada de tal manera que asegure que no existirá vibración ni movimiento no deseado, así como de un material resistente a la carga.
Extensión vertical	Este elemento proporcionara la altura necesaria para poder alinear el componente horizontal asegurando la correcta alineación con respecto al medidor de energía eléctrica.
Extensión horizontal	Este elemento proporciona la distancia adecuada entre la mesa de calibración y el medidor de energía eléctrica, siendo posible el poder moverse de manera vertical asegurando la correcta alineación.
Extensión vertical telescópica	Este elemento tiene la posibilidad de ser telescópico, esto quiere decir que tendrá una extensión en su interior dando la posibilidad de alinear dos medidores de energía eléctrica, asegurando la alta producción de equipos probados.
Porta sensor	Este elemento esta trabaja en conjunto con la extensión vertical telescópica el cual contendrá el sensor que será utilizado para la realización de las pruebas a los medidores de energía eléctrica.

Los componentes antes mencionados son los principales, ya que son los que tendrán movimiento y son la referencia para el modelado y diseño del brazo mecánico para pruebas y calibración de medidores de energía eléctrica.

3.5 Diseño y modelado.

El último paso que se realizó fue el diseño de los elementos que constituyen el brazo, así como el modelado en Solidworks, el cual nos ayudara a corroborar que los elementos en conjunto cumplen con el objetivo principal. Todos los diseños fueron realizados en base a las normas de diseño y tolerancias para la correcta funcionalidad del mecanismo.(Ref.7)

Los diseños de los siguientes elementos solo se modelaron, ya que tienen derechos reservados, por lo tanto se respetaron dimensiones y componentes internos.

- Medidor eléctrico (Wattímetro)
- Sensor óptico
- Mesa de trabajo

CAPÍTULO 4 DISEÑO MODELADO Y SIMULACIÓN EN SOLIDWORKS®

4.1 Modelado de Watthorímetros.

Debido a que el fabricante esta normalizado y estandarizado se respetó las dimensiones que está manejando el fabricante IUSA®, debido a que es el equipo que está utilizando la Paraestatal CFE. Ver figura 4.1



Fig. 4.1 Modelado de medidor digital

Se requirio realizar el modelado de las tablillas electronicas que estan integradas a la parte posterior del soporte donde estaran unidos los medidores electricos, todo esto con la finalidad de conciderar los espacios en el interior de la mesa de calibracion asi como la altura requeridad para poder colocar la base del brazo.

Las tablillas electronicas que se muestran tienen la finalidad de simular las cargas de entrada de voltaje y amperaje, las cuales asu misma vez estan conectadas al equipo patron **Radian Research modelo RD-20**, que servirá de punto de comparación y si presentara alguna variación el equipo patrón corregirá las variables del Wathhorímetro, siendo este calibrado de manera correcta. Ver figura 4.2

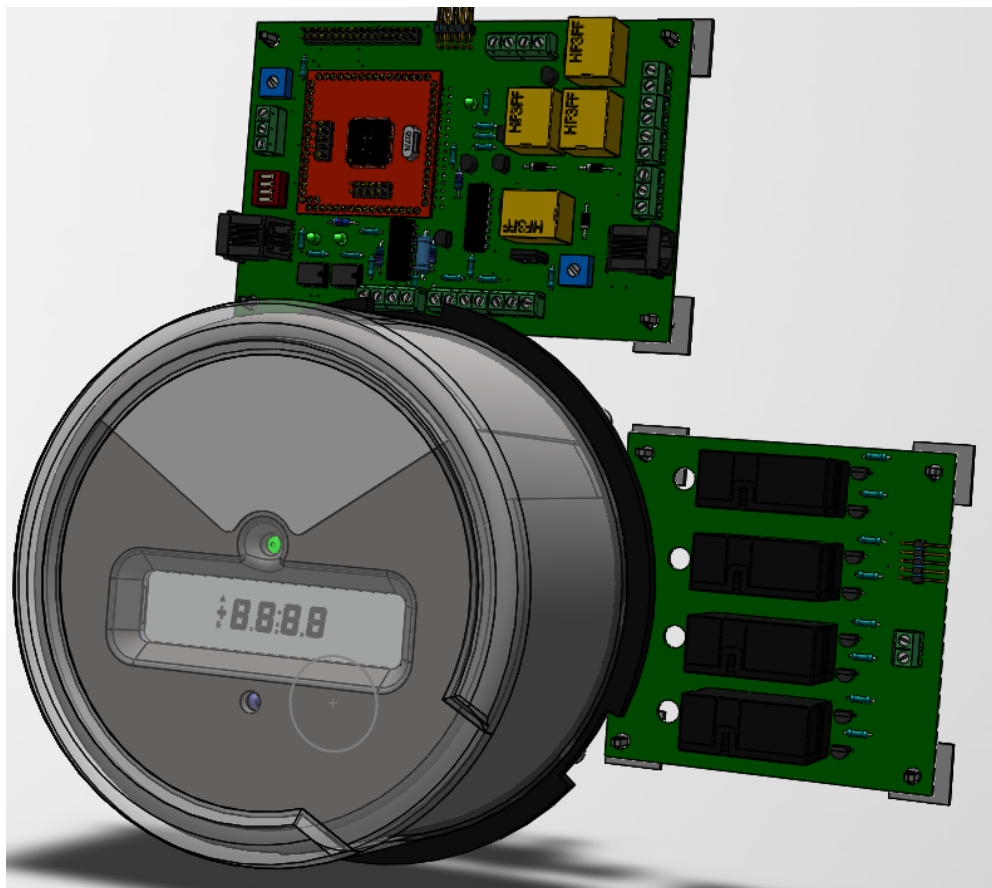


Fig. 4.2 Medidor eléctrico digital con tablillas electrónicas, para simulación de cargas

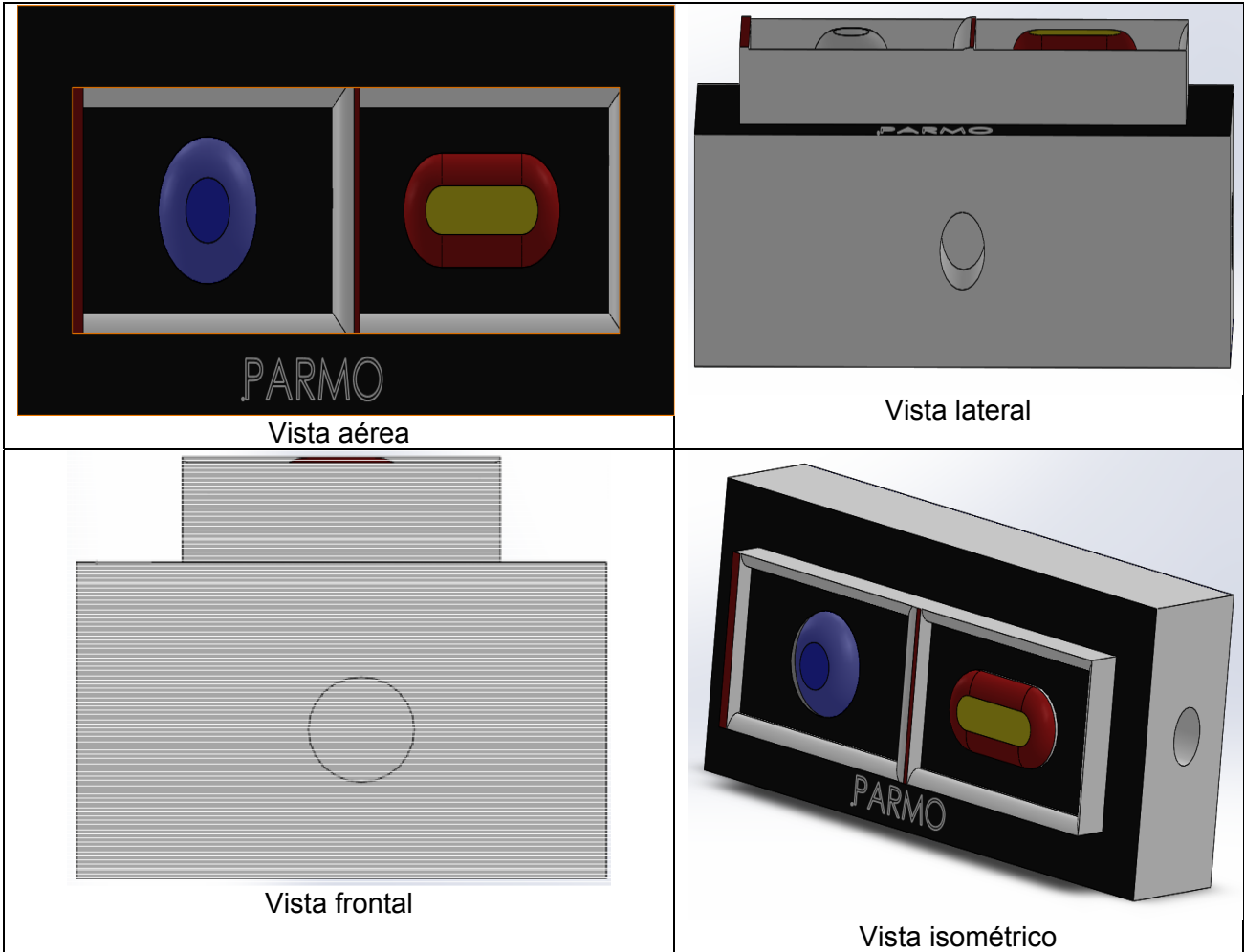


Fig.4.4 Modelado de sensor marca PARMO® de amplia lectura

4.3 Diseño y modelado de los elementos del brazo mecánico.

Los diseños están basados en las dimensiones adecuadas, para realizar pruebas a dos equipos al mismo tiempo teniendo en cuenta la correcta alineación de los sensores con los wathorímetros, todo esto basado en las normas y códigos establecidos. (Ref. 12)

4.3.1 Base del brazo.

Debido a las dimensiones de la mesa de trabajo y todos los equipos que esta tendrá en la parte interior, se obtienen las dimensiones de nuestra base teniendo en cuenta el material que será utilizado para su modelado.

La base está diseñada con un material denominado aluminio ionizado 6063 T6 este material tiene la fuerza suficiente para soportar un peso constante sin sufrir flexión o algún tipo de deformación que pudiera afectar la correcta alineación del brazo con respecto a los wathorímetros. Ver figuras 4.5 y 4.6. (Ref.19)

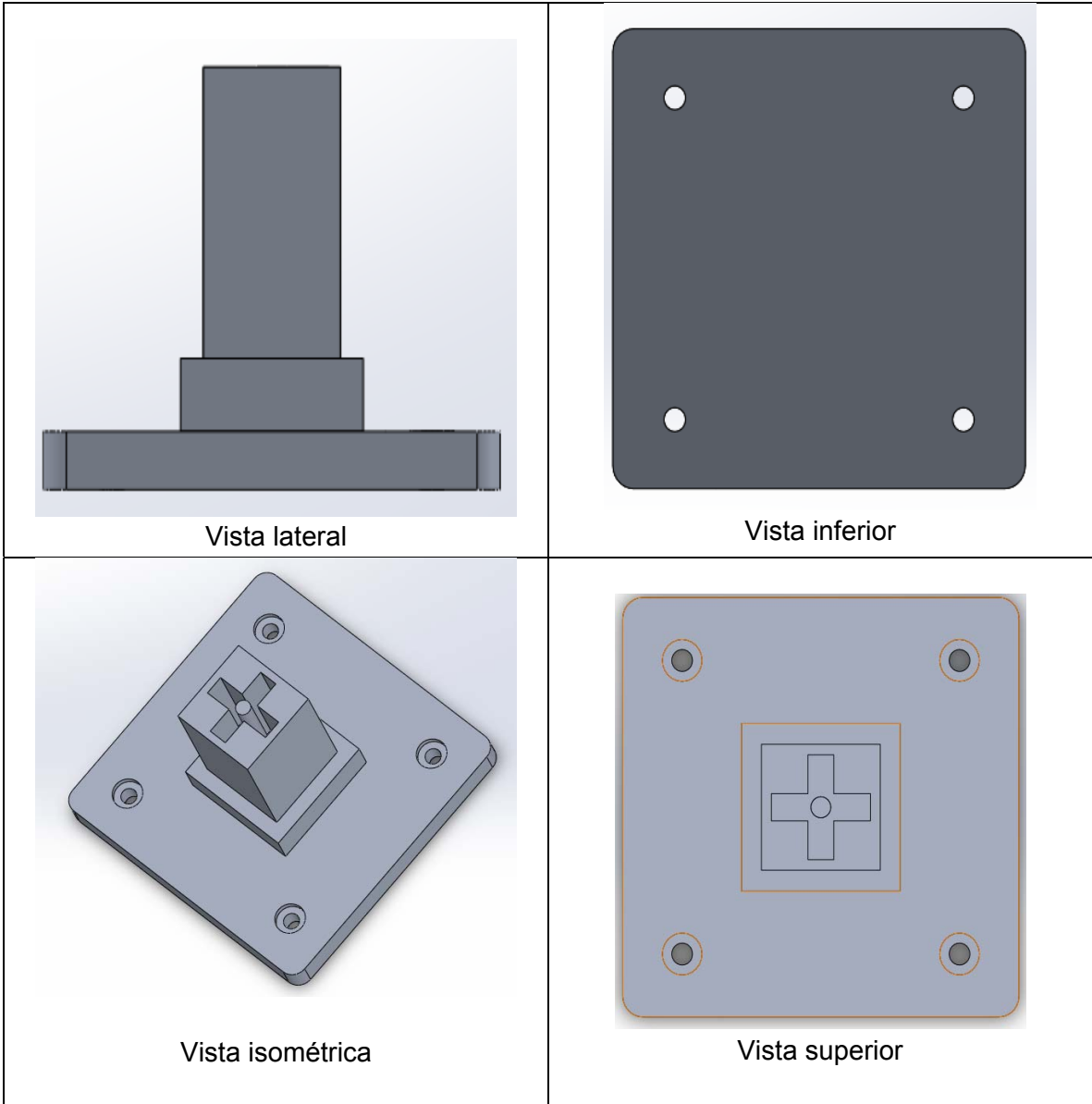


Fig. 4.6 Vistas del diseño en Solidworks de la base de brazo mecánico

4.3.2 Elemento de extensión vertical.

El elemento de extensión vertical está diseñada con el mismo material aluminio 6063 T6 Aluminio ionizado, dando seguridad al momento de realizar un esfuerzo o sufrir una tensión o torsión, este elemento consta de unas dimensiones especificadas en el plano de construcción. Ver figuras 4.7 y 4.8

