

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE - QUITO**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**Tesis previa a la obtención del título de:  
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:  
REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DEL EQUIPO PARA REALIZAR  
ENSAYOS DE DEFLEXIÓN EN VIGAS PARA EL LABORATORIO DE LA  
UPS**

**AUTORES:**

**HERNÁN ALEJANDRO SANTAMARÍA ESCOBAR Y  
JUAN ANDRÉS TAMAY CLAVÓN**

**DIRECTOR:**

**ING. FERNANDO LARCO, MSc**

**QUITO, MARZO 2015**

Certifico que el presente trabajo, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico ha sido realizado en su totalidad por los señores:  
Hernán Alejandro Santamaría Escobar y Juan Andrés Tamay Clavón.

Los conceptos desarrollados, análisis, cálculos realizados, conclusiones y recomendaciones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

-----  
Ing. Enrique Fernando Larco Calvache, MSc  
DIRECTOR DE TESIS

## **DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, Hernán Alejandro Santamaría Escobar y Juan Andrés Tamay Clavón, declaramos bajo juramento que la investigación realizada es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentada y que se han consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el presente documento.

A través de esta declaración autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

-----  
Alejandro Hernán Santamaría Escobar

CC: 1003176060

-----  
Juan Andrés Tamay Clavón

CC: 1720163128

## ***Dedicatoria***

*A Dios, por brindarme la vida para poder llegar al final de este objetivo tan anhelado.*

*A mis padres, Mauricio y Narcisa, quienes han sido un pilar importante en mi vida brindándome todo su amor y apoyo incondicional.*

*A mis hermanos por ser los mejores amigos.*

***Hernán Alejandro Santamaría Escobar***

*Este proyecto está dedicado a mis padres Nélide Y Juan, quienes fueron mi ejemplo de superación, por brindarme toda su comprensión y sabiduría en los momentos más difíciles de mi vida.*

*A mis hermanas por brindarme su apoyo a lo largo de toda mi vida, ya que gracias a su amor y comprensión hoy logro culminar una etapa trascendental de mi vida.*

***Juan Andrés Tamay Clavón***

## **AGRADECIMIENTO**

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica que formaron parte de nuestra educación, por transmitir sus conocimientos, experiencias, valores y consejos que nos ayudaron a desarrollar nuestras habilidades y formarnos profesionalmente.

Queremos brindar un agradecimiento especial a nuestro tutor, Ing. Fernando Larco, por la ayuda y paciencia para lograr culminar este proyecto.

A nuestros amigos y compañeros con los cuales hemos compartido momentos importantes para culminar esta etapa de nuestras vidas.

*Alejandro y Juan*

## ÍNDICE GENERAL

<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>i</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>ii</b>
<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ALCANCE.....</b>	<b>iv</b>
<b>HIPÓTESIS .....</b>	<b>v</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS.....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 FUERZAS CORTANTES Y MOMENTOS FLECTORES.....</b>	<b>1</b>
1.1.1 TIPOS DE VIGAS .....	1
1.1.2 TIPOS DE CARGAS .....	2
<b>1.2 ESFUERZOS EN VIGAS .....</b>	<b>3</b>
1.2.1 FLEXIÓN PURA Y FLEXIÓN NO UNIFORME.....	3
1.2.2 CURVATURA DE UNA VIGA .....	5
<b>1.3 DEFLEXIÓN DE UNA VIGA.....</b>	<b>5</b>
1.3.1 ECUACIONES DIFERENCIALES DE LA CURVA DE DEFLEXIÓN .....	6
<b>1.4 DIAGRAMAS DE ESFUERZO CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR.....</b>	<b>9</b>
1.4.1 CONVENCION DE SIGNOS .....	10
1.4.2 CARGA CONCENTRADA.....	11
1.4.3 DIAGRAMAS DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR DE UNA VIGA CON CARGA CONCENTRADA .....	12
<b>1.5 UNIONES SOLDADAS .....</b>	<b>14</b>
<b>1.6 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO .....</b>	<b>14</b>
1.6.1 TRANSMISIÓN DE ENGRANAJES POR CADENA.....	15
1.6.2 PIÑÓN .....	15
1.6.3 TERMINOLOGÍA Y DEFINICIONES.....	16
1.6.4 CADENA DE TRANSMISIÓN .....	17

<b>1.7 ENSAYO DE DEFLEXIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>1.8 MATERIAL DE LAS VIGAS.....</b>	<b>20</b>
1.8.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES .....	20
1.8.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIAES.....	20
<b>1.9 AUTOMATIZACIÓN .....</b>	<b>21</b>
<b>1.10 ADQUISICIÓN DE DATOS (DAQ).....</b>	<b>22</b>
1.10.1 PARTES DE UN SISTEMA DAQ.....	22
<b>1.11 SENSORES .....</b>	<b>23</b>
1.11.1 TIPOS DE SENSORES.....	23
1.11.2 SENSORES DE DISTANCIA.....	23
1.11.3 ULTRASONIDO .....	23
1.11.4 INFRAROJO REFLEXIVO .....	24
1.11.5 POR CABLE O HILO .....	24
<b>1.12 CELDAS DE CARGA .....</b>	<b>25</b>
1.12.1 USOS .....	25
<b>1.13 GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS .....</b>	<b>25</b>
1.13.1 APLICACIONES .....	26
<b>1.14 LABVIEW .....</b>	<b>26</b>
 <b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>ESTUDIO DE ALTERNATIVAS .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS .....</b>	<b>27</b>
2.1.1 COSTOS .....	27
2.1.2 FIABILIDAD.....	27
2.1.3 OPERACIÓN.....	27
2.1.4 EXACTITUD.....	28
<b>2.2 VALORACIÓN NUMÉRICA.....</b>	<b>28</b>
<b>2.3 ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA ELABORACIÓN DE GRÁFICAS DE DEFLEXIÓN.....</b>	<b>28</b>
2.3.1 ALTERNATIVA 1: PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE).....	28
2.3.2 ALTERNATIVA 2: DAQ (ADQUISICIÓN DE DATOS) .....	30
2.3.3 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS .....	31

2.3.4	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	32
<b>2.4</b>	<b>ALTERNATIVAS PARA LA MEDICIÓN DE LA DEFLEXIÓN EN LA VIGA.....</b>	<b>32</b>
2.4.1	ALTERNATIVA 1: MEDICIÓN DE LA DEFLEXIÓN MEDIANTE SENSOR .....	32
	ULTRASÓNICO .....	32
2.4.2	ALTERNATIVA 2: MEDICIÓN DE LA DEFLEXIÓN MEDIANTE SENSOR	
	INFRARROJO .....	33
2.4.3	ALTERNATIVA 3: MEDICIÓN DE LA DEFLEXIÓN MEDIANTE GALGAS	
	EXTENSIOMÉTRICAS .....	34
2.4.4	EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS .....	35
2.4.5	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN PARA DEFLEXIÓN EN LA VIGA.....	35
<b>2.5</b>	<b>ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE MEDICIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE LAS</b>	
	<b>REACCIONES .....</b>	<b>36</b>
2.5.1	ALTERNATIVA 1: OBTENCIÓN DE REACCIONES MEDIANTE UN DINAMÓMETRO	
	(BALANZA).....	36
2.5.2	ALTERNATIVA 2: OBTENCIÓN DE REACCIONES MEDIANTE CELDAS DE CARGA...	37
2.5.3	EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS .....	38
2.5.4	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE LAS	
	REACCIONES .....	39
 <b>CAPÍTULO 3</b>		
	<b>REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1</b>	<b>DIAGNÓSTICO DEL EQUIPO EXISTENTE .....</b>	<b>40</b>
3.1.1	APOYO DE VIGAS .....	40
3.1.2	MEDICIÓN DE LA DEFLEXIÓN.....	41
3.1.3	ESTRUCTURA PARA APLICAR LA CARGA .....	42
3.1.4	MARCO METÁLICO QUE SOPORTA AL EQUIPO DE DEFLEXIÓN DE VIGAS.....	42
3.1.5	CINTA MÉTRICA .....	43
<b>3.2</b>	<b>ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL MARCO METÁLICO QUE SOPORTA AL EQUIPO DE</b>	
	<b>DEFLEXIÓN DE VIGAS.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.1</b>	<b>SIMULACIÓN DE LA ESTRUCTURA ACTUAL UTILIZANDO SAP2000 V14 .....</b>	<b>43</b>
<b>3.3</b>	<b>REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA LA CELDA DE CARGA.....</b>	<b>47</b>
3.3.1	CÁLCULO DE LA COLUMNA.....	47
3.3.2	CÁLCULO DE LAS PLACAS RECTANGULARES INFERIORES .....	50