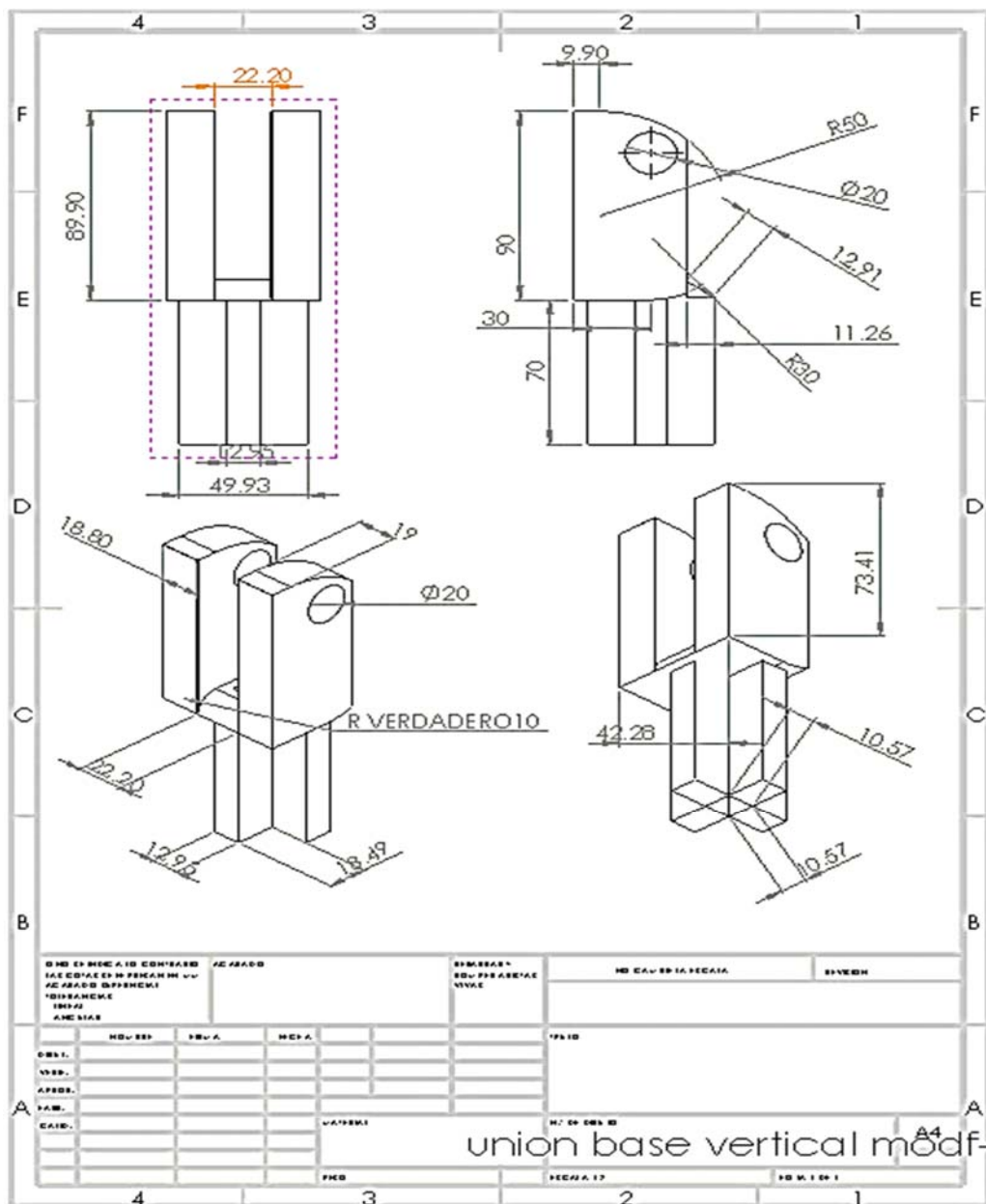


Fig. 4.7 Plano de construcción de la unión de la base vertical

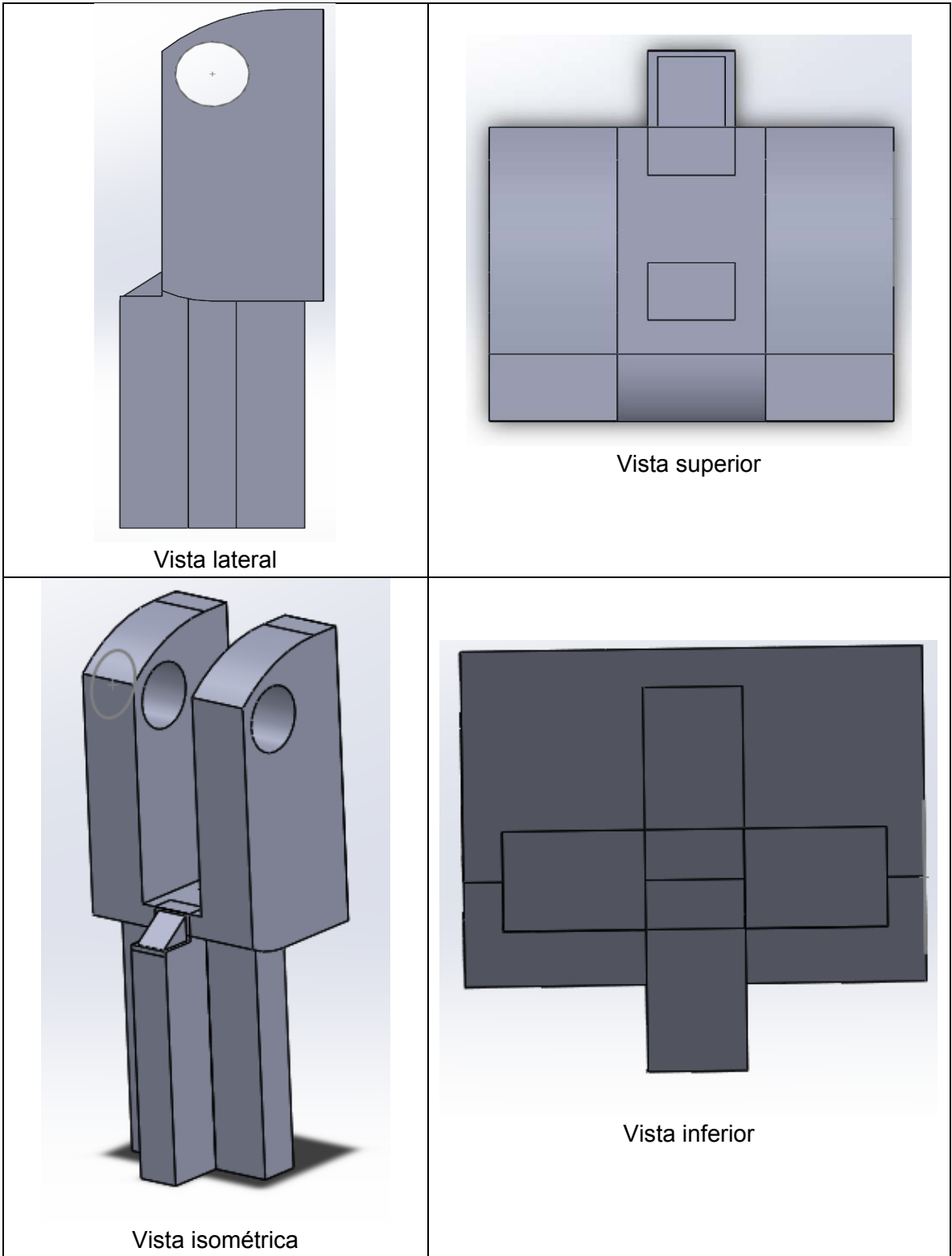


Fig. 4.8 Vistas del diseño en Solidworks de la unión de la base vertical.

4.3.3 Elemento de extensión horizontal.

Este elemento es la extensión con mayor longitud y estará en una posición horizontal la cual servirá de unión entre la extensión vertical y la extensión telescópica con porta sensor, está diseñado con el mismo material que los otros elementos dando una excelente capacidad de carga sin sufrir alguna deformación. Ver figuras 4.9 y 4.10

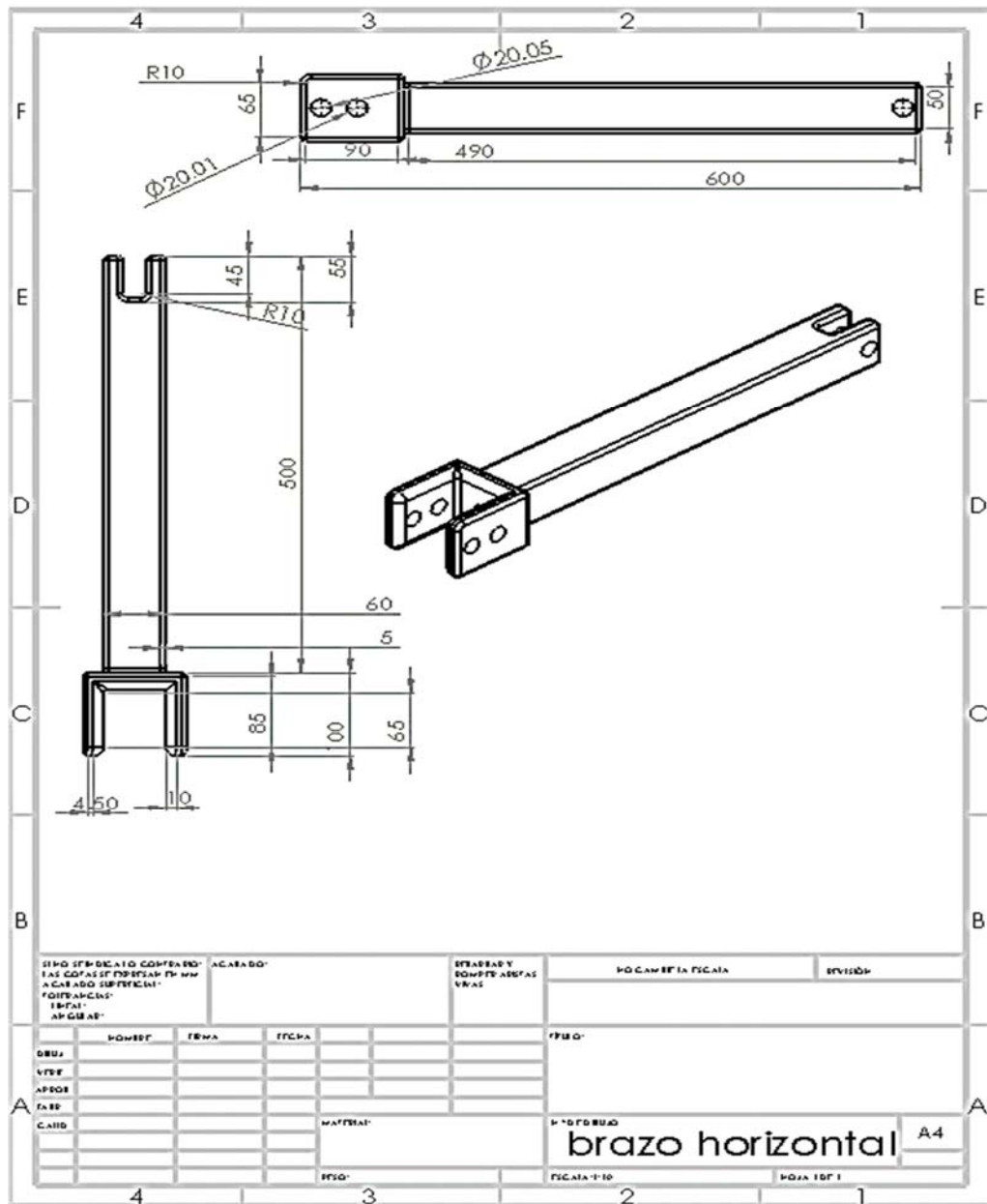


Fig. 4.9 Plano de construcción de extensión del brazo mecánico

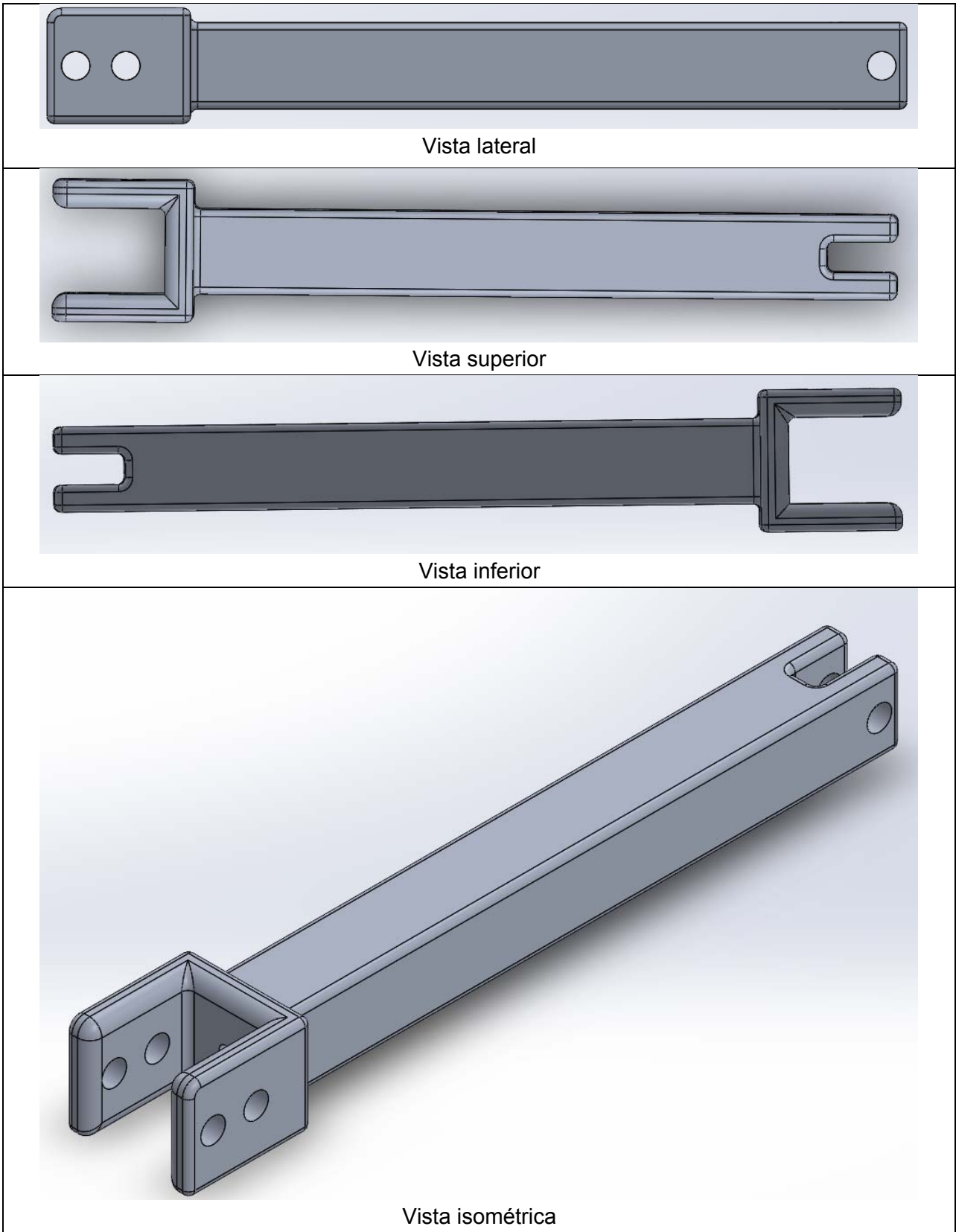


Fig. 4.10 Vistas del diseño realizado en Solidworks de la extensión horizontal de brazo mecánico.

4.3.4 Elemento de extensión vertical telescópica.

El elemento de extensión vertical telescópica está ubicada en el extremo del elemento horizontal, con la finalidad de proporcionar una posición vertical para realizar la alineación con los wathhorímetros, en esta pieza existe un elemento extra el cual sirve de extensión el cual ayuda a realizar una alineación a otro Wathhorímetro, el cual también será calibrado dando como resultado dos equipos calibrados con una sola maniobra. Ambos elementos constan de un sensor de calibración. Ve figuras 4.11 y 4.12

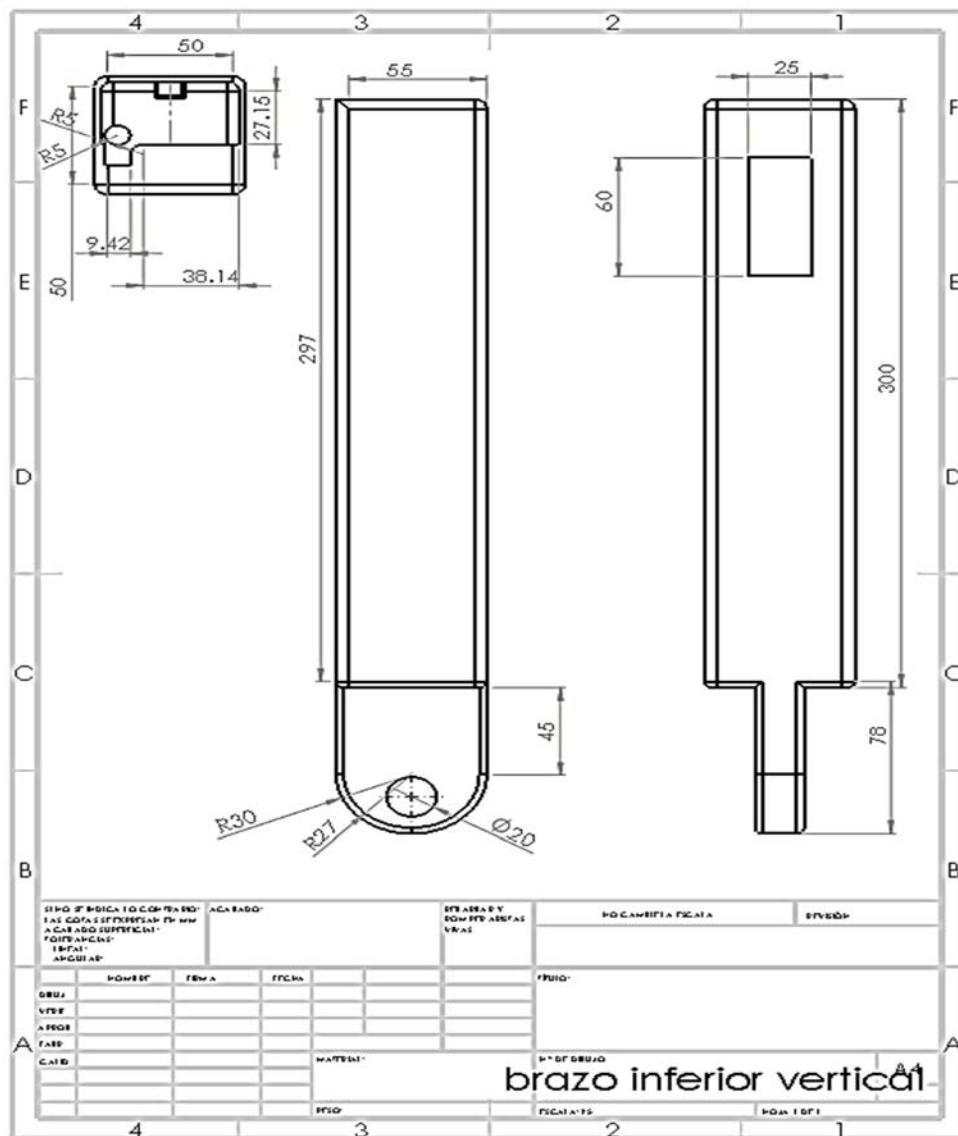


Fig. 4.11 Plano de construcción de elemento de extensión vertical telescópica

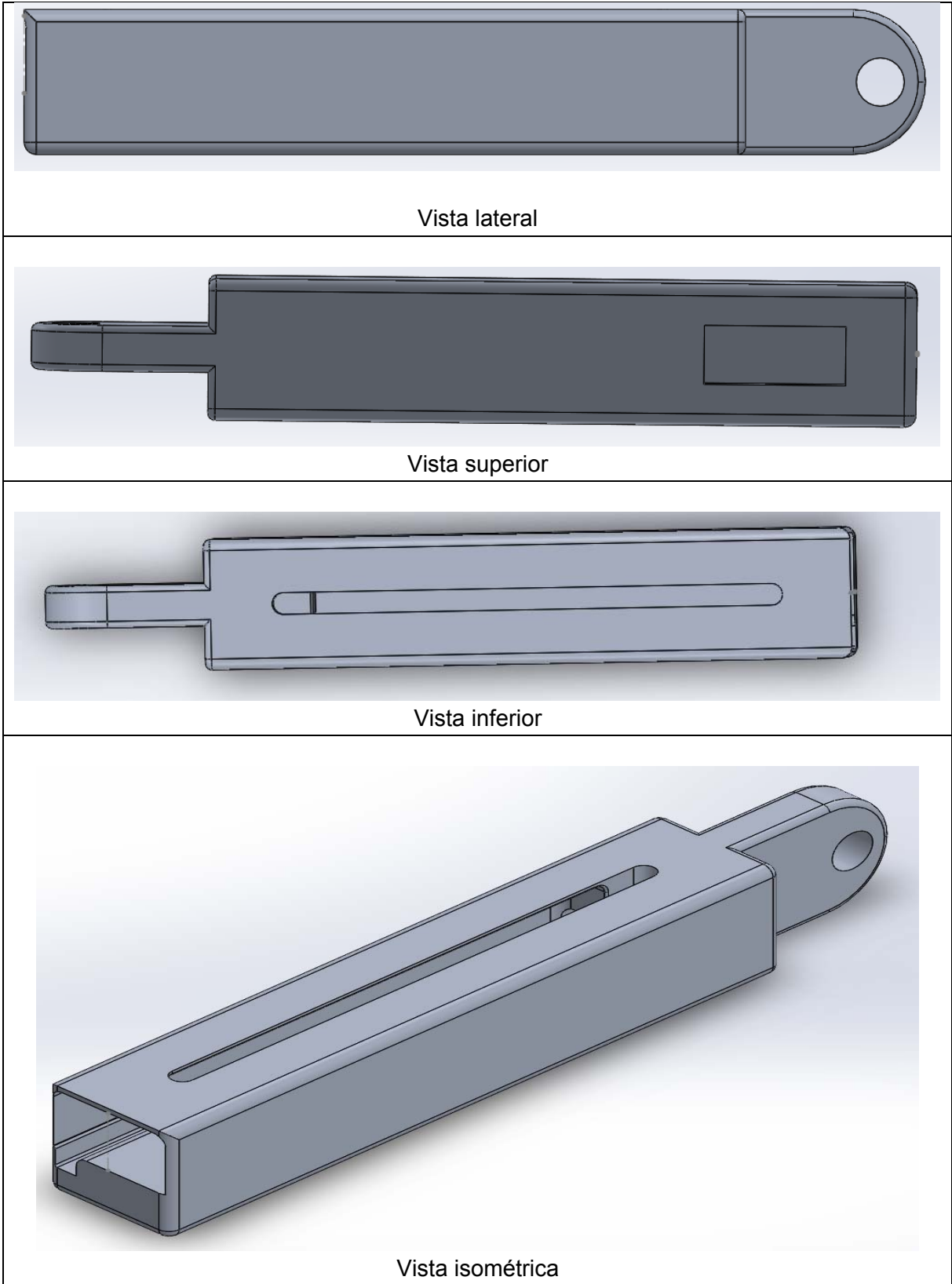


Fig. 4.12 Vista del diseño en Solidworks de la extensión vertical telescópica

4.3.5 Conjunto de engranes de posición.

Los engranes que son utilizados en el movimiento entre la extensión vertical y la extensión horizontal son de tipo recto, esto para facilitar la correcta alineación de los dientes de los engranes usando un engrane como piñón y uno rotacional, estos engranes están diseñados en el material de aluminio anodizado 6063 T6 dando dureza suficiente para soportar trabajo constante sin perder la dureza de los dientes o sufriendo flexión por la carga que está soportando.(Ref.10)

Los cálculos necesarios se encuentran en las siguientes hojas donde demuestra las dimensiones necesarias para cumplir con el movimiento el cual debe de ser sensible y de un paso suave ya que este debe de ser lo más exacto posible, evitando desajuste en la alineación del sensor con respecto al medidor de energía eléctrica. Ver figuras 4.13, 4.14 ,4.15, 4.16 y 4.17.

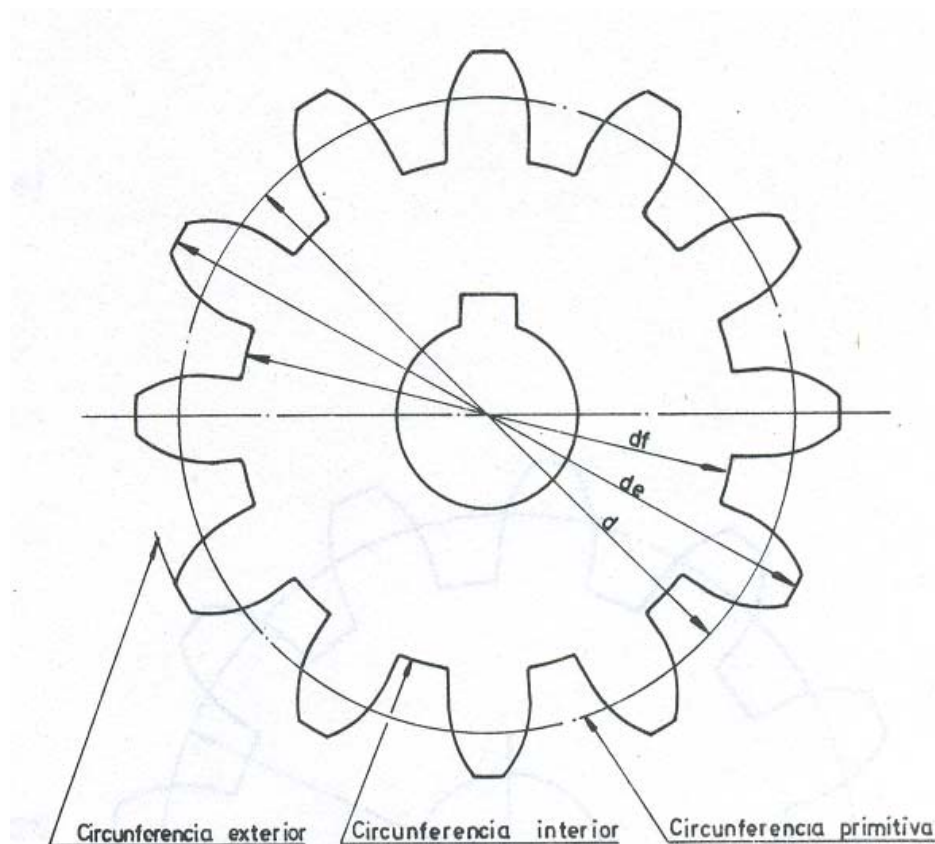


Fig. 4.13 Circunferencias de referencia de un engrane

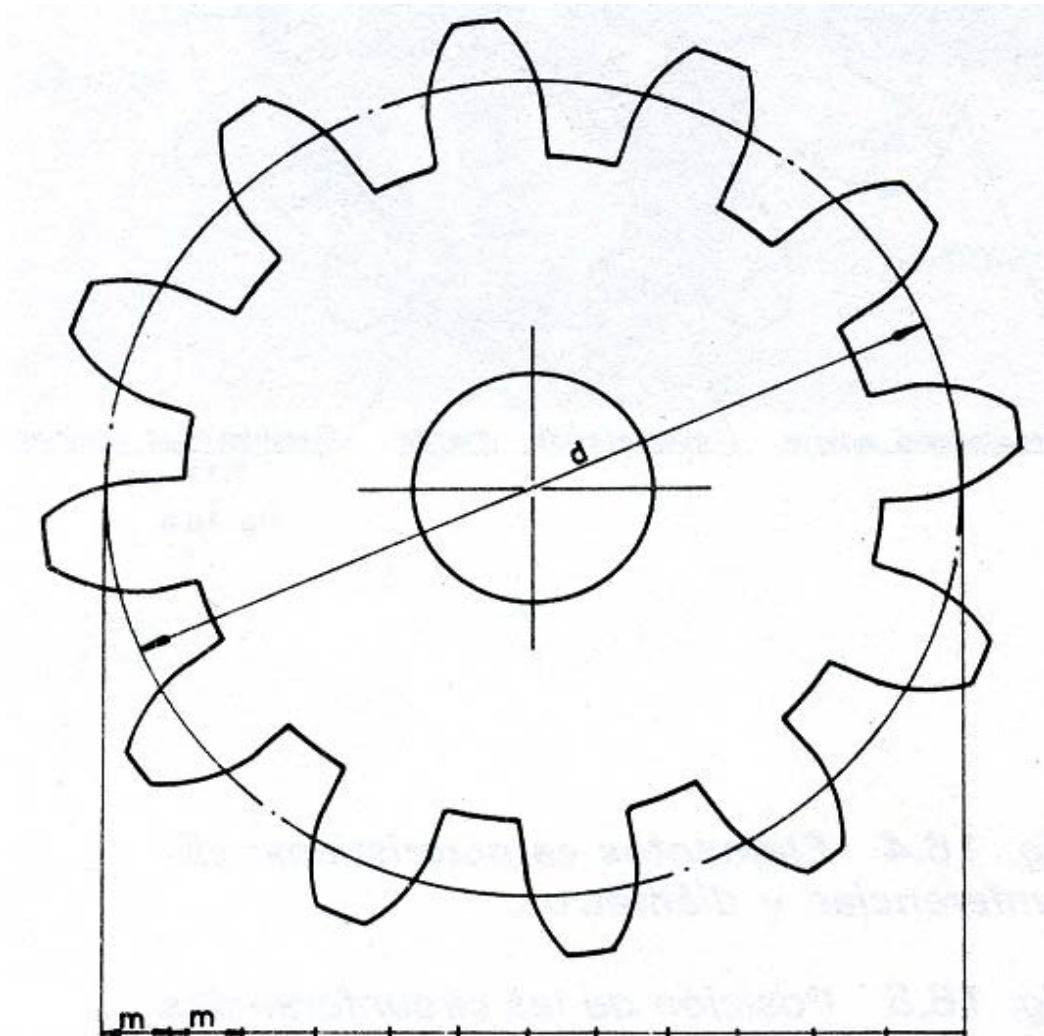


Fig. 4.14 Identificación de circunferencia primitiva

Módulo (m) Es la cantidad de Diámetro Primitivo que corresponde a cada diente, por lo tanto tenemos: $m = d/z$

Diámetro Primitivo (d) Es el diámetro correspondiente a la circunferencia primitiva su valor es: $d = m \times z$

Numero de dientes (z). Su valor es: $z = d/m$

Diámetro Exterior (de) Es el diámetro correspondiente a la circunferencia exterior su valor es: $de = m (z + 2)$; $de = d + 2m$

Diámetro Interior (df) Es el diámetro correspondiente a la circunferencia interior, su valor es: $df = m (z - 2,5)$ ó $df = de - 2h$

Distancia entre Centros (dc): Es la distancia entre los ejes de la rueda y el piñón, su valor es: $dc = (D + d) / 2$

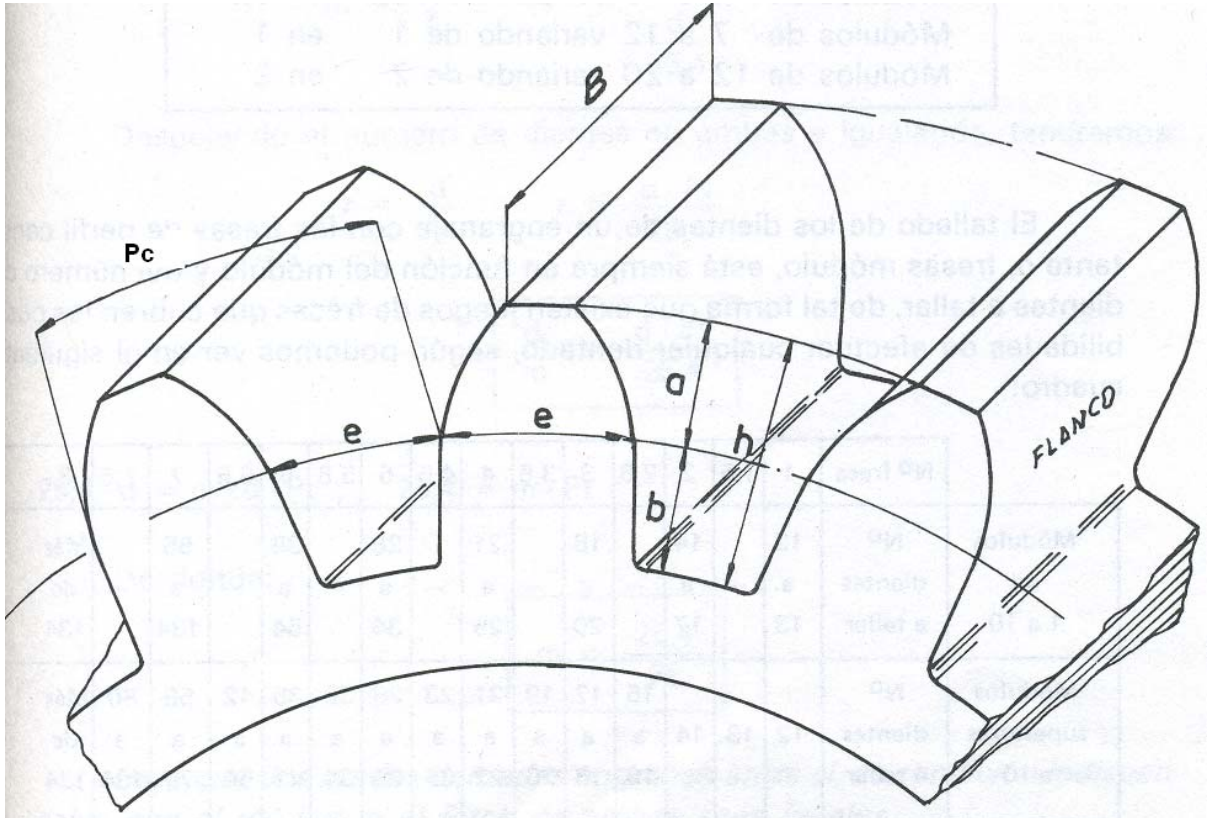


Fig. 4.15 Cálculo de dimensiones de los dientes del engrane

h = Altura del diente; $h = 2,25 \times m.$

Pc = Paso Circular es la longitud del arco de circunferencia primitiva comprendida entre dos puntos homólogos de dos dientes consecutivos $Pc = \pi \times m.$

B = Longitud del diente

El número de dientes necesario para lograr debe de ser una cantidad mayor a 24 dientes esto debido a que el paso diametral la cual es la distancia de carrera que tiene el engrane de un diente a otro, es muy grande lo cual perjudica la correcta alineación, por lo tanto se realizó en el análisis de la cantidad necesaria para realizar la correcta alineación, dando como resultado la cantidad de 34 dientes, por lo tanto la carrera que tiene entre dos engranes rectos de 34 dientes será menor teniendo una mayor exactitud al momento de la alineación.

De esta manera tendrá la capacidad de disminuir los tiempos necesarios para la correcta alineación con del sensor con respecto al medidor, y la velocidad de ajuste será menor.