3.3.3	CÁLCULO DE LA PLACA CUADRADA SUPERIOR.....	52
3.3.4	CÁLCULO DE LA PLACA SUPERIOR DE SUJECCIÓN .....	53
<b>3.4</b>	<b>DISEÑO DE LA BASE TRANSPORTADORA .....</b>	<b>57</b>
3.4.1	CRITERIO DE SELECCIÓN Y DISEÑO PARA LA RIEL.....	57
3.4.2	CRITERIO DE SELECCIÓN SOPORTES DE SENSORES .....	57
<b>3.5</b>	<b>REDISEÑO ESTRUCTURA SUJECCIÓN PESO .....</b>	<b>58</b>
<b>3.6</b>	<b>DISEÑO DE SOLDADURA .....</b>	<b>62</b>
3.6.1	CÁLCULO DE SOLDADURA PLACA SUPERIOR DE SUJECCIÓN.....	63
<b>3.7</b>	<b>SELECCIÓN DEL SISTEMA MOTRIZ .....</b>	<b>66</b>
3.7.1	INERCIA DE LAS MASAS EN MOVIMIENTO .....	67
3.7.2	CÁLCULO DEL TORQUE Y SELECCIÓN DEL MOTOR.....	72
3.7.3	SELECCIÓN DE LA CADENA .....	74
<b>3.8</b>	<b>SELECCIÓN DE SENSORES Y DAQ .....</b>	<b>75</b>
3.8.1	CELDA DE CARGA .....	75
3.8.2	SENSORES DE DISTANCIA INFRARROJO.....	76
3.8.3	TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS .....	77
<b>3.9</b>	<b>PROGRAMACIÓN EN LABVIEW.....</b>	<b>78</b>
3.9.1	DIAGRAMAS DE BLOQUE .....	78
 <b>CAPÍTULO 4</b>		
	<b>COSTOS.....</b>	<b>84</b>
<b>4.1</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS .....</b>	<b>84</b>
4.1.1	COSTOS DIRECTOS .....	84
4.1.2	COSTOS INDIRECTOS.....	88
<b>4.2</b>	<b>RESUMEN DE COSTOS.....</b>	<b>89</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>90</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>90</b>
	<b>LISTA DE REFERENCIAS .....</b>	<b>91</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>93</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO 1

Tabla 1.1 Características de los materiales .....	20
Tabla 1. 2 Propiedades mecánicas de los materiales.....	21
Tabla 1.3 Tipos de sensores .....	23

### CAPÍTULO 2

Tabla 2.1 Valoración numérica.....	28
Tabla 2.2 Evaluación de alternativas DAQ y PLC.....	31
Tabla 2.3 Evaluación de alternativa Reloj Analógico Digital y Strain Gage .....	35
Tabla 2.4 Evaluación de alternativa Balanza y Celda De Carga .....	38

### CAPÍTULO 3

Tabla 3.1 Características tubo estructural negro cuadrado .....	48
Tabla 3.2 Tabla resumen de valores.....	54
Tabla 3.3 Elementos de la riel .....	57
Tabla 3.4 Elementos soporte de sensores.....	58
Tabla 3.5 Motor DC .....	74
Tabla 3.6 Coeficiente de rozamiento .....	74

### CAPÍTULO 4

Tabla 4.1 Costos de materia prima .....	84
Tabla 4.2 Costos de elementos normalizados.....	85
Tabla 4.3 Tiempos de utilización de máquinas .....	86
Tabla 4.4 Costos de maquinado .....	86
Tabla 4.5 Costos de mano de obra.....	87
Tabla 4.6 Costos de montaje .....	87
Tabla 4.7 Costo directo total .....	87
Tabla 4.8 Costos de materiales indirectos .....	88

Tabla 4.9 Costos de ingeniería .....	88
Tabla 4.10 Costos totales indirectos .....	89
Tabla 4.11 Resumen de costos.....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

Figura 1.1 Viga simplemente apoyada .....	1
Figura 1.2 Viga en voladizo.....	2
Figura 1.3 Deflexión de una viga en voladizo sometida a una carga P con su respectiva curva de deflexión .....	3
Figura 1.4 Viga simple en flexión pura y diagrama de momentos .....	4
Figura 1.5 Viga simple con su región central en flexión pura y sus extremas en flexión no uniforme.....	4
Figura 1.6 Curvatura elástica de una viga .....	5
Figura 1.7 Curva de deflexión de una viga .....	5
Figura 1.8 Viga en voladizo AB .....	6
Figura 1.9 Sistema de coordenadas .....	6
Figura 1.10 Curva de deflexión.....	7
Figura 1.11 Viga simplemente apoyada con sus diagramas de corte y momento.....	9
Figura 1.12 Viga en voladizo con sus diagramas de corte y momento .....	9
Figura 1.13 Convención de signos fuerza cortante $v$ y momento flexionante $M$ .....	10
Figura 1.14 Diagrama de carga concentrada.....	11
Figura 1.15 Viga simple con una carga concentrada.....	12
Figura 1.16 Corte por secciones de una viga.....	12
Figura 1.17 Diagramas de la fuerza cortante con una carga simple .....	13
Figura 1.18 Momento flector para una viga con una carga simple.....	14
Figura 1.19 Principio general de la soldadura .....	14
Figura 1.20 Transmisión de engranajes con cadena .....	15
Figura 1.21 Terminología de los dientes de los engranes .....	16
Figura 1.22 Partes de la cadena de transmisión.....	18
Figura 1.21 Terminología de los dientes de los engranes .....	23

Figura 1.23 Partes de una DAQ .....	22
Figura 1.24 Galga extensiométrica .....	26
<b>CAPÍTULO 2</b>	
Figura 2.1 El PLC y sus partes .....	29
Figura 2.2 Reloj comparador analógico y sus partes.....	32
Figura 2.3 Reloj comparador digital .....	33
Figura 2.4 Strain Gage y/o Galga Extensiométrica.....	34
Figura 2.5 Balanza de resorte .....	36
Figura 2.6 Celda de carga .....	37
<b>CAPÍTULO 3</b>	
Figura 3.1 Máquina actual de ensayos de deflexión de vigas .....	40
Figura 3.2 Apoyo de las vigas .....	41
Figura 3.3 Reloj comparador .....	41
Figura 3.4 Sistema actual para aplicar la carga .....	42
Figura 3.5 Marco metálico.....	42
Figura 3.6 Cinta métrica .....	43
Figura 3.7 Simulación de la estructura.....	44
Figura 3.8 Estructura aplicada cargas puntuales.....	44
Figura 3.9 Ejecución del programa.....	45
Figura 3.10 Chequeo de la estructura .....	46
Figura 3.11 Chequeo de la estructura por color de crítico.....	46
Figura 3.12 Diagrama de cuerpo libre columna .....	47
Figura 3.13 Perfil Cuadrado 40x40 (mm) .....	49
Figura 3.14 Placa base .....	50
Figura 3.15 Placa base para la sujeción de la base de la celda de carga.....	53
Figura 3.16 Diagrama de esfuerzo cortante.....	55
Figura 3.17 Diagrama de momento flexionante .....	55

Figura 3.18 Diagrama de cuerpo libre base sujeción peso .....	58
Figura 3.19 Diagrama de corte primer tramo .....	59
Figura 3.20 Diagrama de momento flexionante base sujeción del peso .....	59
Figura 3.21 Diagrama de cote segundo tramo .....	60
Figura 3.22 Diagrama de momento flexionante .....	60
Figura 3.23 Soldadura tipo ángulo .....	62
Figura 3.24 Junta soldada.....	63
Figura 3.25 Medidas cordón soldadura.....	63
Figura 3.26 Diagrama sumatoria fuerzas .....	65
Figura 3.27 Eje motor .....	67
Figura 3.28 Diagrama cuerpo libre .....	74
Figura 3.29 Celda de carga .....	76
Figura 3.30 Sensor infrarojo .....	76
Figura 3.31 Daq arduino R3.....	77
Figura 3.32 Diagrama de bloques del menú principal.....	79
Figura 3.33 Diagrama de bloques práctica 1, parte 1 .....	80
Figura 3.34 Diagrama de bloques práctica 1, parte 2 .....	81
Figura 3.35 Diagrama de bloques práctica 2, parte 1 .....	82
Figura 3.36 Diagrama de bloques práctica 2, parte 2 .....	83

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Politécnica Salesiana campus Kennedy, cuenta con un equipo para realizar la práctica de deflexión de vigas, construido en el año 2000 el mismo que opera de forma manual. Este equipo cuenta con dos balanzas para determinar las reacciones, una cinta métrica para medir las distancias y un reloj comparador para conocer la deflexión que se produce en las vigas tras añadir cargas mediante pesas.

Los datos que se toman mediante las balanzas no presentan una lectura confiable debido a la constante necesidad de calibración y a la antigüedad del equipo.

Las distancias de los puntos donde se genera la deflexión a lo largo de la viga se miden a través de una cinta métrica, por lo que se puede producir error en la lectura de la medida.

Estos inconvenientes generan inexactitudes al momento de realizar los ensayos de deflexión de vigas.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Rediseñar y automatizar el equipo para realizar ensayos de deflexión en vigas para el laboratorio de resistencia de materiales de la UPS.

### **ESPECÍFICOS**

- Acondicionar y automatizar el equipo con sensores que permitan obtener los datos mediante un programa elaborado con el software de Labview.
- Realizar los ensayos y obtener las gráficas de momento y corte en tiempo real en el programa desarrollado mediante el software de Labview.
- Realizar una comparación de los ensayos de deflexión en vigas simplemente apoyadas y en voladizo con los datos obtenidos en la práctica del equipo actual y los datos obtenidos del equipo rediseñado para evaluar los resultados obtenidos mediante un banco de pruebas.
- Elaborar planos del equipo.
- Elaborar un manual de funcionamiento del equipo.
- Diseñar las bases para las celdas de carga.



## JUSTIFICACIÓN

Con el avance tecnológico que exige la actualidad, el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad Politécnica Salesiana campus Kennedy puede mejorar la práctica que se realiza en el equipo de deflexión de vigas mediante su automatización, ya que los estudiantes que realicen el ensayo podrán comparar los resultados obtenidos de forma teórica con los datos obtenidos de forma manual y a su vez compararlos con los datos obtenidos automáticamente.

Es así que el rediseño y la automatización de esta máquina permitirá ofrecer una práctica más didáctica a los estudiantes, ya que los datos obtenidos mediante los sensores serán enviados a un programa elaborado en LabView con el cual se podrá seleccionar el tipo de material con el que se realizará la práctica, conocer la carga aplicada, las reacciones producidas, medir la deflexión en cualquier punto de la viga, obtener la gráfica de la deflexión de la viga en tiempo real, y obtener los diagramas de corte y momento flexionante.

## ALCANCE

Verificar el diseño actual e inspeccionar el estado de los materiales con los que fue construida, para posteriormente realizar una evaluación y diagnóstico de las posibles mejoras tecnológicas que se pueda dar a la máquina existente.

Elaboración de planos de conjunto y de montaje.

Generación de guías de prácticas (manual de operación), para la correcta utilización de la máquina al momento de realizar los ensayos de deflexión de vigas.

Para el acondicionamiento y automatización del equipo se elaborará un programa mediante el software de Labview para que se pueda realizar el ensayo de una manera más didáctica; se incluirá distintos tipos de sensores, celdas de carga para conocer las reacciones y la carga aplicada, sensores de distancia, y galgas extensiométricas (strain gages) para conocer la deflexión producida en la viga.

Los datos de los sensores serán tomados mediante una DAQ (Tarjeta de adquisición de datos) y enviados vía USB a un ordenador. El programa elaborado mediante el software de Labview permitirá mostrar los resultados obtenidos de una manera didáctica. Además se podrán elaborar los diagramas de corte y momento en forma automática.

## HIPÓTESIS

- El rediseño y automatización de la máquina para ensayos de deflexión de vigas, permitirá realizar la práctica con vigas de acero, cobre y aluminio de hasta 1m de longitud y pesos de 1Kg, 2Kg y 5Kg.
- El programa elaborado con el software de LabView permitirá elaborar los diagramas de corte y momento en tiempo real y podrán ser visualizados en forma automática.
- Será posible saber el valor de las reacciones producidas y del momento flexionante.
- Se podrá conocer exactamente el valor de la deflexión en cualquier punto de la viga.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Celda de carga:** Es un transductor que se utiliza para convertir una fuerza en una señal eléctrica. La fuerza que se desea medir deforma una galga extensiométrica que convierte el desplazamiento o deformación en señales eléctricas.

**DAQ:** Tarjeta de adquisición de datos

**Deflexión:** La deflexión de la viga en cualquier punto a lo largo de su eje es el desplazamiento de ese punto desde su posición original, medido en la dirección “y”. Se denota con la letra  $v$ .

**Esfuerzo cortante:** Es el que viene dado por la resultante de tensiones cortantes  $\tau$ , es decir, tangenciales, en el área para la cual se pretende determinar el esfuerzo cortante.

**Esfuerzo normal:** Es el que viene dado por la resultante de tensiones normales  $\sigma$ , es decir, perpendiculares, en el área para la cual se pretende determinar el esfuerzo normal.

**Flexión no uniforme:** Se refiere a flexión en presencia de esfuerzos cortantes, lo que significa que el momento cambia al moverse a lo largo del eje de la viga.

**Flexión pura:** Se refiere a la flexión de una viga bajo un momento flector constante, ocurre sólo en regiones de una viga donde el esfuerzo cortante es cero.

**LabView:** Software con lenguaje de programación gráfico.

**Mecanismo:** Se le llama mecanismo a los dispositivos que reciben una energía de entrada y, a través de un sistema de transmisión y transformación de movimientos, realizan un trabajo.

**Momento flexionante:** Es el momento de fuerza resultante de una distribución de tensiones sobre una sección transversal de un prisma mecánico flexionado o una placa que es perpendicular al eje longitudinal a lo largo del que se produce la flexión.

**PC:** Una computadora personal u ordenador personal.

**Probeta:** Se utiliza para la determinación de las distintas propiedades mecánicas. Las probetas pueden ser planas o redondas, dependiendo del ensayo.

**Reloj comparador:** Es un instrumento de medición de dimensiones que se utiliza para comparar cotas mediante la lectura indirecta del desplazamiento de una punta de contacto esférica cuando el aparato está fijo en un soporte.

**Strain gage:** Sensor cuya resistencia varía con la fuerza aplicada; convierte la fuerza, presión, tensión, peso, en un cambio de la resistencia eléctrica el cual puede ser medido.

**Tracción:** En el cálculo de estructuras e ingeniería se denomina tracción al esfuerzo interno a que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto que tienden a estirarlo.

**Viga:** Es un elemento estructural donde una de sus dimensiones es mucho mayor que las otras dos.

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó con la perspectiva de mejorar el aprendizaje en el área de resistencia de materiales de los estudiantes de ingeniería mecánica. Para ello se optó por rediseñar y automatizar el equipo de deflexión de vigas, el cual presentaba algunos inconvenientes en la práctica, que afectaban el buen desempeño de la misma. Para esto se realizó un diagnóstico del equipo existente, en el que se verificó el estado de operatividad de todos sus elementos para posteriormente reutilizarlos. Se realizó un estudio de alternativas de algunos elementos del equipo basado en el costo, la fiabilidad, precisión y operación.

Con este estudio se pudo verificar cuáles son los elementos más aptos para un excelente desempeño del equipo.

Una vez conocidos todos los por menores para el rediseño se procedió al rediseño y diseño de los diferentes componentes, los cuales fueron sometidos a varios cálculos para comprobar su correcta aplicación durante su funcionamiento y así evitar errores. Para ello se aplicó un factor seguridad que garantiza que el equipo no presentará defectos durante su funcionamiento o por mal uso. Con el rediseño y/o diseño se realizó la automatización, la cual consta de varios acondicionamientos eléctricos y electrónicos pues este equipo mostrará todos los datos y gráficas en una PC, puesto que está equipado con una DAQ, galgas extensiométricas o strain gages y varios sensores de posición los cuales llevan toda la información hacia el PC. Además por medio del software LABVIEW se podrá ver la información en el PC.

## **ABSTRACT**

This work was done because of the need to improve the learning in the area of strength of materials for students of mechanical engineering. To do this it was decided to redesign and automate the beam deflection team which presented some drawbacks in practice, affecting the good performance of the same. For such change a diagnosis of existing equipment, in which the operational status of all your items for later reuse was verified. A study of alternatives for certain items of equipment whose studies rely on cost, reliability, accuracy and operation was performed.

This study was able to verify what are the most suitable elements for an excellent team performance.

Once you know all the minors to redesign, it proceeded to redesign and design the different components, which underwent several calculations to verify the correct application during operation to avoid errors, for this factor was applied security which guarantee the equipment will not be defective during operation or misuse. With the redesign and / or design, the automation which has several electrical and electronic fittings because this team will show all data from a PC and its charts was performed, since it is equipped with a DAQ, strain gages, and several position sensors which carry all the information to the PC, also via Labview software to view information on the PC

# CAPÍTULO 1

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1.1 FUERZAS CORTANTES Y MOMENTOS FLECTORES

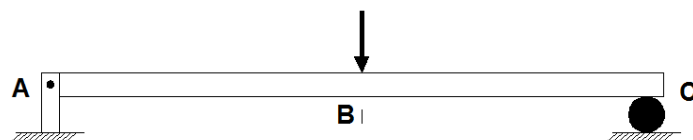
El análisis de las fuerzas cortantes y momentos flectores sirve para conocer cómo se relacionan entre sí y con las cargas. Además es un paso esencial en el diseño de vigas. “Por lo general es importante conocer tanto los valores máximos de estas cantidades como los valores que varían a lo largo de la viga. Una vez conocidos los esfuerzos cortantes y los momentos flectores, se puede conocer las tensiones, las deformaciones y las deflexiones” (Timoshenko, 2002, pág. 271).