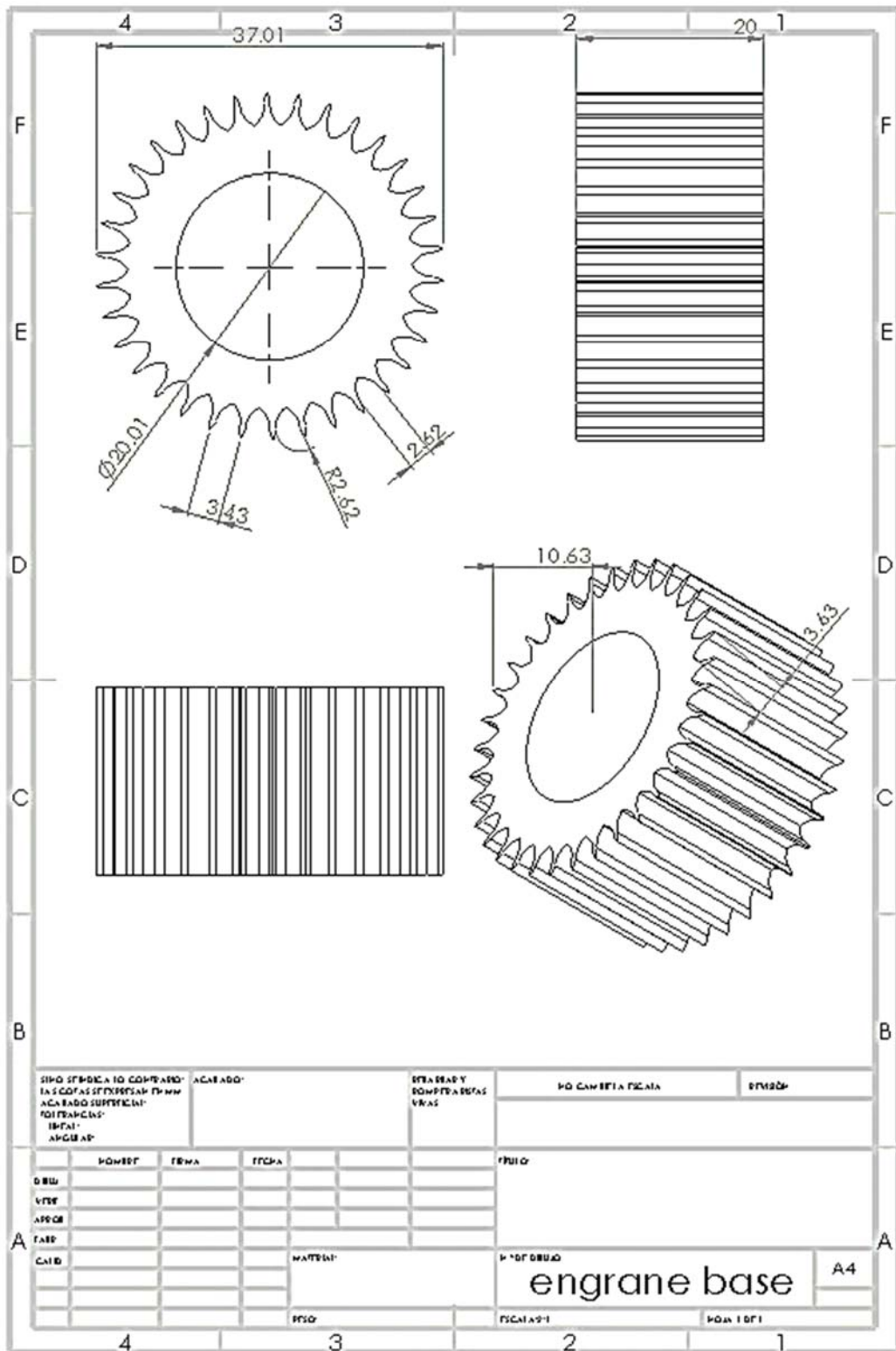


Fig. 4.16 Dimensiones del engranaje

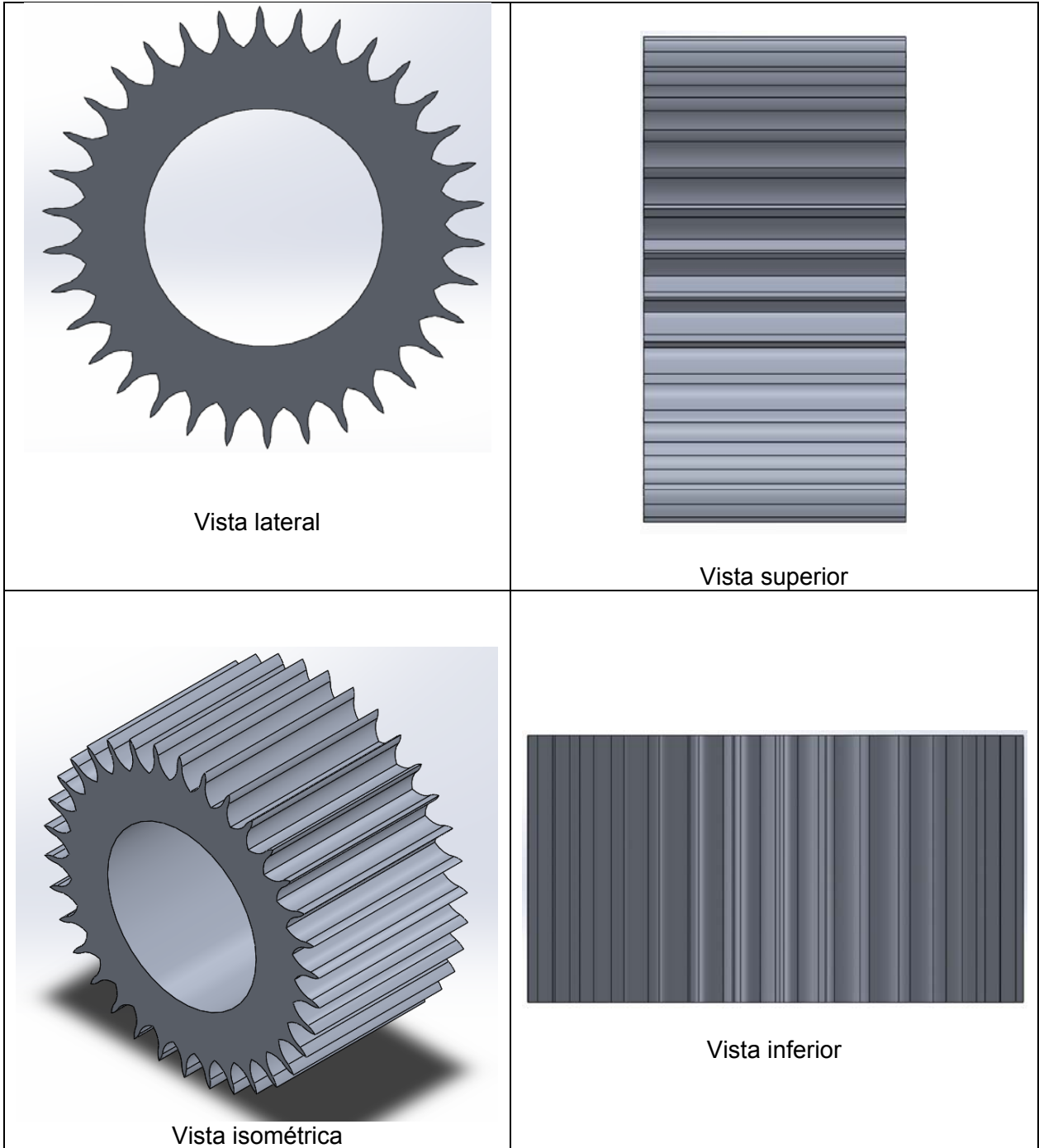


Fig. 4.17 Modelado del engranaje

4.3.6 Porta sensor.

EL porta sensor está ubicado en la extensión vertical telescópica, este porta sensor fijara el sensor debidamente en la estructura, para poder realizar todas la calibraciones de los wathhorímetros. Ver figuras 4.18 y 4.19

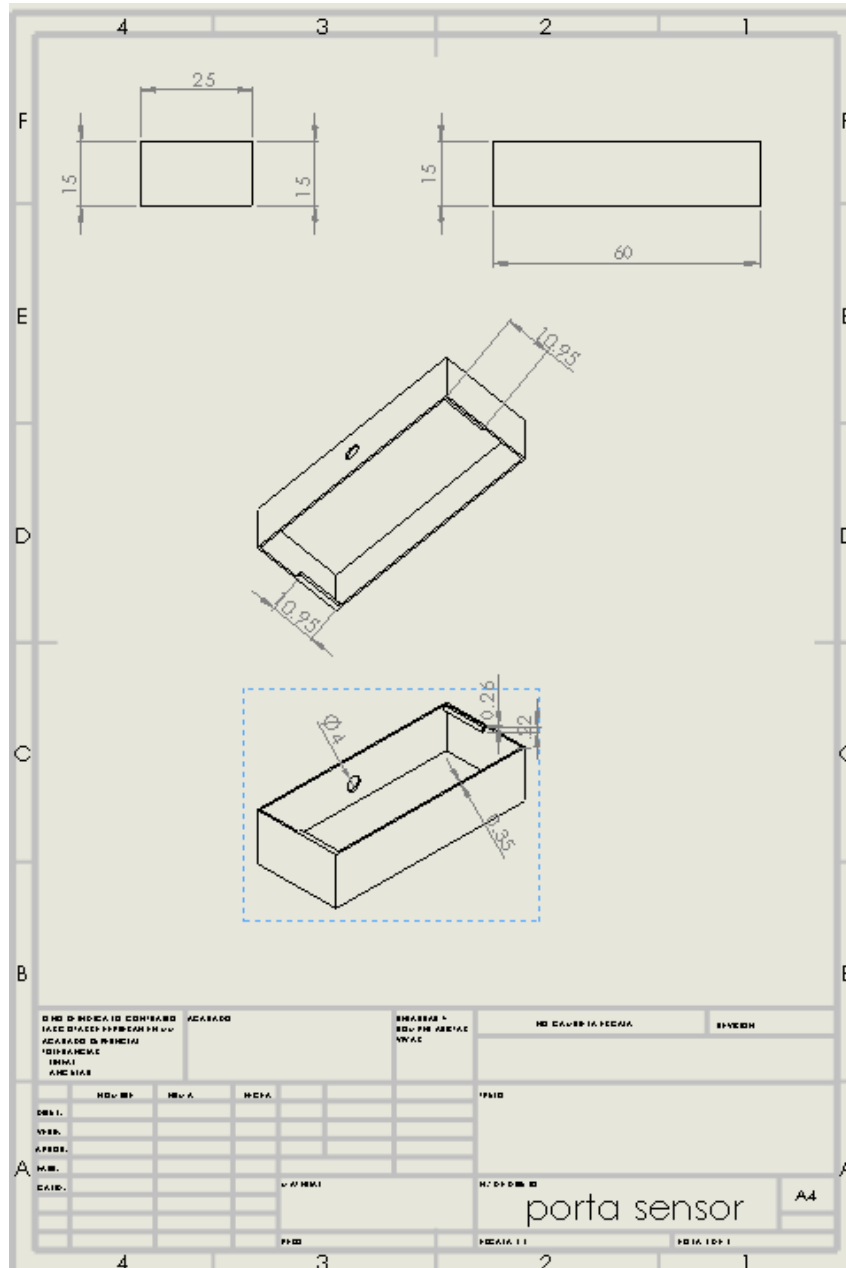


Fig. 4.18 Dimensiones del porta sensor

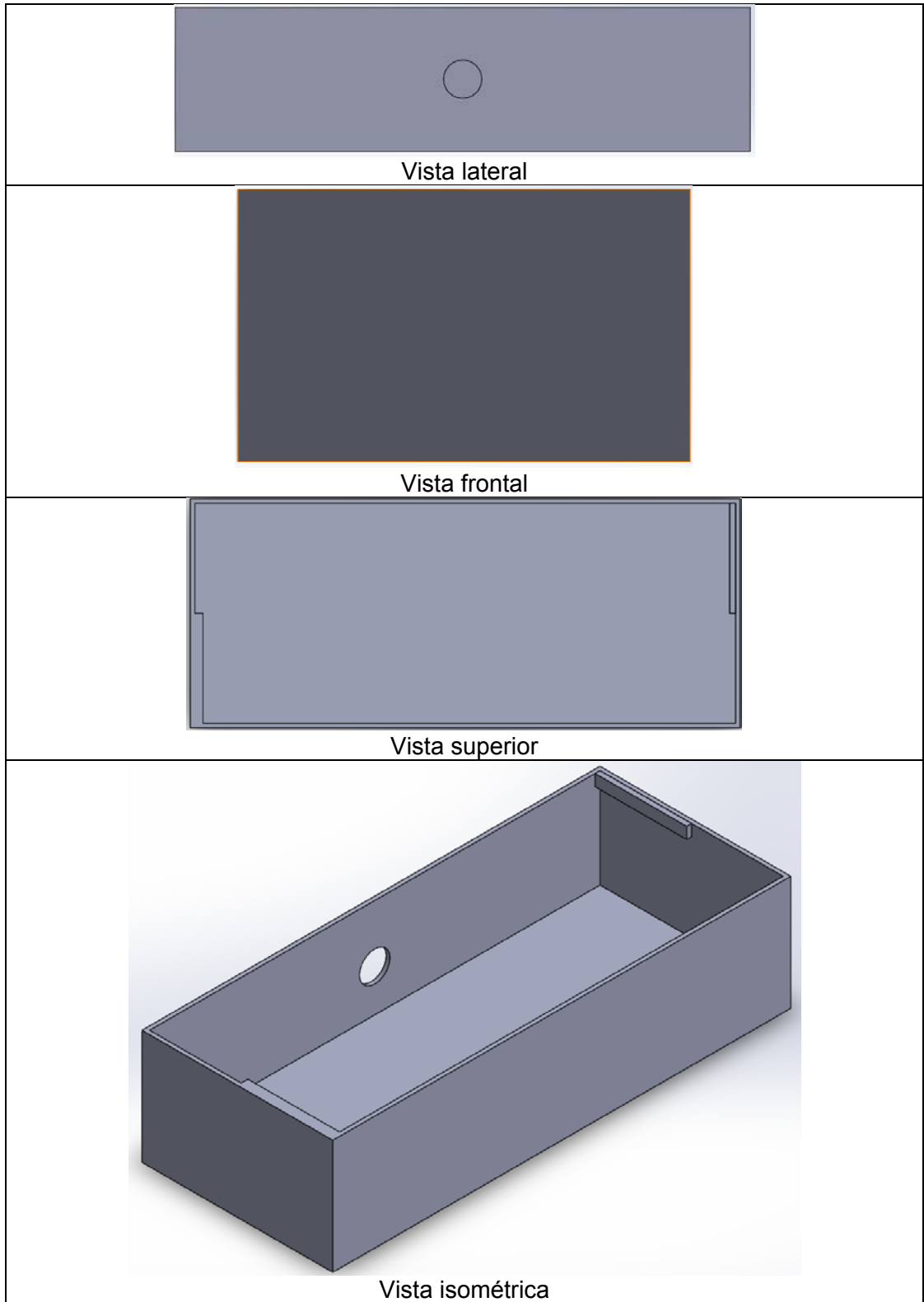


Fig. 4.19 Modelado del porta sensor

4.3.7 Eje de enlace.

El eje de engrane es donde está fijado el engrane, para que se pueda hacerla unión entre los dos engranes y se pueda realizar el movimiento. Ver figuras 4.20 y 4.21

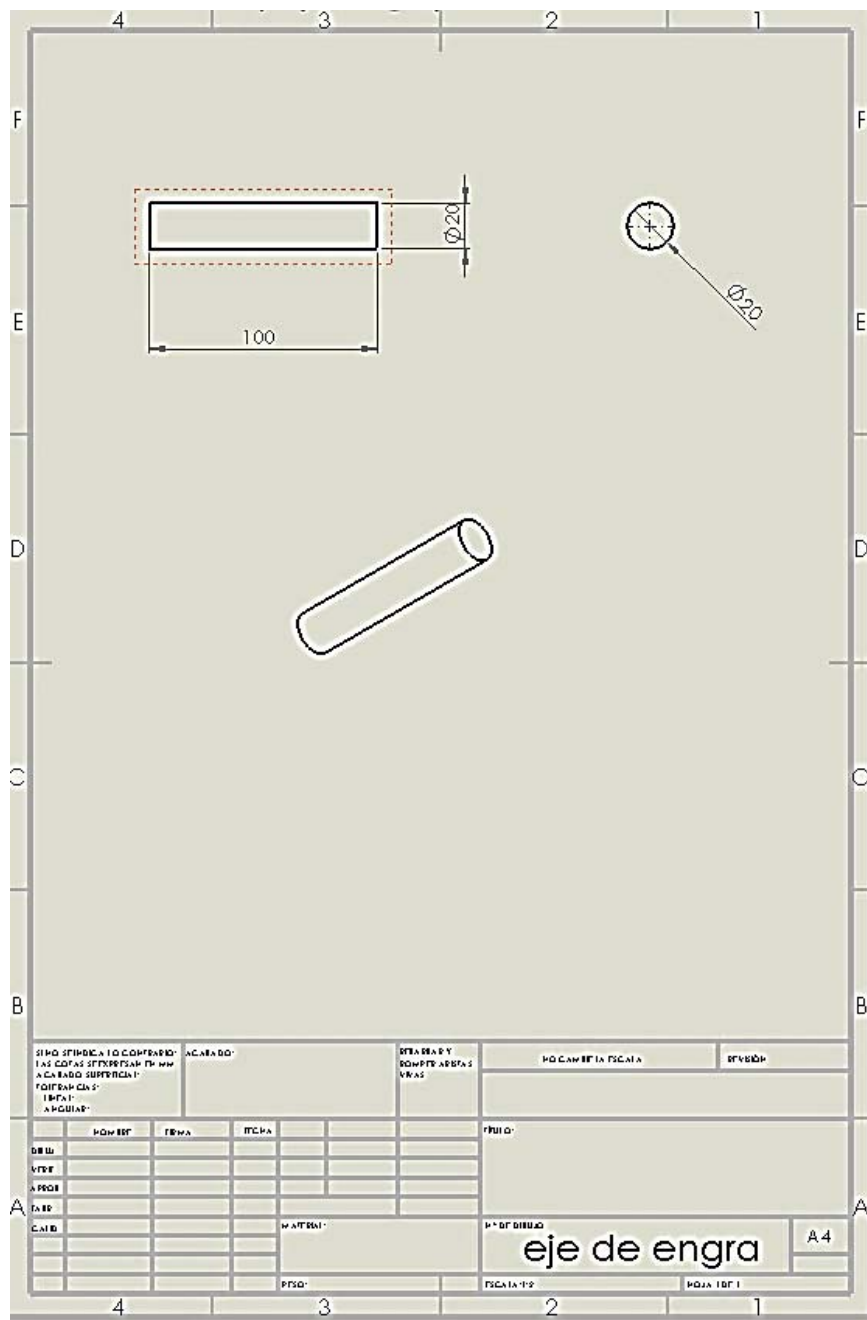


Fig.4.20 Dimensiones de los ejes de engranes

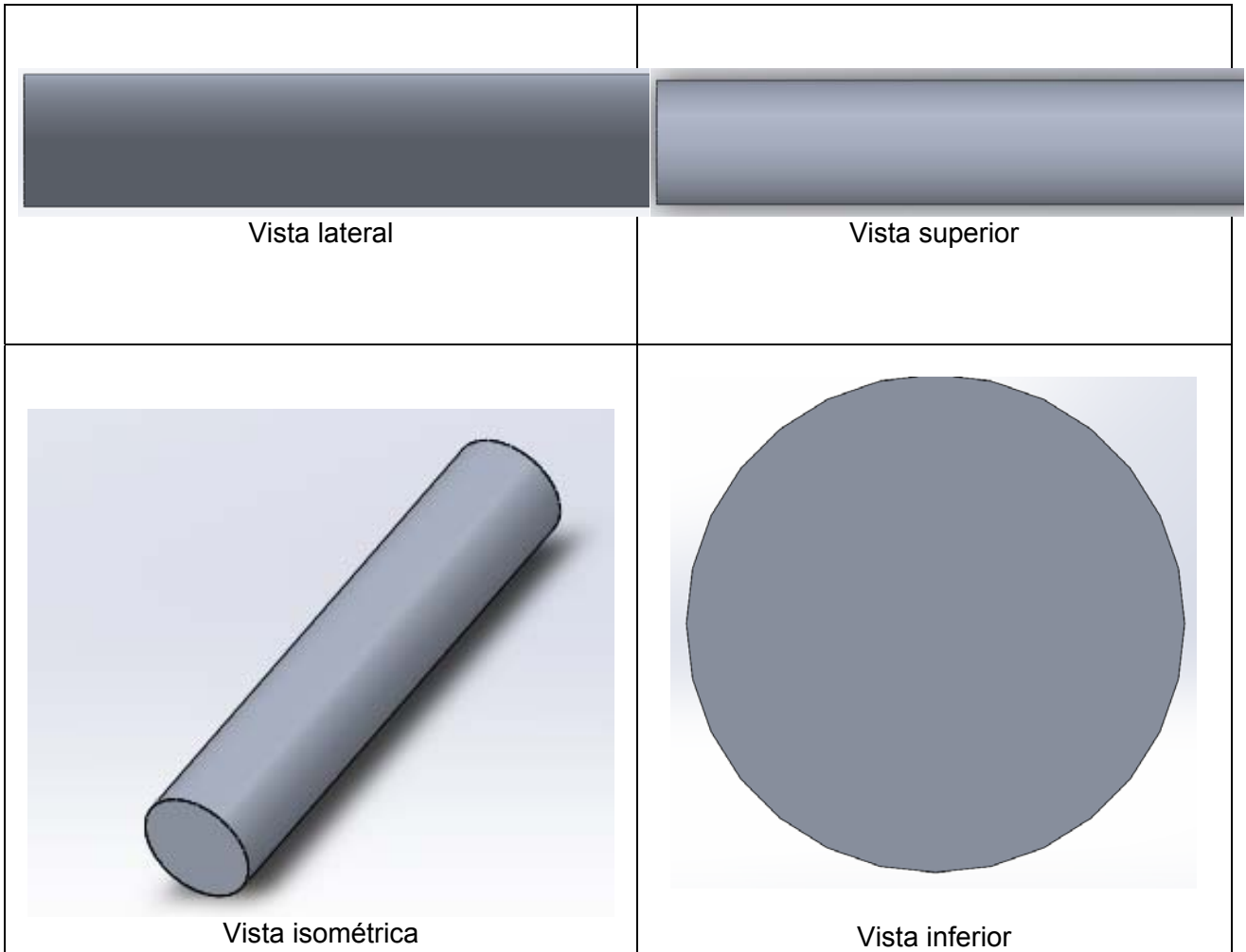


Fig. 4.21 Modelado de eje de engranes

4.3.8 Porta wathhorímetros

La función del porta wathhorímetros es la de mantener fijo los medidores para poder realizar las mediciones necesarias así como la de soportar el brazo que estará ubicado en la parte superior, y por lo tanto los equipos necesarios serán contenidos en la parte interior del porta medidores. Ver figuras 4.22 y 4.23.