#### 1.1.1 TIPOS DE VIGAS

Las vigas suelen describirse por el modo en que están sostenidas. En este capítulo se analizará las vigas simplemente apoyadas y las vigas en voladizo, las cuales se describen a continuación:

- **VIGA SIMPLEMENTE APOYADA:** Es una viga que está soportada por apoyos simples en sus extremos, con un soporte de pasador en un extremo y un soporte de rodillo en el otro como se muestra en la figura 1.1. El soporte de pasador se caracteriza por impedir la traslación más no la rotación en el extremo de la viga, el extremo A no puede realizar los movimientos verticales ni horizontales pero sí puede girar en el plano. El soporte de rodillo impide la traslación en dirección vertical pero no en la horizontal. Ver figura 1.1.

**Figura1.1** Viga simplemente apoyada

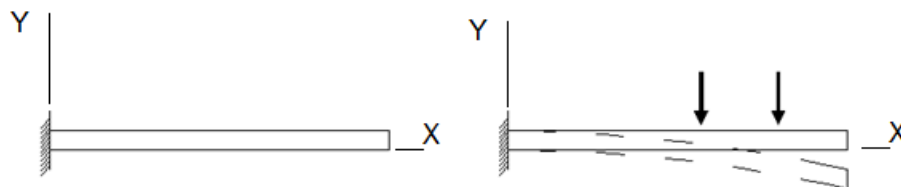


**Fuente:** Timoshenko (2002, pág. 271)



- **VIGA EN VOLADIZO:** Es una viga que está fija en un extremo y libre en el otro; en el soporte fijo la viga no puede trasladarse ni girar, mientras que en el extremo libre puede hacer ambas cosas. Ver figura 1.2.

**Figura1.2** Viga en voladizo



**Fuente:** Timoshenko (2002, pág. 271)

### 1.1.2 TIPOS DE CARGAS

**CARGA CONCENTRADA:** Es una fuerza única que se aplica sobre un área muy pequeña.

**CARGA DISTRIBUIDA:** Es una carga que se reparte sobre el eje de una viga y se mide por su intensidad, que se expresa en unidades de fuerza entre unidad de longitud.

**CARGA DISTRIBUIDA UNIFORMEMENTE:** Tiene intensidad constante por unidad de longitud.

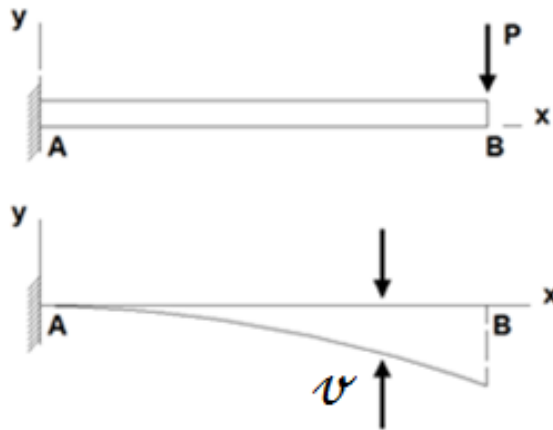
**CARGA LINEALMENTE VARIABLE:** La intensidad cambia con la distancia lo largo del eje.

**CARGA PAR:** Se da por el par de momento que actúa sobre la viga con voladizo.

## 1.2 ESFUERZOS EN VIGAS

Son aquellos esfuerzos y deformaciones que se relacionan con las fuerzas cortantes y los momentos flectores; una vez conocidos este tipo de esfuerzos y deformaciones, se puede realizar un análisis y un diseño de las vigas sometidas a diversas condiciones de carga. Cuando se aplica una carga sobre la viga se genera una flexión (Figura 1.3), la cual provoca que el eje se deforme de acuerdo con una curva, a la cual se la conoce como curva de deflexión; esta curva se genera en el plano “xy”, llamado por ello plano de flexión. Ver figura 1.3.

**Figura 1.3** Deflexión de una viga en voladizo sometida a una carga P con su respectiva curva de deflexión

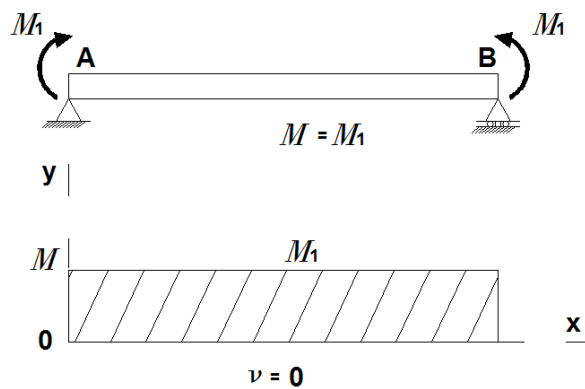


**Fuente:** Timoshenko (2002, pág. 311)

### 1.2.1 FLEXIÓN PURA Y FLEXIÓN NO UNIFORME

- **FLEXIÓN PURA:** Se denomina así a la flexión de una viga sometida a un momento flector constante; por tanto, esto se da en regiones de una viga donde la fuerza cortante es cero. Ver figura 1.4.

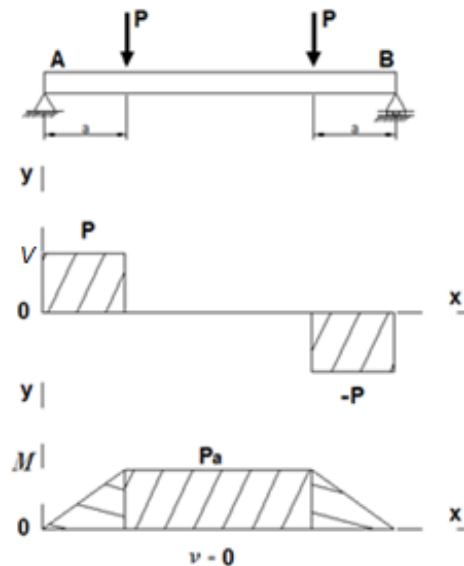
**Figura1.4** Viga simple en flexión pura y diagrama de momentos



**Fuente:** Timoshenko (2002, pág. 312)

- **FLEXIÓN NO UNIFORME:** Se produce esta flexión en presencia de fuerzas cortantes, esto se refiere a que el momento flexionante varía a lo largo del eje de la viga. Ver figura 1.5.

**Figura1.5** Viga simple con su región central en flexión pura y sus extremas en flexión no uniforme

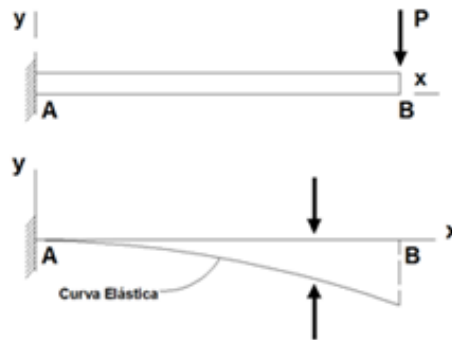


**Fuente:** Timoshenko (2002, pág. 313)

### 1.2.2 CURVATURA DE UNA VIGA

Cuando a una viga se la aplica una o varias cargas a lo largo del eje longitudinal inicialmente recto, éste se deforma en forma de curva, conocida como curva elástica o curva de deflexión de la viga como se ve en la figura 1.6.

**Figura1.6** Curva elástica de una viga

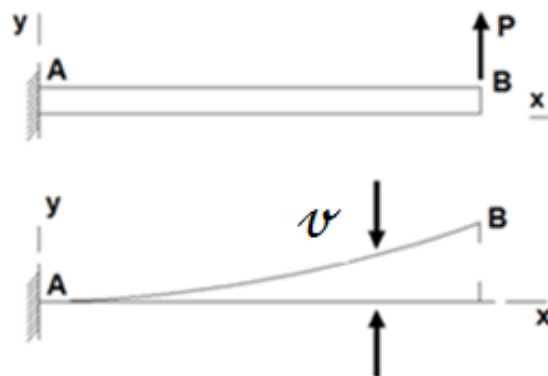


**Fuente:** Timoshenko (2002, pág. 313)

### 1.3 DEFLEXIÓN DE UNA VIGA

Es el desplazamiento desde cualquier punto de la viga hacia su posición original, la misma que se mide en la dirección “y”; a esta deflexión se la describe con la letra  $v$ . Ver figura 1.7.

**Figura1.7** Curva de deflexión de una viga

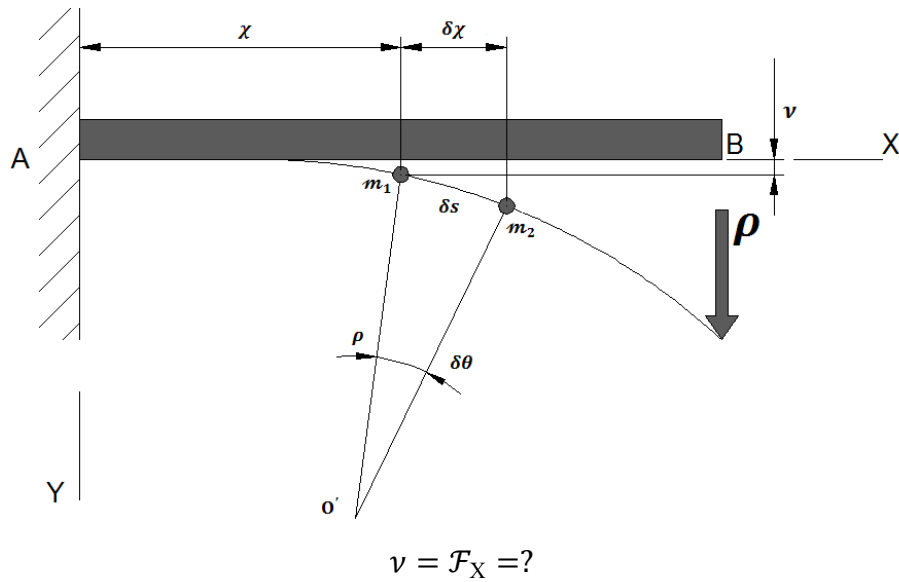


**Fuente:** Timoshenko (2002, pág. 610)

### 1.3.1 ECUACIONES DIFERENCIALES DE LA CURVA DE DEFLEXIÓN

Se considera la viga en voladizo AB. Ver figura 1.8

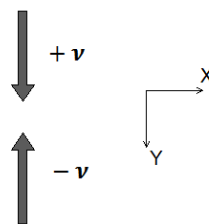
**Figura1.8** Viga en voladizo AB



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

Con el sistema de coordenadas de la figura 1.9

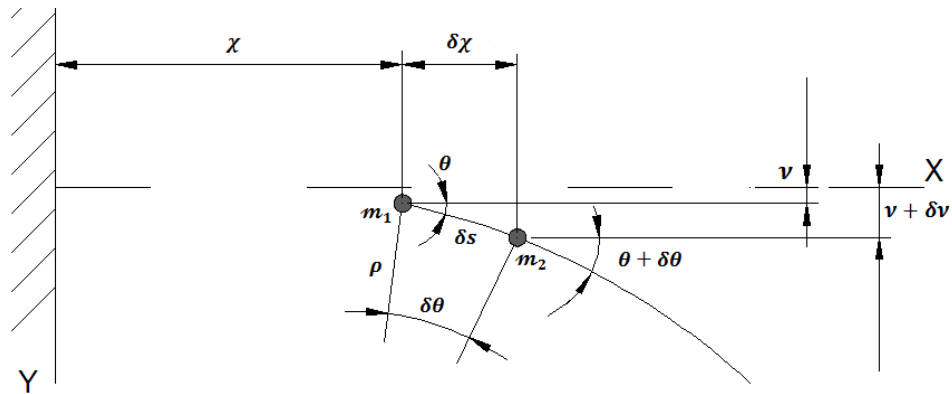
**Figura1.9** Sistema de coordenadas



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

Cuando  $v$  se presenta como una función  $x$ , se tiene la curva de la deflexión. Ver figura 1.10.

**Figura 1.10** Curva de deflexión



Fuente: Timoshenko (2002, pág. 610)

$\theta$  = Ángulo de rotación del eje de la viga en cualquier punto.

$\rho$  = Radio de la curvatura.

$K$  = Curvatura.

**Ecuaciones:**

Si el material de la viga es linealmente elástico (cumple con la ley de Hooke) la curvatura es:

$$K = \frac{1}{\rho} = -\frac{M}{E \cdot I} \quad (\text{Ec. 1.1})$$

*Donde:*

$M$  = Momento flexionante de la viga

$E \cdot I$  = Rigidez a flexión de la viga

La ecuación diferencial para la curva elástica o la ecuación diferencial de la curva de deflexión de una viga es:

$$\frac{d\theta}{d\chi} = \frac{d^2v}{d\chi^2} = -\frac{M}{E \cdot I} \quad (\text{Ec. 1.2})$$

Esta ecuación puede integrarse en cada caso particular para determinar el ángulo de rotación  $\theta$  o la deflexión  $v$ , siempre y cuando se conozca el momento flector  $M$ .

Derivando la *ecuación 1.2* respecto a “ $x$ ” y sustituyendo las ecuaciones:

$$q = -\frac{dV}{dx} \quad \wedge \quad V = \frac{dM}{dx}$$

Resulta:

$$\frac{d^3v}{dx^3} = -\frac{V}{E \cdot I} \quad (\text{Ec.1.3})$$

$$\frac{d^4v}{dx^4} = \frac{q}{E \cdot I} \quad (\text{Ec. 1.4})$$

La deflexión  $v$  puede determinarse resolviendo cualquiera de las ecuaciones 1.2, 1.3 y 1.4. A menudo y por simplicidad se utiliza:

Deflexión:  $v$

$$\text{Pendiente: } v' = \theta \quad = \frac{dv}{dx} = \theta \quad (\text{Ec. 1.5})$$

$$\text{Momento: } EIv'' = -M \quad = EI \frac{d^2v}{dx^2} = -M \quad (\text{Ec. 1.6})$$

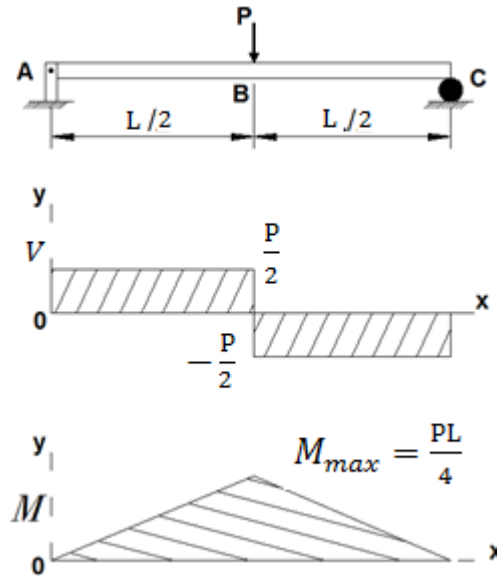
$$\text{Corte: } EIv''' = -V \quad = EI \frac{d^3v}{dx^3} = -V \quad (\text{Ec. 1.7})$$

$$\text{Carga: } EIv'''' = q \quad = EI \frac{d^4v}{dx^4} = q \quad (\text{Ec. 1.8})$$

## 1.4 DIAGRAMAS DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR

Los diagramas de corte y momento flector se clasifican según el tipo de apoyo en que se encuentra la viga. “Una viga simplemente apoyada está soportada por un pasador en un extremo y por un rodillo en el otro (Figura 1.11)” (Hibbeler, 2006, pág. 266).

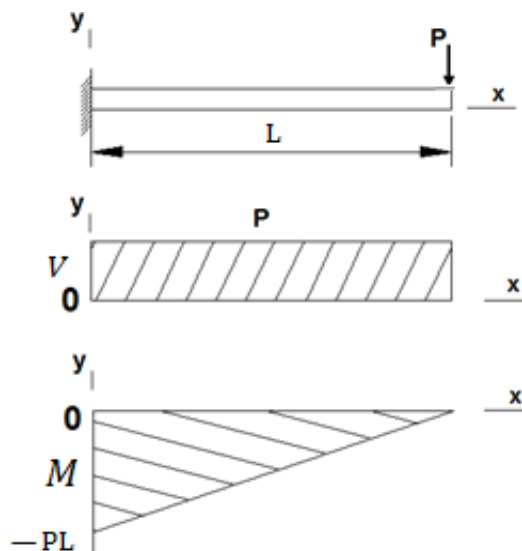
**Figura1.11** Viga simplemente apoyada con sus diagramas de corte y momento



**Fuente:** Hibbeler (2006, pág. 266)

Los diagramas para una viga en voladizo se muestran en la figura 1.12.

**Figura1.12** Viga en voladizo con sus diagramas de corte y momento



**Fuente:** Hibbeler (2006, pág. 266)



Este tipo de vigas pueden considerarse entre los elementos estructurales más importantes. A ellas se enfocará el desarrollo de los diagramas de corte y de momento flector.