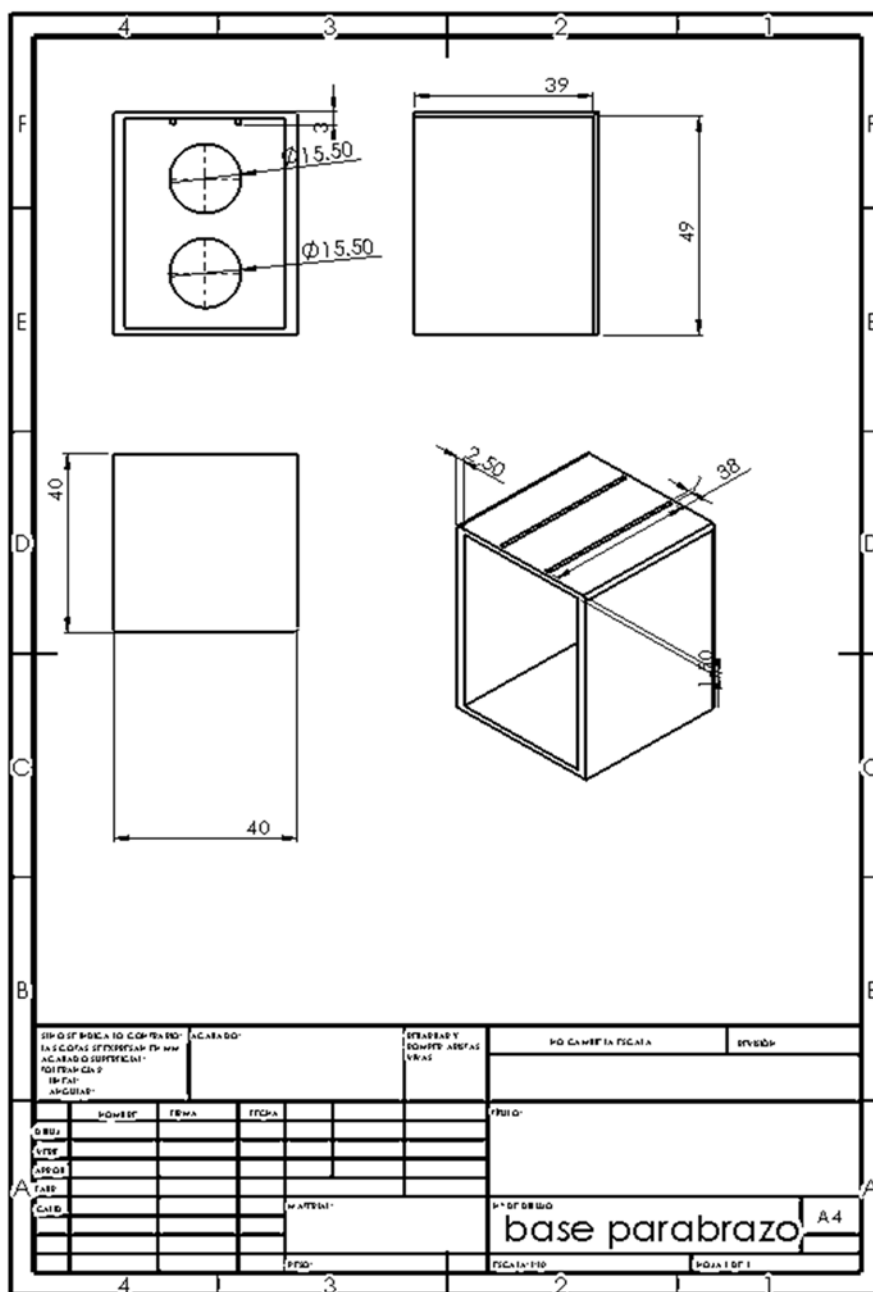


Fig. 4.22 Dimensiones del porta wathhorímetros

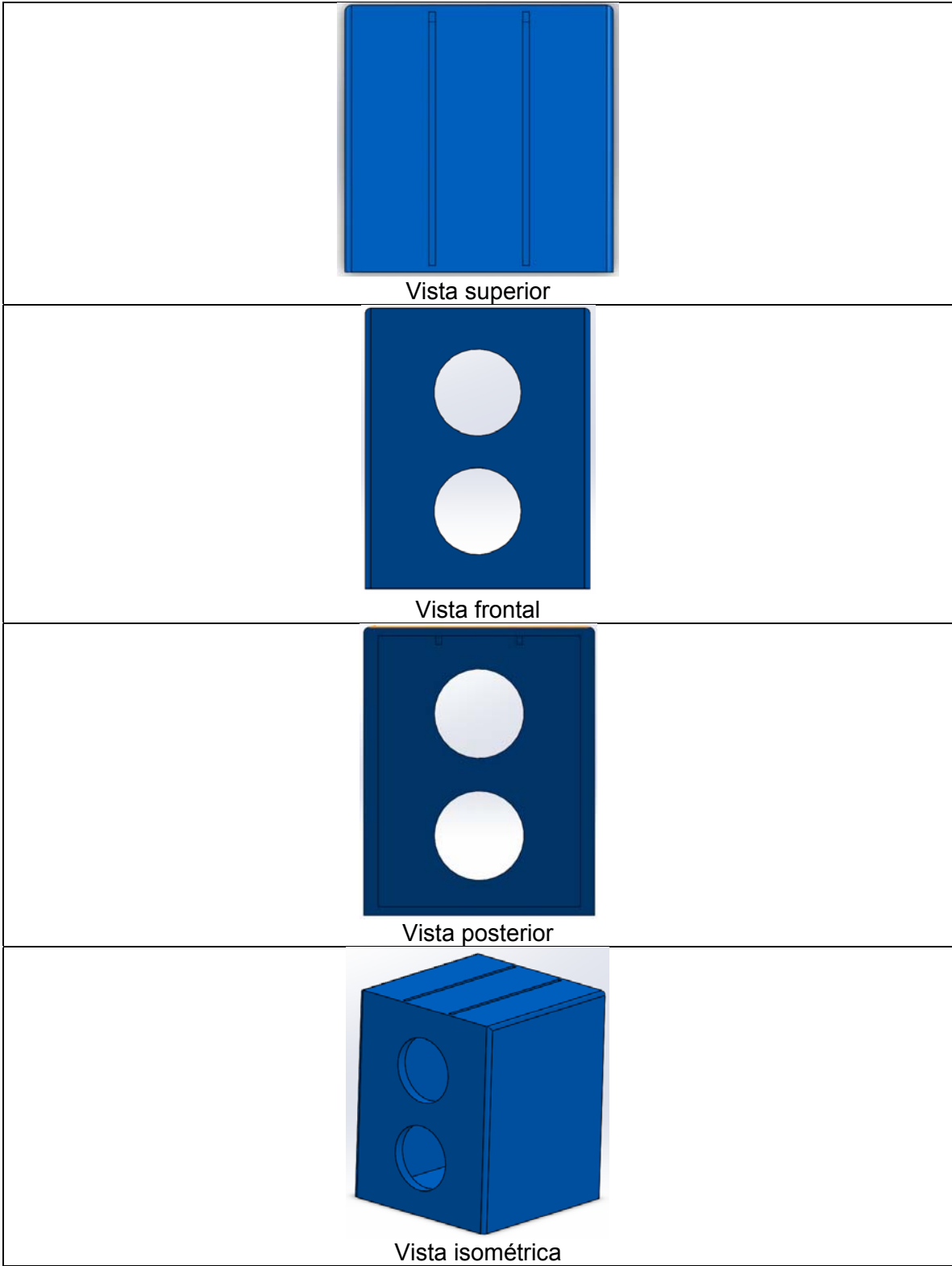


Fig. 4.23 Modelado del porta Wathhorímetro

4.3.9 Mesa de trabajo

La mesa de trabajo es una de las partes importantes del conjunto de calibración ya que tiene la capacidad de soportar el peso de los equipos y tiene la funcionalidad de aislar y/o aterrizar la corriente eléctrica ya que tiene una ceja en la cual se coloca un tornillo con un cable hacia la tierra. Ver figuras 4.24 y 4.25

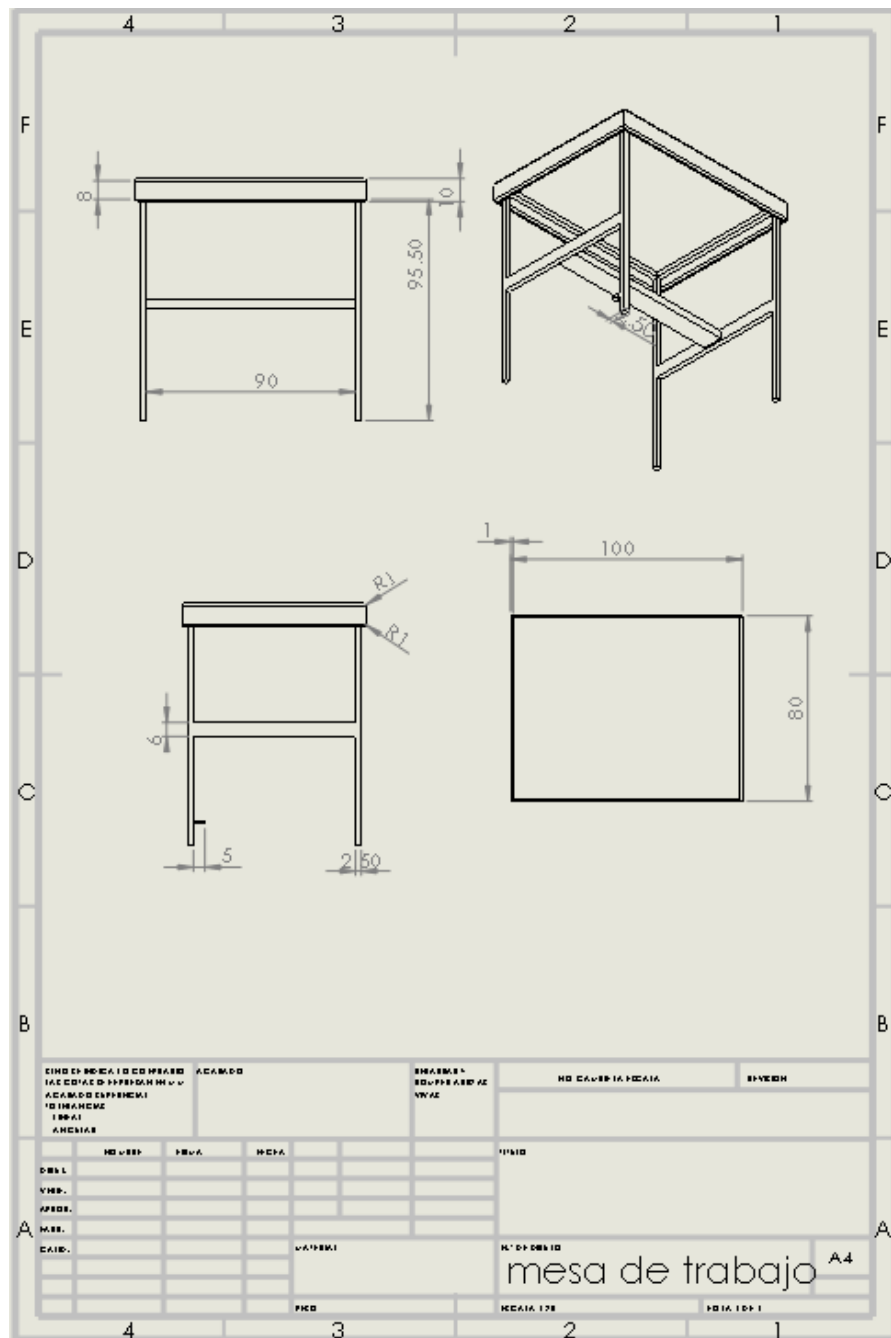
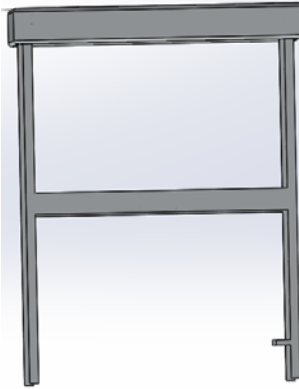


Fig. 4.24 Dimensiones de la mesa de trabajo



Vista superior



Vista lateral



Vista inferior



Vista isométrica

Fig. 4.25 Modelado de la mesa de trabajo

4.3.10 Ensamblaje de los elementos del brazo mecánico.

El diseño mostrado en las siguientes imágenes demuestra el funcionamiento del brazo, demostrando que es capaz de alinearse con dos medidores al mismo tiempo siendo capaz de realizar la medición de los wathhorímetros.

Mediante la expresión de Kutzbach se obtendrá el número de grados de libertad que será necesario para el correcto movimiento del brazo mecánico. (Ref. 81)

Cálculos:

Expresión de Kutzbach

$$n = 6.(nb-1) - 5.p1 - 4. p2 - 3 . p4 - 2 . p4 - p5$$

Dónde:

n: Numero de grados de libertad

nb: Numero de barras

p1: Pares cinemáticos tipo 1

p2: Pares cinemáticos tipo 2

p3: Pares cinemáticos tipo 3

p4: Pares cinemáticos tipo 4

p5: Pares cinemáticos tipo 5

Aplicando la formula y realizando los cálculos correspondientes se obtiene lo siguiente:

nb = 5 Barras

p1= 3 (entre 3 y 4, 4 y 5 ((uno por cada brazo de la pinza))

p2= 0

p3= 1 (entre 2 y 3)

p4=0

p5= 0

Por lo tanto se obtiene lo siguiente:

$$n = 6 * (5 - 1) - 5 * 3 - 4 * 0 - 3 * 1 - 2 * 0 - 0 =$$

$$n = 6 * (4) - 15 - 0 - 3 - 0 - 0$$

$$n = 24 - 15 - 3$$

$$n = 6 \text{ Grados de Libertad.}$$

Después de haber obtenido los grados de libertad del brazo mecánico se procede a realizar el diseño y simulación en Solidworks®. Ver figuras 4.26, 4.27, 4.28, 4.29, 4.30, 4.31 y 4.32.

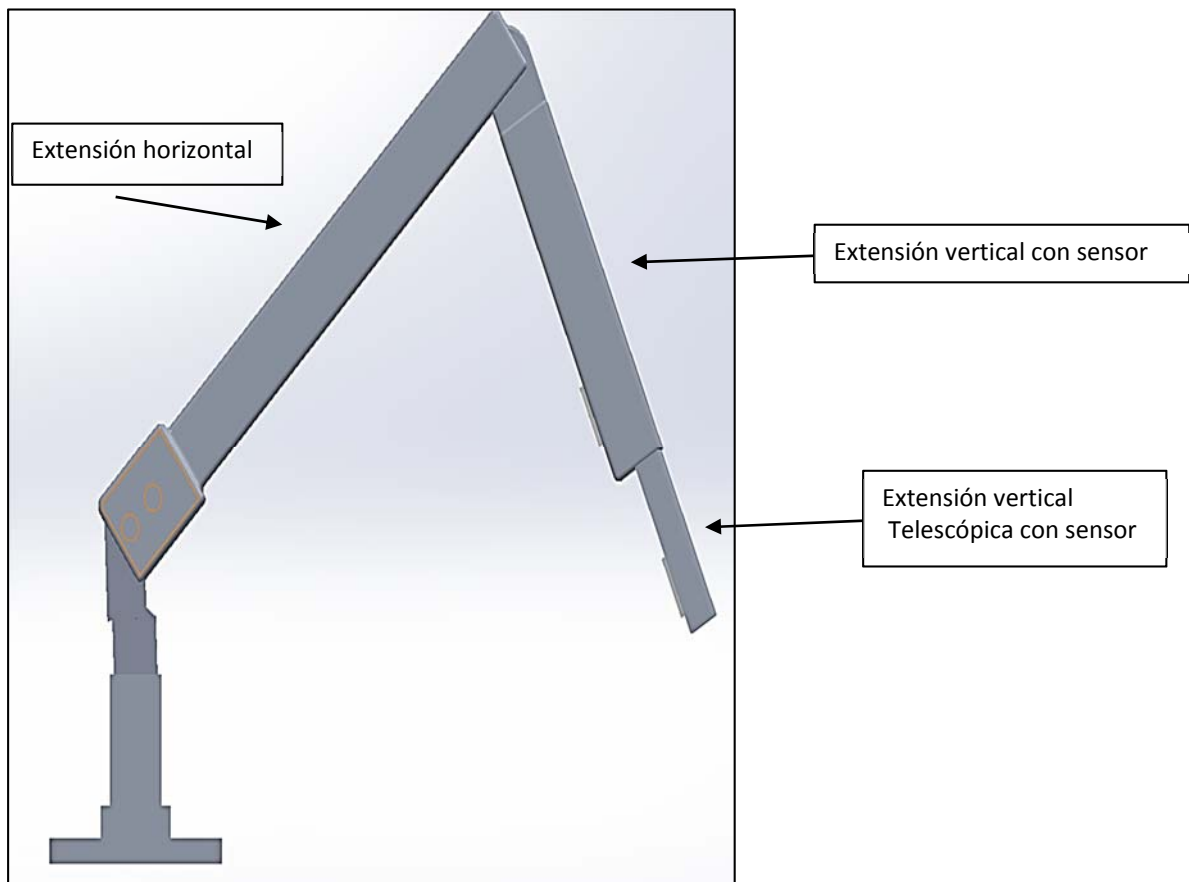


Fig.4.26 Elementos del brazo mecánico

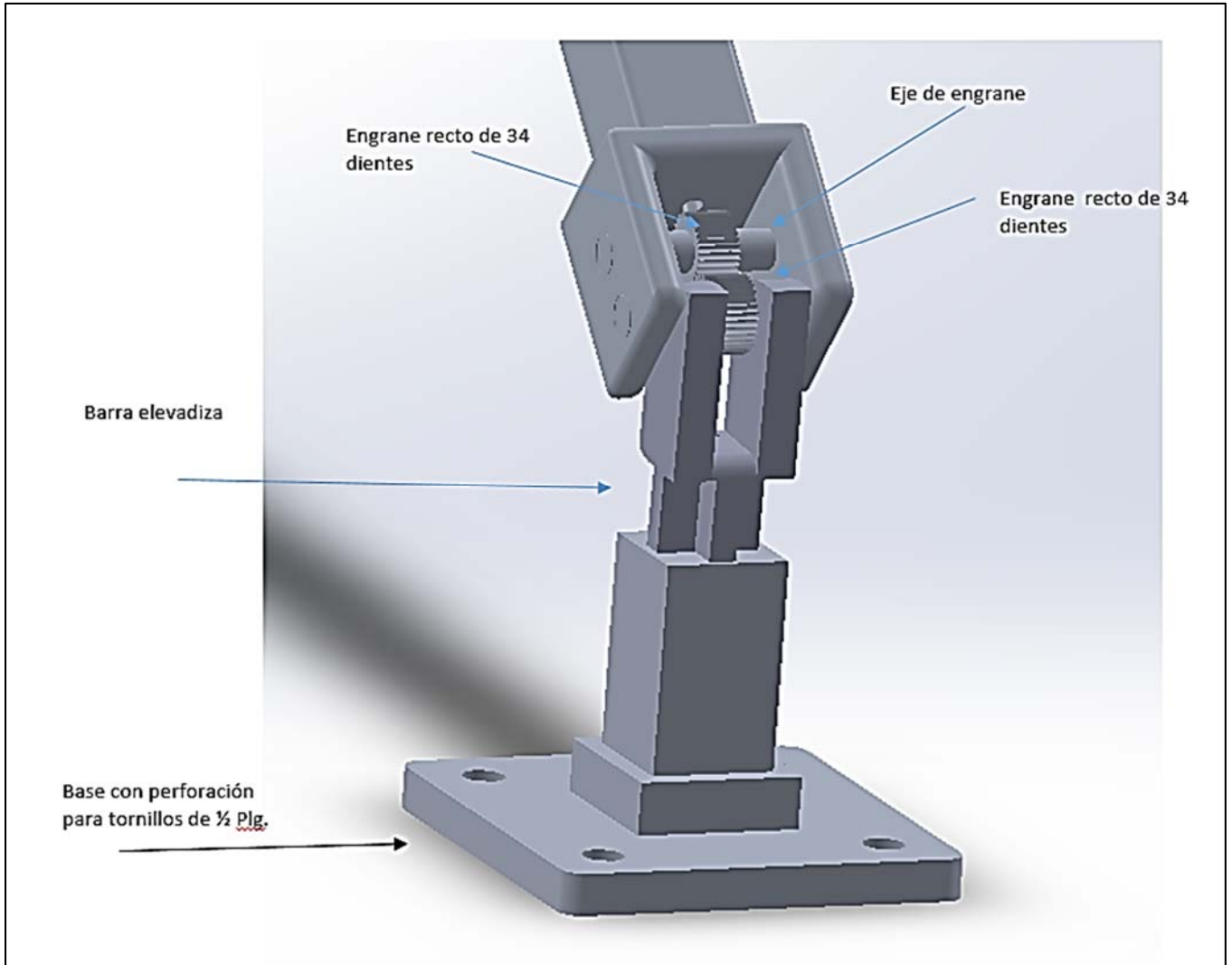


Fig. 4.27 Elementos del brazo mecánico

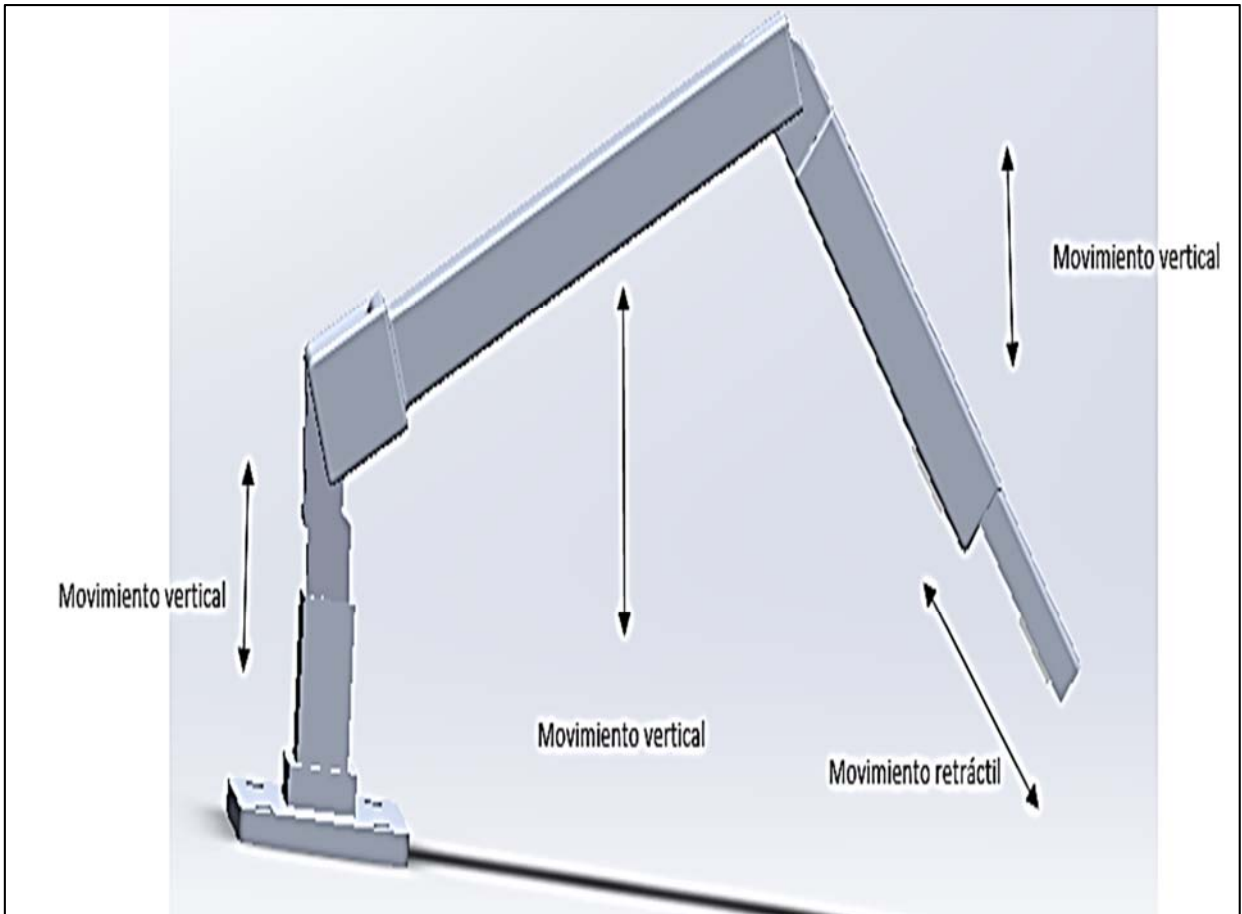


Fig. 4.28 Elementos del brazo mecánico y su movimiento

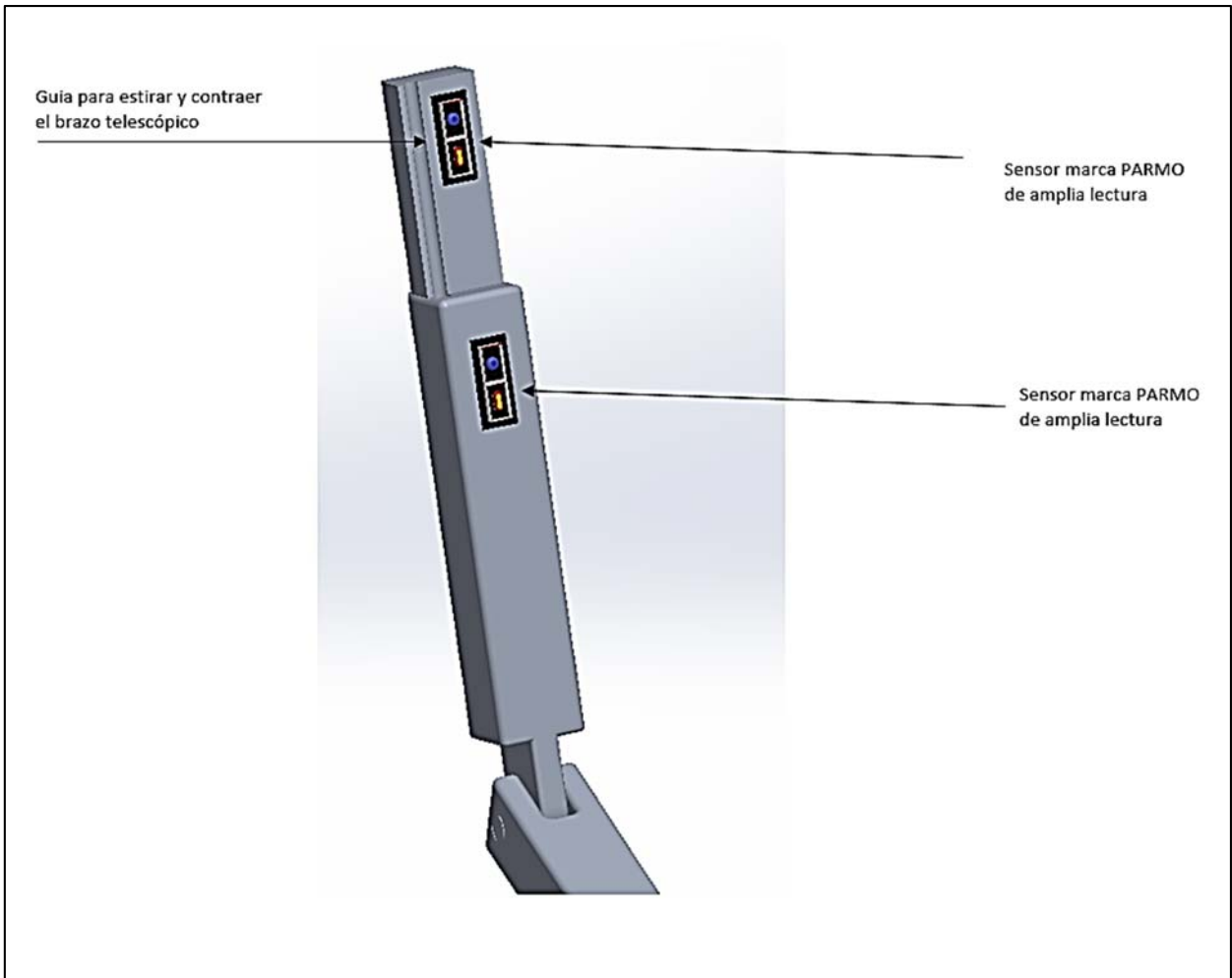


Fig.4.29 Elementos del brazo mecánico y la ubicación de sensores

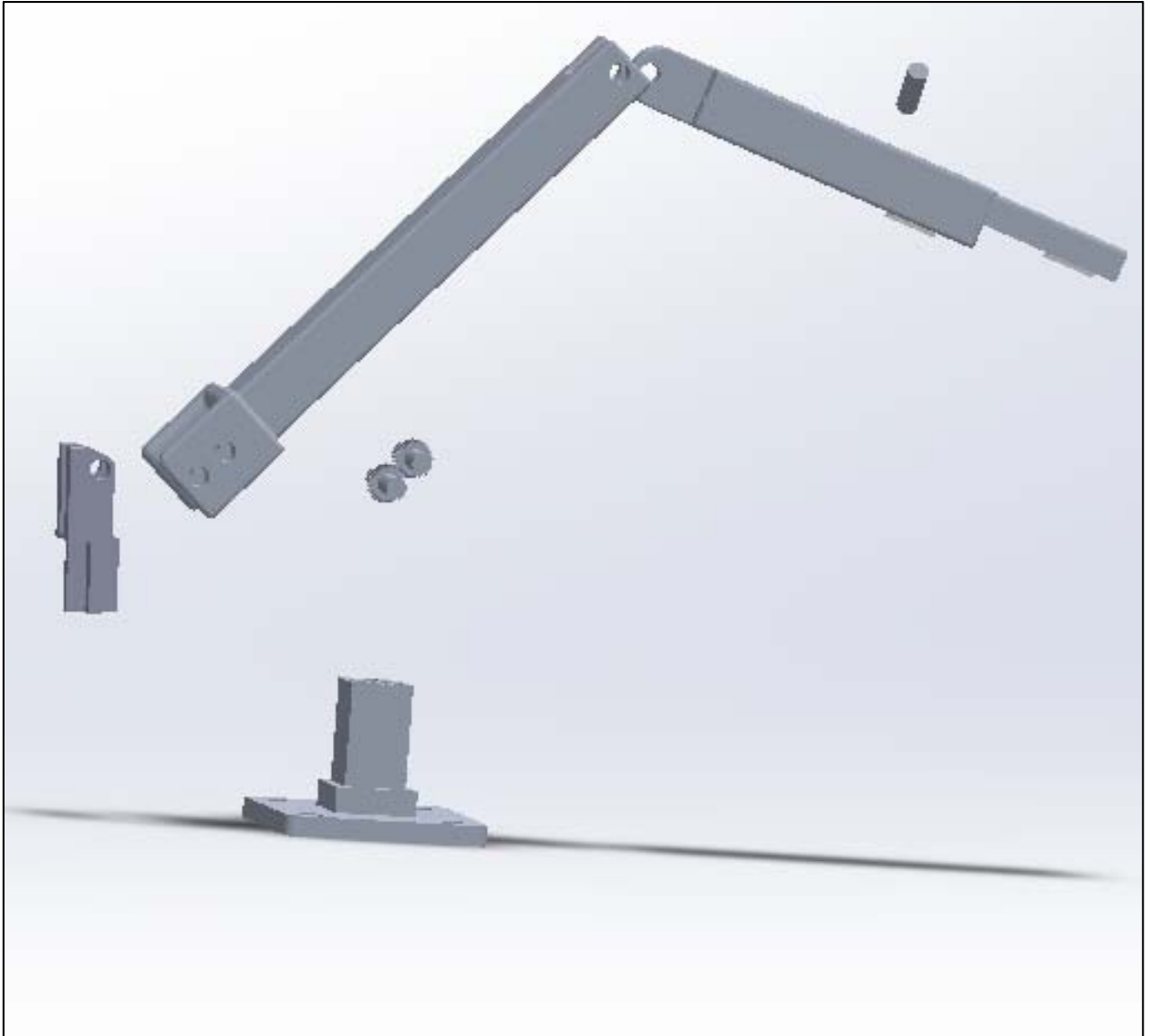


Fig. 4.30 Vista lateral de elementos explosionados en Solidworks

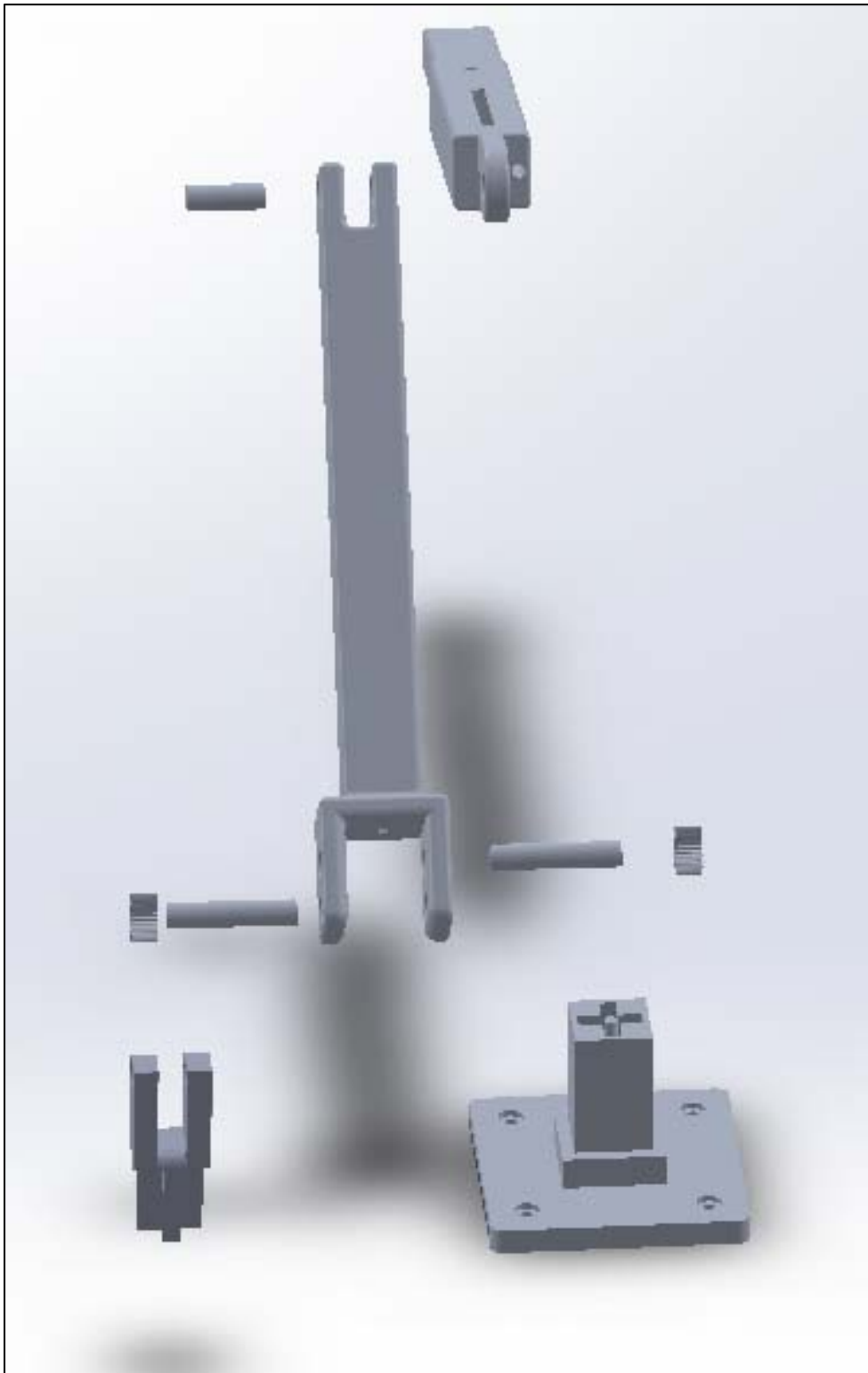


Fig. 4.31 Vista posterior de elementos explosionados en Solidworks

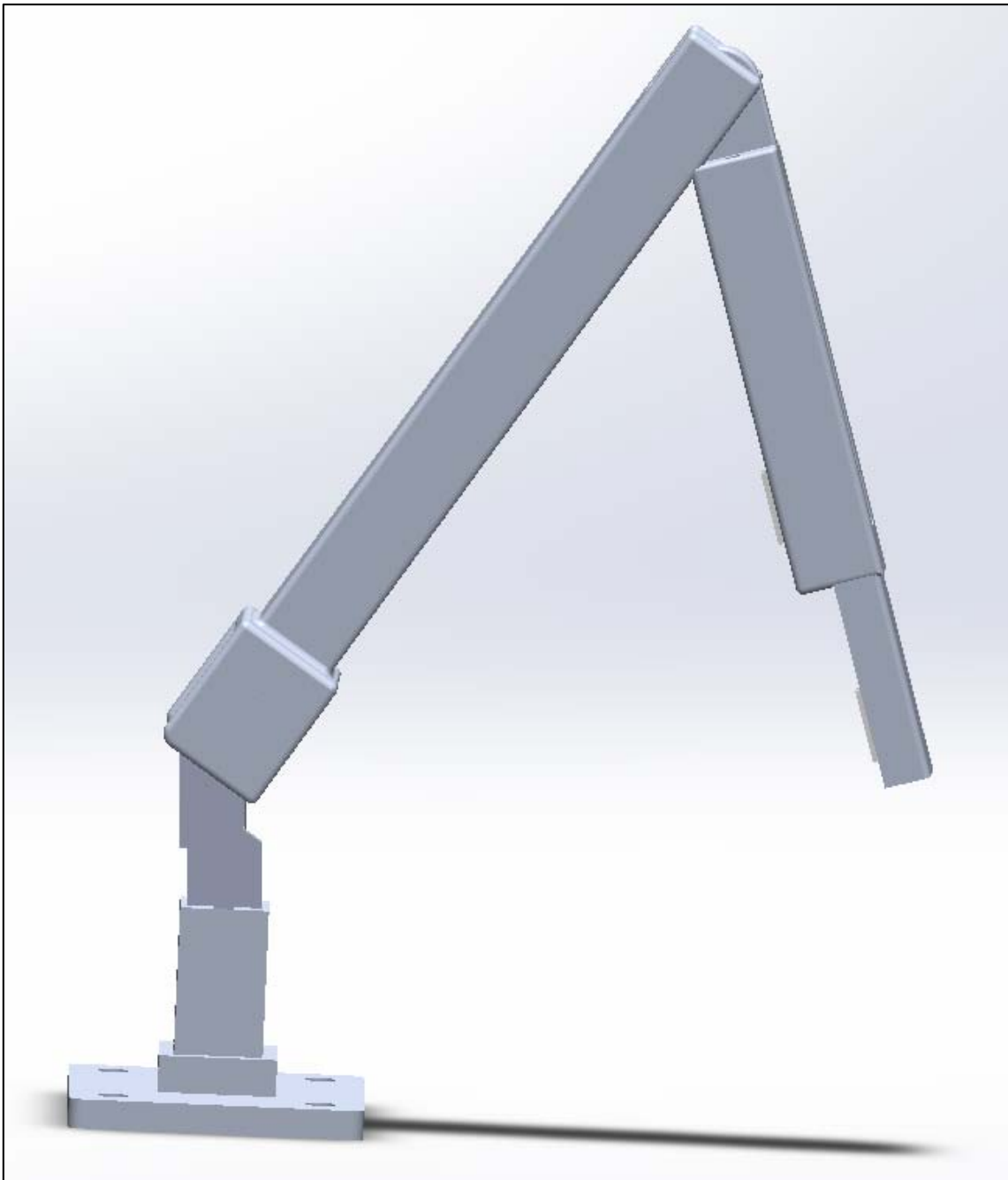


Fig. 4.32 Brazo mecánico completo

CAPÍTULO 5 RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios ya que el diseño de los componentes y la realización del análisis del movimiento del brazo cumplieron con el objetivo el cual era la correcta alineación de los sensores con respecto a los medidores eléctricos digitales, aunque fue realizado de manera simulada, los tiempos que se necesitaron para la colocación del watthorímetro y la respectiva alineación del brazo con el sensor no excederá los 10 minutos que con anterioridad era manejada la operación de calibración de dichos medidores, todo esto es posible debido a que estará realizado la calibración en dos medidores eléctricos al mismo tiempo ya que el brazo integra dos sensores marca PARMO® de amplia lectura, los cuales beneficiaran a disminuir la incertidumbre al momento de realizar la lectura del medidor, ya que tiene la capacidad de tener una lectura con un ángulo de $(\pm, 10^\circ)$, lo cual evitara fallo de alineación. Ver figuras 5.1, 5.2, 5.3. 5.4, 5.5 y 5.6.