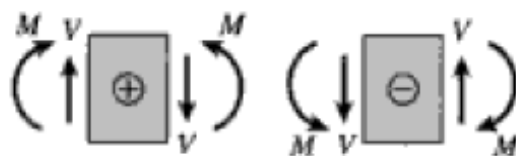
Estos diagramas permiten observar como varían los esfuerzos cortantes y los momentos flectores a lo largo de la viga. Es importante ubicar los valores máximos y mínimos de cada uno, ya que ellos permiten obtener un gráfico más detallado. Los valores de la fuerza cortante y el momento flector se ubican en las ordenadas y la distancia se traza en la abscisa a lo largo del eje “x” de la viga. Para obtener los diagramas de corte y de momento flector se deben conocer las fuerzas internas y los pares internos, los cuales se ejercen en la sección transversal de la viga cuando se carga con una fuerza.

#### 1.4.1 CONVENCION DE SIGNOS

Se debe reconocer que el signo algebraico de una resultante de tensión está determinado por la manera en que se deforma el material sobre el que actúa y no por su dirección en el espacio.

“ En el caso de una viga un esfuerzo cortante positivo actúa en sentido horario contra el material, y un esfuerzo cortante negativo actúa en sentido anti horario contra el material. Además el momento flector positivo comprime la parte superior de la viga y un momento flector negativo comprime la parte inferior (Figura 1.13).” (Timoshenko, 2002, pág. 277).

**Figura1.13** Convención de signos fuerza cortante  $V$  y momento flector  $M$

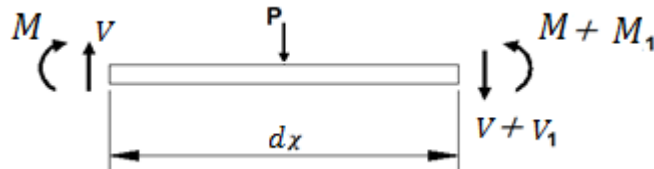


**Fuente:** Timoshenko (2002, pág. 277)

## 1.4.2 CARGA CONCENTRADA

Se tiene una carga concentrada  $P$  que actúa sobre un elemento de una viga.  
Ver figura 1.14.

**Figura 1.14** Diagrama de carga concentrada



Fuente: Timoshenko (2002, pág. 287)

Del equilibrio de fuerzas verticales se tiene que:

$$V - P - (V + V_1) = 0 \quad \text{O} \quad V_1 = -P$$

El resultado indica que ocurre un gran cambio en el esfuerzo constante en cualquier punto donde actúe una carga concentrada. “Conforme se pasa de izquierda a derecha a través del punto de aplicación de la carga, el esfuerzo cortante decrece una cantidad igual a la magnitud de la carga  $P$  dirigida hacia abajo” (Timoshenko, 2002, pág. 287).

Del equilibrio de momentos se tiene que (Figura 1.14):

$$-M - P\left(\frac{dx}{2}\right) - (V + V_1)dx + M + M_1 = 0$$

$$M_1 = P\left(\frac{dx}{2}\right) + Vdx + V_1dx$$

Como la longitud  $dx$  es muy pequeña, el incremento  $M_1$  en el momento flector también es pequeño; por tanto, el momento flector no cambia cuando se pasa a través del punto de aplicación de una carga concentrada.

Derivando el momento flector  $M_1$  y  $M$  se tiene que:

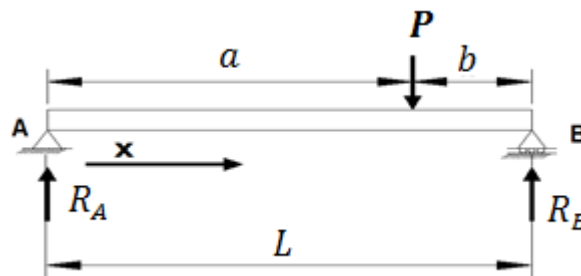
$$\frac{dM}{dx} = V + V_1 = V - P \quad \wedge \quad \frac{dM}{dx} = V$$

Como conclusión se puede notar que en el punto de aplicación de una carga concentrada, la derivada del momento flector decrece en una cantidad igual a  $P$ .

### 1.4.3 DIAGRAMAS DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR DE UNA VIGA CON CARGA CONCENTRADA

Sea una viga simple  $AB$  que soporta una carga  $P$  que actúa a una distancia  $a$  del extremo  $A$  y a una distancia  $b$  del extremo  $B$ . Ver figura 1.15.

**Figura1.15** Viga simple con una carga concentrada



Fuente: Timoshenko (2002, pág. 289)

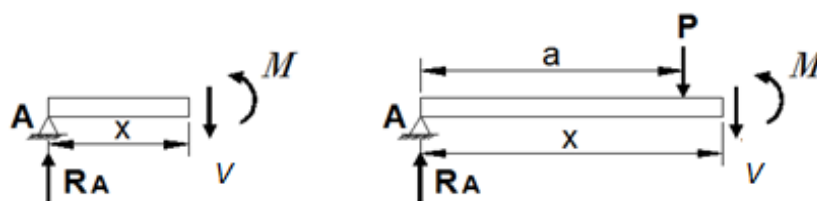
Las reacciones son:

$$R_A = \frac{Pb}{L} \quad (\text{Ec.1.9})$$

$$R_B = \frac{Pa}{L} \quad (\text{Ec.1.10})$$

Se realiza un corte en la sección a la izquierda de la carga  $P$  (Figura 1.16).

**Figura1.16** Corte por secciones de una viga



Fuente: Timoshenko (2002, pág. 289)

Para ( $0 < x < a$ )

$$V = \frac{Pb}{L} \quad (\text{Ec.1.11})$$

$$M = \frac{Pbx}{L} \quad (\text{Ec.1.12})$$

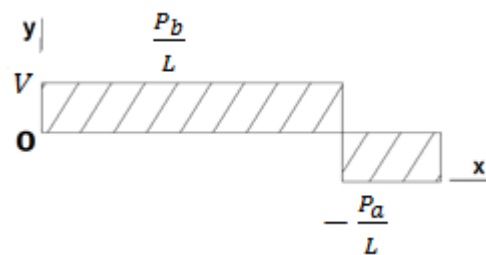
Se realiza otro corte en la sección a la derecha de la carga P (Figura 1.15), para ( $a < x < L$ ).

$$V = -\frac{Pa}{L} \quad (\text{Ec.1.13})$$

$$M = \frac{Pa}{L} (L - x) \quad (\text{Ec.1.14})$$

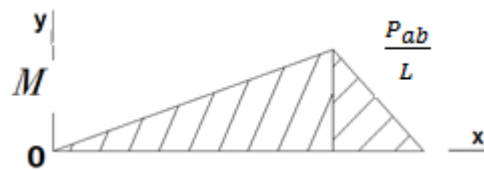
El esfuerzo cortante máximo  $\frac{Pb}{L}$  ocurre en el extremo de la viga más cercano a la carga concentrada, mientras que el momento flector máximo  $\frac{Pab}{L}$  ocurre bajo la carga concentrada vea la figura 1.17 y 1.18.

**Figura1.17** Diagramas de la fuerza cortante con una carga simple



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

**Figura1.18** Momento flector para una viga con una carga simple



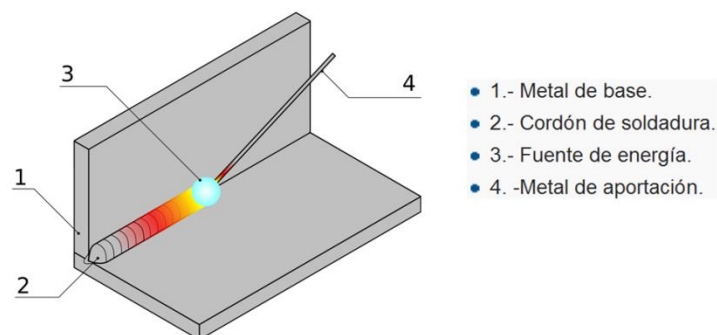
Elaborado por: Alejandro Santamaría & Juan Tamay

## 1.5 UNIONES SOLDADAS

Soldadura es un proceso de unión entre metales de idéntica o parecida composición dada por la acción del calor, en la cual se funden las piezas a unir, directamente o mediante la aportación de otro metal cuyas características sean idénticas o parecidas, para lograr una unión fija.

El material de aportación para lograr una excelente unión entre metales es un electrodo (figura 1.19) el cual tiene diferentes características. Éstas van de acuerdo al metal que va a ser sometido al proceso de soldadura.

**Figura1.19** Principio general de la soldadura



Fuente: Weman (2003)

## 1.6 SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

El movimiento que se genera en un sistema de transmisión tiene un elemento de entrada del mecanismo motriz, que coincide con el tipo de movimiento que tiene el elemento de salida conducido.