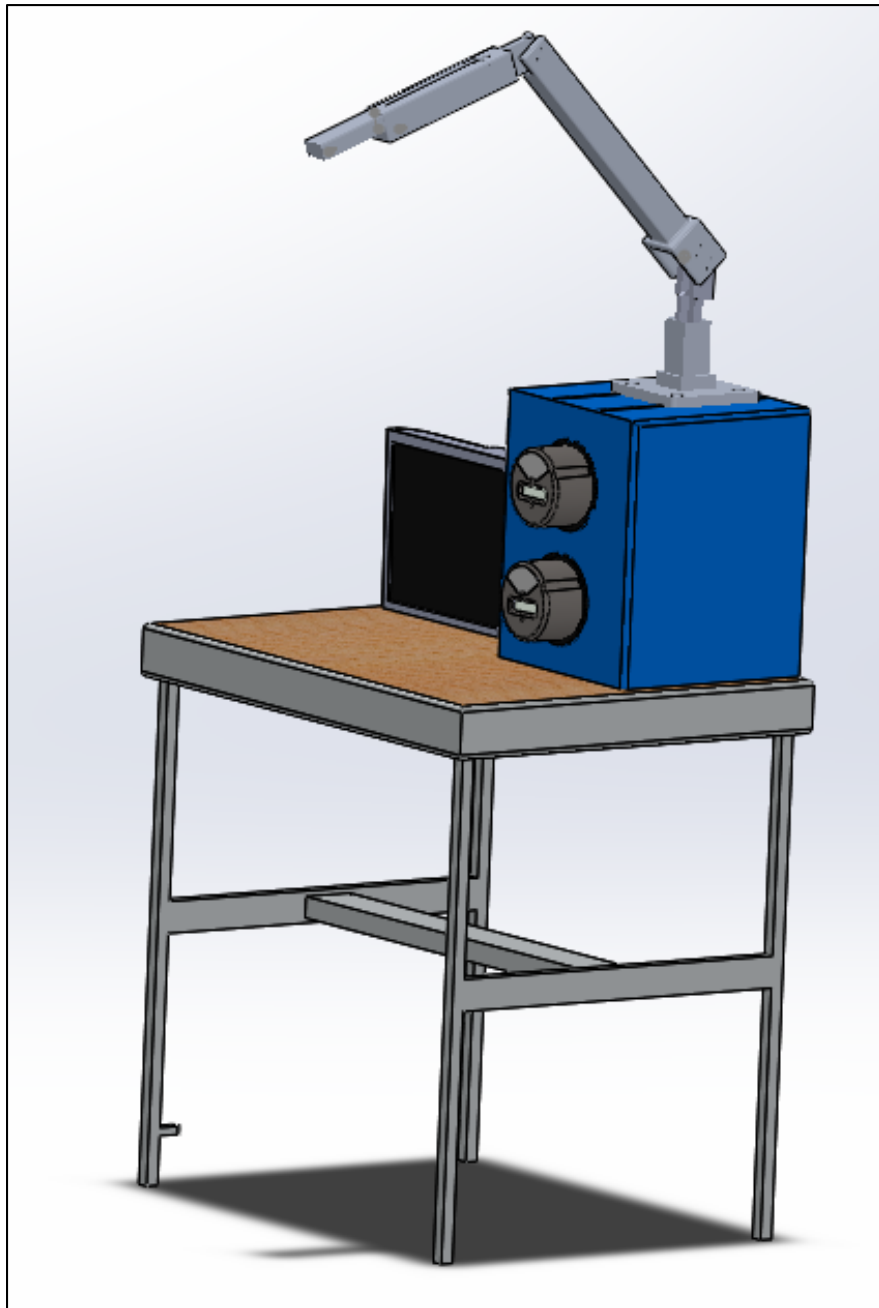


Fig. 5.1 Secuencia de alineación de brazo con respecto a medidores eléctricos

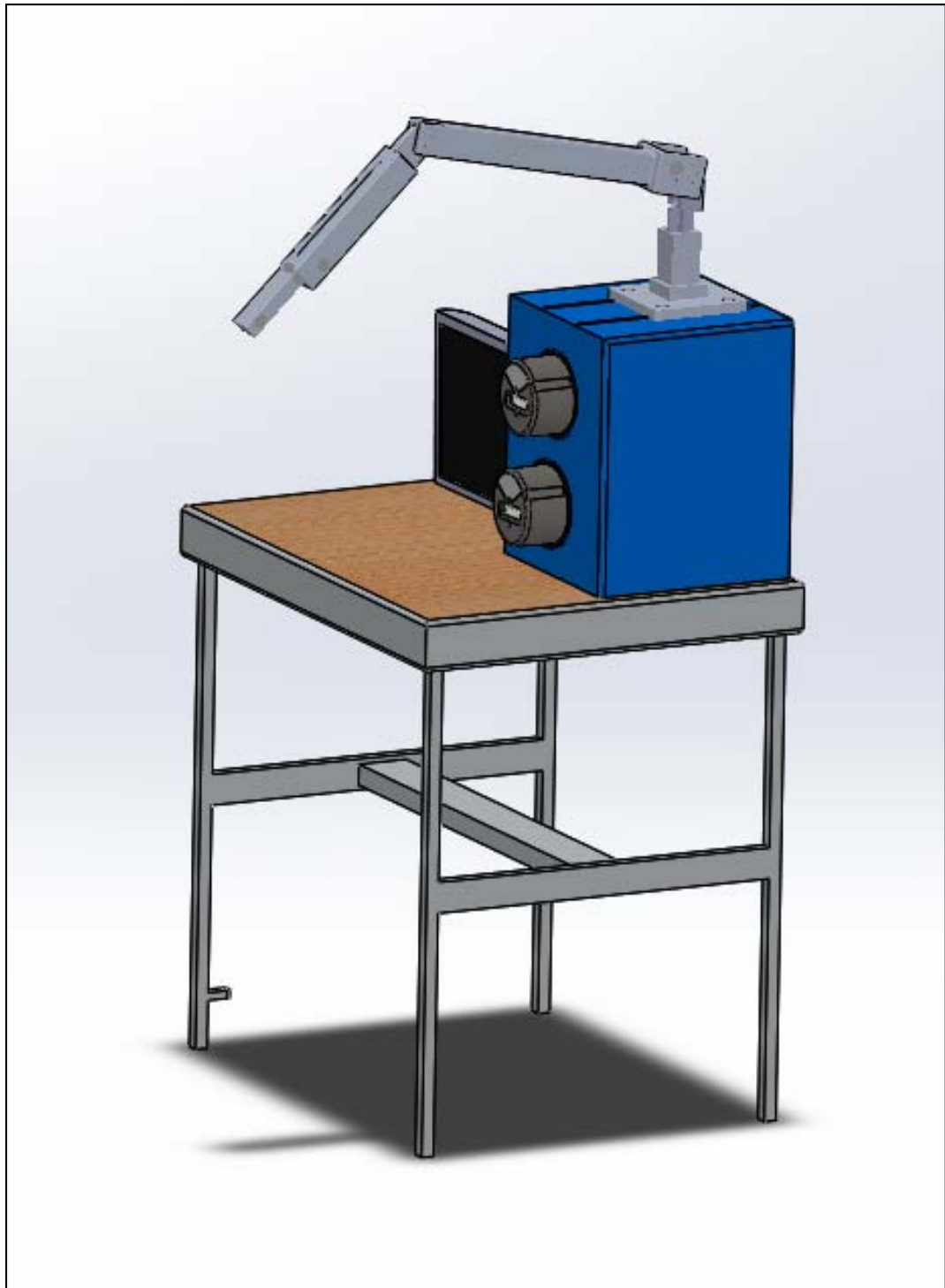


Fig. 5.2 Secuencia de alineación de brazo con respecto a medidores eléctricos

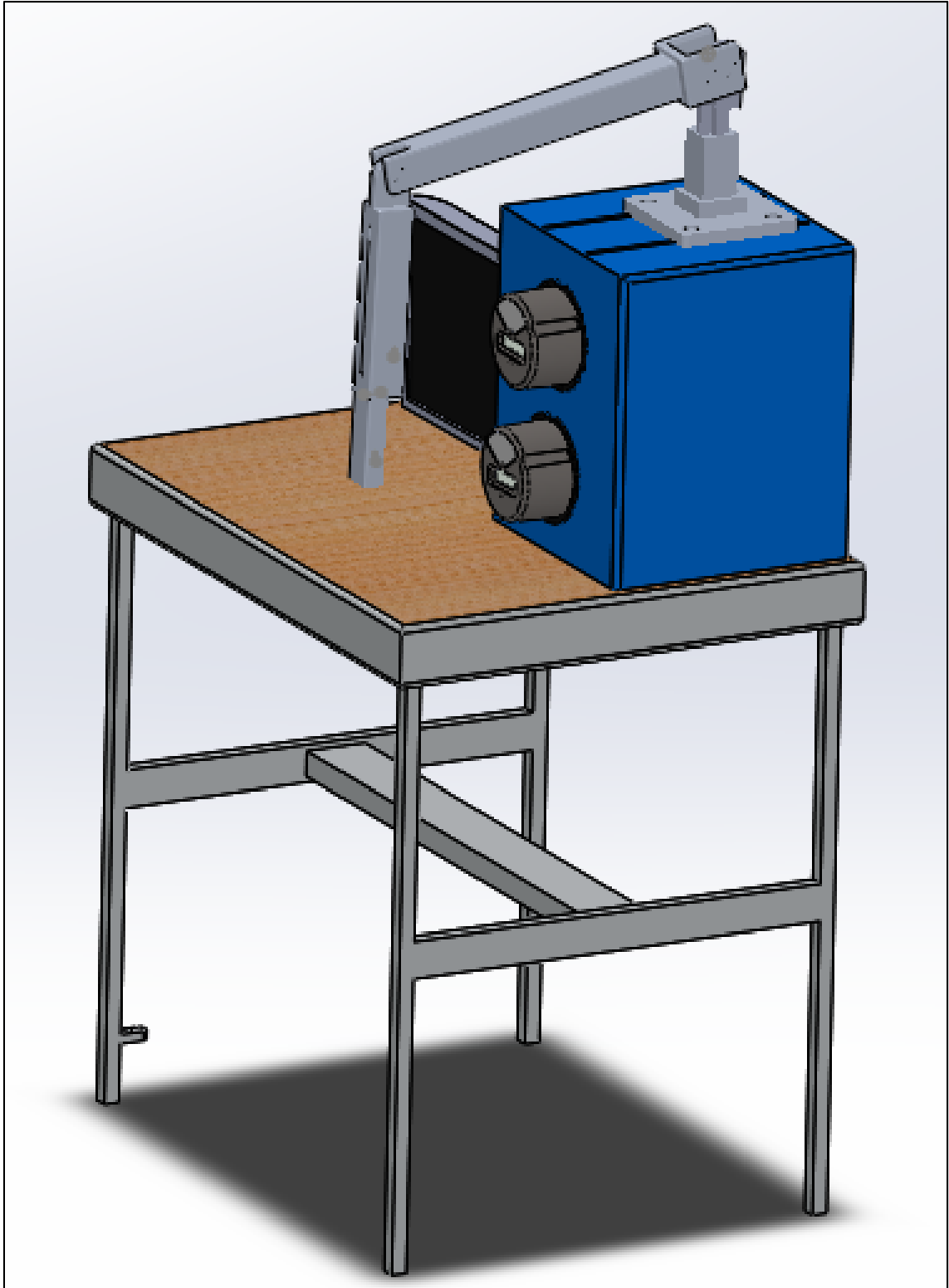


Fig. 5.3 Secuencia de alineación de brazo con respecto a medidores eléctricos

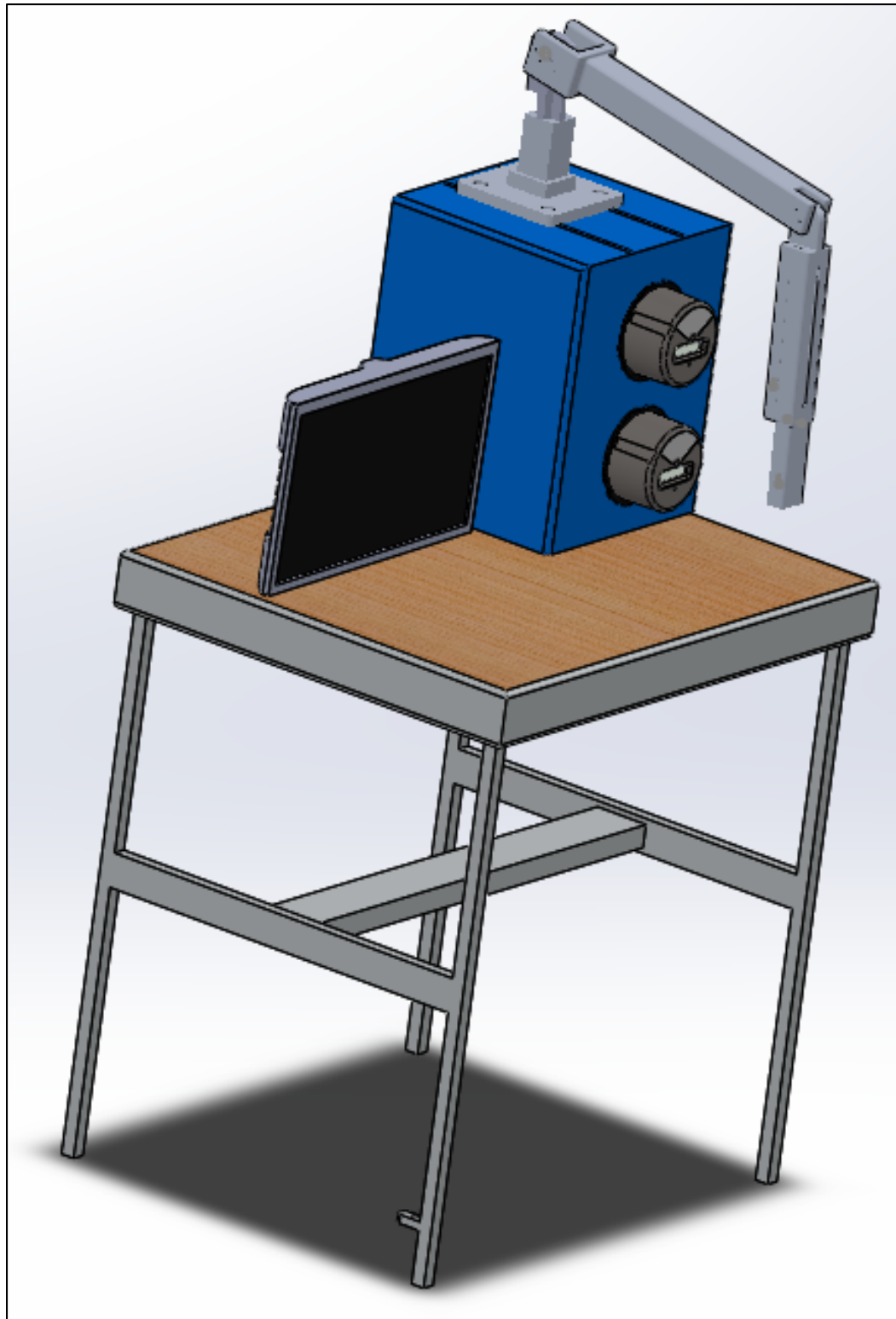


Fig. 5.4 Secuencia de alineación de brazo con respecto a medidores eléctricos

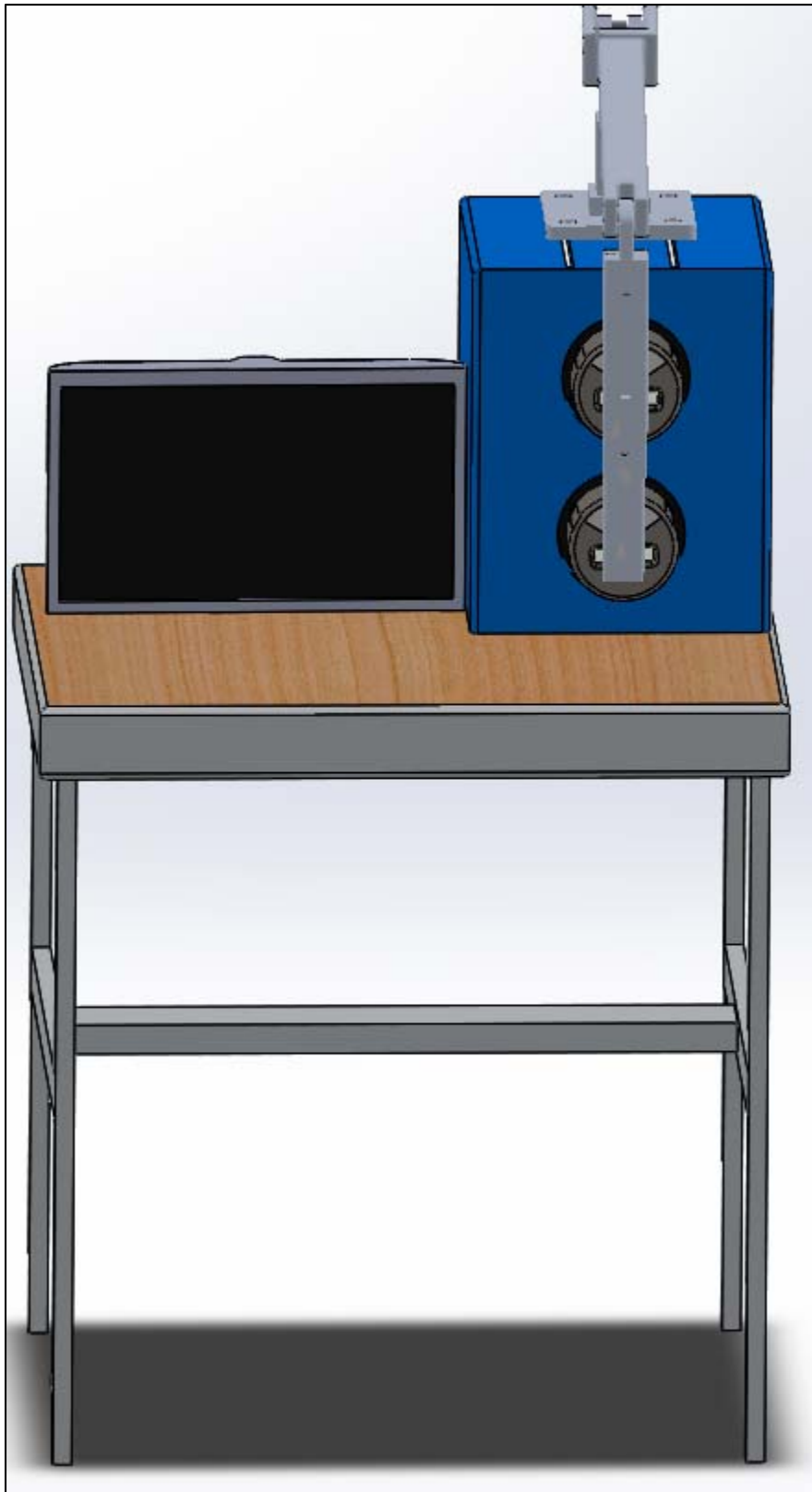


Fig. 5.5 Secuencia de alineación de brazo con respecto a medidores eléctricos

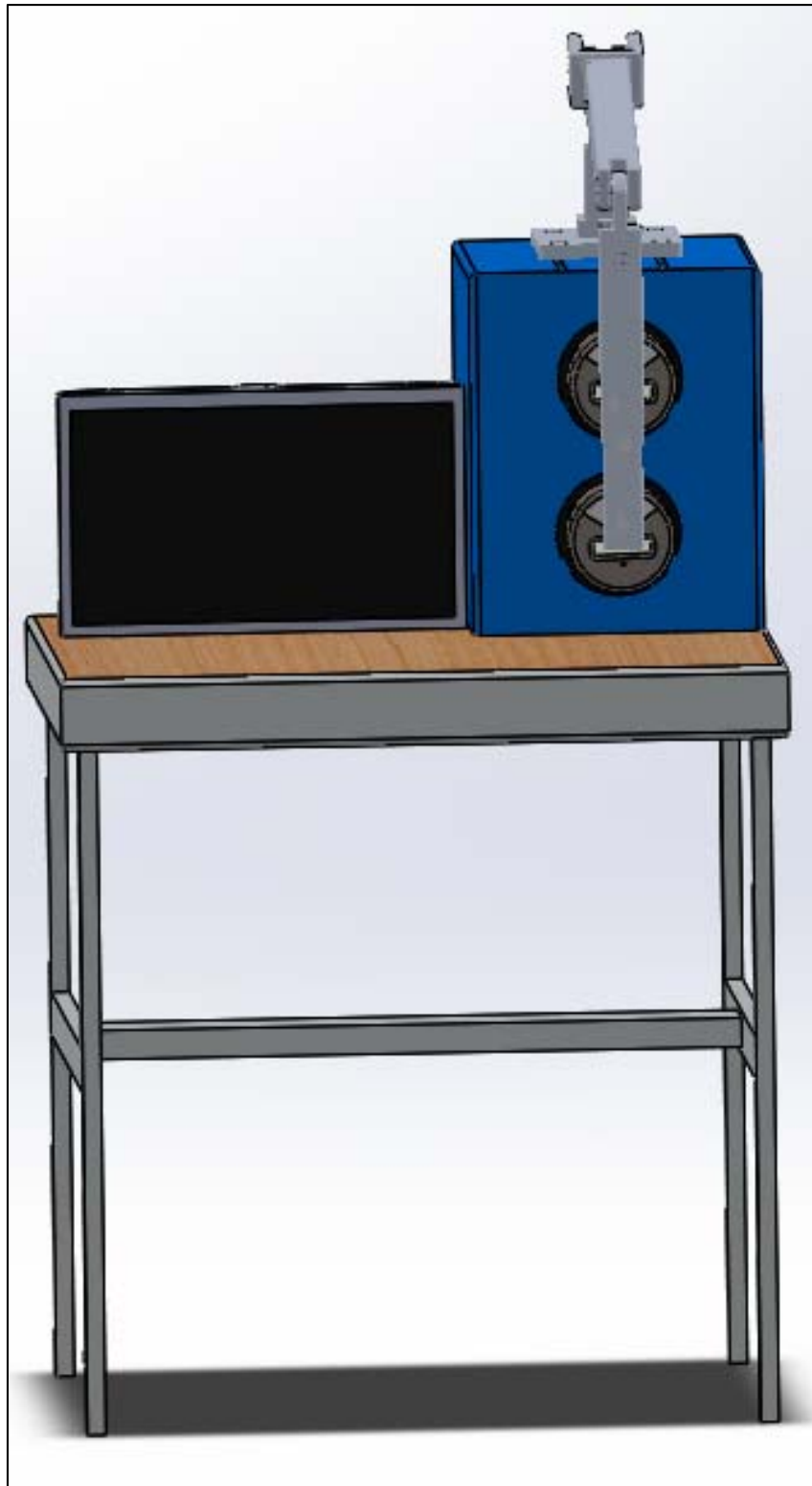


Fig. 5.6 Secuencia de alineación de brazo con respecto a medidores eléctricos

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1 Conclusión.

Se realizó el diseño del brazo mecánico para la calibración de medidores eléctricos digitales con la finalidad de mejorar los tiempos de operación de calibración de dichos medidores, y así mismo esto se refleja en los costos que estos involucran.

La aplicación de este brazo en la calibración de medidores, ayudara a la Comisión Federal de Electricidad a que el stock de medidores que tienen que ser calibrados en un tiempo determinado se cumpla sin la necesidad de tener un excedente de personal y equipos en constante uso, por lo tanto los costos de operación tendrán un decremento considerable.

6.2 Recomendaciones.

Los materiales utilizados son costosos pero son de mejor calidad dando una vida útil mayor que si se utilizara algún acero al carbón, uno de los mayores beneficios es que el mantenimiento que se necesita es mínimo ya que este soporta hasta la oxidación y corrosión.

6.3 Trabajos futuros.

El trabajo futuro de este proyecto es implementarlo en una mesa más grande que tiene la capacidad de medir hasta 12 medidores en serie y de manera independiente, dando como resultado una disminución en los tiempos, costos y mano de obra ya que una sola persona puede calibrar más equipos.

Se implementara por medio de un mecanismo que tendrá la capacidad de manipular una serie de 6 brazos con dos sensores, dando como resultado una mayor cantidad de medidores, siempre y cuando los medidores sean de la misma serie, ya que las dimensiones son diferentes, sin embargo solo será cuestión de ajustar de manera independiente el brazo y podrá realizar la calibración de dicho medidor.

Referencias

1. Mecánica de materiales, Editorial Alfaomega, Autor: Fitzgerald año: 2007
Tema; Esfuerzos cortantes.
2. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición, Editorial McGraw Hill,
Autor: Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, Tema Diseño de engranes
3. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición Editorial McGraw Hill
Autor: Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, Tema Ejes
4. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Octava edición Editorial McGraw Hill
Autor: Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett, Tema Movimiento de engranes
5. Mecánica de materiales, Editorial Thomson Sexta edición, Autor: James M. Gere
Tema: Esfuerzos Torsionales.
6. Mecánica de materiales, Editorial Pearson Novena edición, Autor: R.C. Hibbeler
Tema: Aplicación de esfuerzos.
7. Manual de Solidworks 2009, Editorial Baker Avenue, Autor: SolidWorks Corporation,
Tema; Diseño de estructuras
8. Resistencia de materiales y estructuras, Editorial CIMNE, Autor Juan Miquel Canet,
Tema: Tensiones por esfuerzo cortante
9. Engranés Rectos, Editorial Tecnun, Autor Universidad de Navarra, Tema; Elementos
de un engrane recto
10. Elementos de Maquinas, Editorial Universidad de los Andes, Autor: Escuela de
Mecánica, Tema: Engranés

11. Diseño de Mecanismos, Editorial Prentice Hall Tercera Edición , Autor: Arhur G. Erdman, Tema: Análisis y síntesis de mecanismos
12. Diseño de Elementos Mecánicos, Editorial FcFm, Autor: Alejandro Ortiz Bernardin, Tema: Normas y códigos
13. Diseño de Elementos Mecánicos, Editorial FcFm, Autor: Alejandro Ortiz Bernardin, Tema: Proceso de diseño
14. Diseño de Elementos de Maquinas, Editorial LabTecMat, Autor: M.I. Felipe Diaz del Castillo Rodríguez, Tema ; Aleaciones Ferrosas y no Ferrosas
15. Diseño de Elementos de Maquinas, Editorial LabTecMat, Autor: M.I. Felipe Diaz del Castillo Rodríguez, Tema ; Rigidez, Modulo de Young
16. Diseño de Elementos de Maquinas, Editorial LabTecMat, Autor: M.I. Felipe Diaz del Castillo Rodríguez, Tema ; Diagrama de Esfuerzo-Deformación
17. Norma Oficial Mexicana, **NOM-044-SCFI-2008**, Medidores eléctricos
18. Norma ISO 286-1, Tolerancias y dimensiones
19. Norma ASTM B01 y A01 Materiales ferrosos y no ferrosos.