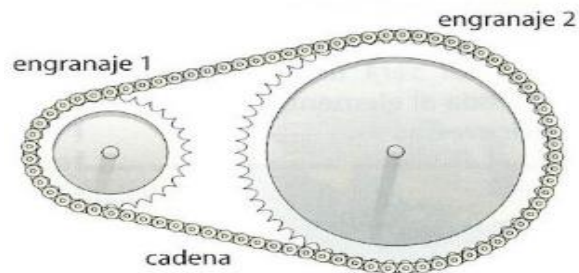
Los mecanismos de transmisión pueden ser, a su vez, agrupados en dos grandes grupos:

- Mecanismos de transmisión circular: En este caso, el elemento de entrada y el elemento de salida tienen movimiento circular. Ejemplo: Los sistemas de engranajes.
- Mecanismos de transmisión lineal: En este caso, el elemento de entrada y el elemento de salida tienen movimiento lineal. Ejemplo: La palanca.

### 1.6.1 TRANSMISIÓN DE ENGRANAJES POR CADENA

Este sistema de transmisión circular consta de una cadena cerrada cuyos eslabones engranan con dos ruedas dentadas que están unidas a ejes paralelos de los mecanismos conductor y conducido, situados a cierta distancia la una de la otra. La relación de transmisión se calcula como en el caso de los engranajes. Ver figura 1.20

**Figura 1.20** Transmisión de engranajes con cadena



**Fuente:** Villalba (2014)

### 1.6.2 PIÑÓN

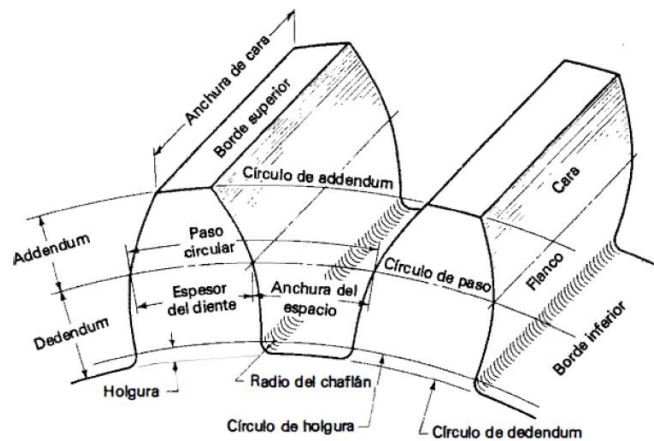
Una rueda dentada es un mecanismo de forma circular que transmite movimiento mediante dientes. Los dientes rodean la rueda en todo su perímetro. Existen diferentes tipos de ruedas dentadas dependiendo de su forma, colocación de los dientes y otros factores.

El piñón es la rueda de un mecanismo de cremallera o la rueda más pequeña de un par de ruedas dentadas, ya sea en una transmisión por engranaje, cadena de transmisión o correa de transmisión.

### 1.6.3 TERMINOLOGÍA Y DEFINICIONES

En la Figura 1.21, se ilustra la terminología de los dientes de los engranes:

**Figura 1.21** Terminología de los dientes de los engranes



Fuente: Larburu (2002)

**El paso circular ( $p$ ):** es la longitud del arco del círculo de paso correspondiente a un diente y a su intervalo o hueco entre dos dientes consecutivos. Esta longitud medida sobre la circunferencia base da el paso base.

**El círculo de paso o diámetro primitivo:** es un círculo teórico sobre el que generalmente se basan todos los cálculos. Los círculos de paso de un par de engranes acoplados son tangentes entre sí.

**El paso diametral ( $P$ ):** es el número de dientes en el engrane por pulgada de diámetro de paso. Las unidades del paso diametral son el recíproco de pulgadas.

Nótese que en realidad no se puede medir el paso diametral sobre el engrane propiamente dicho.

**El módulo (m):** es la razón del diámetro de paso y el número de dientes. La unidad de longitud acostumbrada es el milímetro. El módulo es un parámetro, junto con el número de dientes, esencial para la construcción de un engranaje.

**La cabeza o addendum (a):** es la distancia radial entre el borde superior y el círculo de paso.

**La raíz o dedendum (b):** es la distancia radial que va del borde inferior hasta el círculo de paso.

**El espesor del diente (e):** es la anchura de la parte dentada de una rueda medida sobre su diámetro primitivo.

**La longitud del diente o anchura de cara (L):** es la distancia medida entre las dos caras paralelas de la rueda.

**El flanco** es la porción de superficie comprendida entre los cilindros exterior e interior.

**La altura total (ht):** es la suma del addendum y el dedendum.

**El ángulo de presión ( $\alpha$ ):** es el ángulo formado por el radio de la circunferencia primitiva que pasa por el punto donde el perfil corta a la circunferencia primitiva y la tangente al perfil en dicho punto. Por lo general se toma un ángulo de presión de  $20^\circ$ .

#### 1.6.4 CADENA DE TRANSMISIÓN

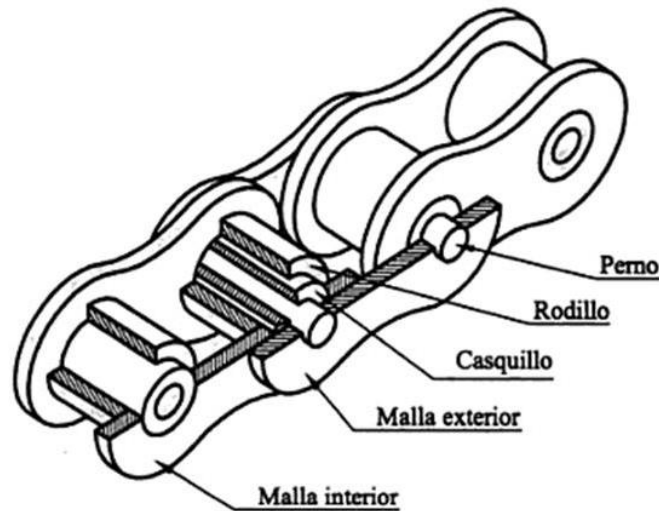
“Una cadena de transmisión sirve para transmitir del movimiento de arrastre de fuerza entre ruedas dentadas” (Rodríguez, 2014)

Una cadena es un elemento muy importante a la hora de transmitir potencia. Está formada por una serie de eslabones unidos entre sí por pasadores, para realizar la transmisión de potencia la cadena se incrusta en unas ruedas dentadas a las cuales se les conoce como catarinas.



En la figura 1.22 se muestran las partes de una cadena de transmisión

**Figura1.22** Partes de la cadena de transmisión



Fuente: Cedeño (2011)

## 1.7 ENSAYO DE DEFLEXIÓN

El objetivo principal de este ensayo es observar y comparar el comportamiento de los distintos materiales utilizados en la práctica (acero, aluminio y cobre), al ser sometidos a una carga puntual para lograr evidenciar la deflexión de la viga.

El ensayo consiste en desarrollar un ejercicio de manera teórica y práctica, para así conseguir una mejor comprensión del ejercicio comparando los resultados obtenidos.

### • INSTRUMENTACIÓN

La instrumentación que se utiliza en el ensayo consta de:

- Tres tipos de probetas (Acero A-36, Aluminio y Cobre ASTM B2).
- Equipo de deflexión de vigas (sensor infrarrojo, celdas de carga).
- Software para la simulación. (LabView)
- Pesos para realizar el ensayo (1, 2, 5 kg)

- **PROCEDIMIENTOS DE LA PRÁCTICA**

La máquina de ensayos para deflexión de vigas, permite realizar una práctica entre apoyos y una práctica en voladizo.

Cada práctica se debe empezar determinando las reacciones. El procedimiento para cada práctica se explica a continuación:

- **DETERMINACIÓN DE LAS REACCIONES**

1. Tomar la medida de L (longitud) entre los puntos de apoyo.
2. Colocar la probeta entre los puntos de apoyo.
3. Colocar la carga a la distancia requerida, verificar en el software.
4. Correr el programa elaborado en Labview.
5. Verificar las medidas de las reacciones en la PC.
6. Anotar las medidas en la hoja de datos.

- **DETERMINACIÓN DE LA DEFLEXIÓN ENTRE APOYOS**

1. Determinar las reacciones.
2. Verificar el tipo de material y las dimensiones de la probeta.
3. Desplazarse en el programa a la pestaña “Deflexión”
4. Comprobar la deflexión máxima, o la deflexión en cualquier punto desplazando el cursor.
5. Adicional a la práctica se puede conocer los diagramas de corte y momento dirigiéndose dentro del software a la pestaña necesitada.
6. Anotar las medidas en la hoja de datos.

- **DETERMINACIÓN DE LA DEFLEXIÓN EN VOLADIZO**

1. Determinar las reacciones.
2. Verificar el tipo de material y las dimensiones de la probeta.
3. Desplazarse en el programa a la pestaña “Deflexión”
4. Comprobar la deflexión máxima, o la deflexión en cualquier punto desplazando el cursor.

5. Adicionalmente a la práctica se puede conocer los diagramas de corte y momento dirigiéndose dentro del software a la pestaña necesitada.
6. Anotar las medidas en la hoja de datos.

## 1.8 MATERIAL DE LAS VIGAS

Los materiales a utilizar en las probetas para el ensayo de deflexión de vigas son; acero ASTM A36, aluminio y cobre ASTM B2. Sus características físicas y mecánicas se detallan en la tabla 1.1.

### 1.8.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES

Para ver la característica de los materiales véase la tabla 1.1.

**Tabla 1.1** Características de los materiales. ANEXO B-1

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES</b>			
	<i>ACERO ASTM A36</i>	<i>ALUMINIO</i>	<i>COBRE ASTM B2</i>
Densidad kg/m <sup>3</sup>	7850	2600-2800	8900
Punto de fusión K	1673	933.47	1357.77
Punto de ebullición K	2773	2473	2583
Calor específico J/(K·kg)	500	900	385
Resistencia eléctrica μOhm.cm	70-72	2,67	1,69
Conductividad térmica Kcal/m°C	12	185	300
Peso específico Kg/dm <sup>3</sup>	8,0	2,7	8,96

**Fuente:** Timoshenko (2002, pág. 897)

### 1.8.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

Para realizar los diferentes ensayos se requiere conocer las características mecánicas de los materiales que se utilizan. Para ello véase las propiedades mecánicas en la tabla 1.2.

**Tabla 1.2** Propiedades mecánicas de los materiales. ANEXO B-1

<b>CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS MATERIALES</b>			
	<b>ACERO ASTM A36</b>	<b>ALUMINIO</b>	<b>COBRE ASTM B2</b>
Tensión a la fluencia MPa	250	35 -500	55 -760
Tensión última MPa	400	100 -550	230 -830
Alargamiento (%)	30	45	50
Dureza	B92 max (Rockwell)	15 HB (Brinell)	35 HB (Brinell)
Módulo de Young (G) Gpa	200	70	80-120
Módulo de elasticidad (E) Gpa	190-210	70 -79	110 -120
Coefficiente de Poisson	0.27-0.30	0,33	0.33-0.36
Coefficiente de dilatación térmica $\alpha$ $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	10-18	23	16.6-17.6

**Fuente:** Hibbeler (2006)

## 1.9 AUTOMATIZACIÓN

La automatización es un sistema de transferencia de las tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte operativa
- Parte de mando

### PARTE OPERATIVA

Es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera, etc.

## PARTE DE MANDO

Suele ser un autómatas programable (tecnología programada), aunque hasta hace muy poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). Éste debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes del sistema automatizado.

### 1.10 ADQUISICIÓN DE DATOS (DAQ)

“La adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir con una PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable. Comparados con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las PCs estándares en la industria proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable” (Instruments National, 2013).

#### 1.10.1 PARTES DE UN SISTEMA DAQ

Para observar las partes de la DAQ véase la figura 1.23.

**Figura1.23** Partes de una DAQ



**Fuente:** Instruments National (2013)

## 1.11 SENSORES

“Un sensor, también llamado transductor, convierte un fenómeno físico en una señal eléctrica que se puede medir. Dependiendo del tipo de sensor, su salida eléctrica puede ser un voltaje, corriente, resistencia u otro atributo eléctrico que varía con el tiempo. Algunos sensores pueden requerir componentes adicionales y circuitos para producir correctamente una señal que puede ser leída con precisión y con toda seguridad por un dispositivo DAQ” (Instruments National, 2013).

### 1.11.1 TIPOS DE SENSORES

Para ver los diferentes tipos de sensores véase la tabla 1.3.

**Tabla 1.3** Tipos de sensores

<b>Sensor</b>	<b>Fenómeno medido / captado</b>
Termopar, RTD, Termistor	Temperatura
Fotosensor	Luz
Micrófono	Sonido
Galga Extensiométrica, Transductor Piezoeléctrico	Fuerza y Presión
Potenciómetro, LVDT, Codificador Óptico	Posición y Desplazamiento
Acelerómetro	Aceleración
Electrodo pH	pH

**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

### 1.11.2 SENSORES DE DISTANCIA

Los sensores de distancia miden la distancia lineal o desplazamiento lineal de una forma automatizada, ya que proporcionan una señal eléctrica según la variación física o distancia.

### 1.11.3 ULTRASONIDO

Los sensores de ultrasonidos son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias de hasta 8m. El sensor emite

un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar. El sensor recibe el eco producido y lo convierte en señales eléctricas, las cuales son elaboradas en el aparato de valoración. Estos sensores trabajan solamente en el aire, y pueden detectar objetos con diferentes formas, colores, superficies y de diferentes materiales. Los materiales pueden ser sólidos, líquidos o polvorientos, sin embargo han de ser deflectores de sonido. Los sensores trabajan según el tiempo de transcurso del eco, es decir, se valora la distancia temporal entre el impulso de emisión y el impulso del eco.

#### **1.11.4 INFRAROJO REFLEXIVO**

Este tipo de sensor presenta una cara frontal en la que encuentra tanto un LED como un fototransistor. Debido a esta configuración el sistema mide la radiación proveniente del reflejo de la luz emitida por el LED.

Se debe tener presente que esta configuración es sensible a la luz del ambiente perjudicando las medidas, por lo que pueden dar lugar a errores. Es necesario por lo tanto, la incorporación de circuitos de filtrado en términos de longitud de onda. Así pues será importante que trabajen en ambientes de luz controlada. Otro aspecto a tener en cuenta es el coeficiente de reflectividad del objeto, el funcionamiento del sensor será diferente según el tipo de superficie.

#### **1.11.5 POR CABLE O HILO**

Los sensores de desplazamiento por hilo, también conocidos como sensores de sirga o encoder de sirga, compone una gama muy amplia para la medida de distancia con una gran facilidad.

“El sistema de montaje es sencillo, basta con fijar el sensor de distancia a la superficie de medida y anclar el extremo del cable a la superficie móvil.

Este movimiento provoca que el cable de medida se extraiga y genere un cambio en la señal de salida, proporcional a la distancia recorrida por el cable. Los rangos de medida parten de 50mm y pueden llegar a los 60000mm, con diferentes tipos de salida, analógica y/o digital”. (Sensing, 2013)

## **1.12 CELDAS DE CARGA**

Una celda de carga es un transductor que se utiliza para convertir una fuerza en una señal eléctrica. Esta conversión es indirecta y se realiza en dos etapas. Mediante un dispositivo mecánico, la fuerza que se desea medir deforma una galga extensiométrica.

La galga extensiométrica convierte el desplazamiento o deformación en señales eléctricas. Una celda de carga por lo general se compone de cuatro galgas extensiométricas conectadas en una configuración tipo puente de Wheatstone.

### **1.12.1 USOS**

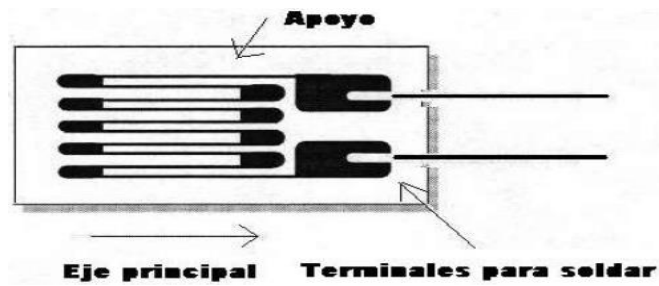
- Mediciones de fuerzas
- Balanzas y básculas
- Básculas de camiones electrónicas
- Medidores electrónicos en grúas
- Pesado en tanques y silos
- Determinación del centro de gravedad

## **1.13 GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS**

Una galga extensiométrica o extensómetro es un sensor, para medir la deformación, presión, carga, torque, posición, entre otras cosas, que está basado en el efecto piezorresistivo, que es la propiedad que tienen ciertos materiales de cambiar el valor nominal de su resistencia cuando se les someten a ciertos esfuerzos y se deforman en dirección de los ejes mecánicos. Un esfuerzo que deforma a la galga producirá una variación en su resistencia. Esta variación puede deberse al cambio de longitud, el cambio originado en la sección o el cambio generado en la resistividad (Figura 1.24)



**Figura1.24** Galga extensiométrica



Fuente: Loaiza (2011)

### 1.13.1 APLICACIONES

Las galgas se utilizan para la medición electrónica de diferentes magnitudes mecánicas tales como la presión, la carga, la deformación, el torque, entre otras.

### 1.14 LABVIEW

Es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Es recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, que se refiere a un lenguaje gráfico. Se caracteriza por la facilidad de utilización. Es válido para programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos en programación, que pueden hacer programas relativamente complejos, imposibles para ellos con lenguajes tradicionales.

## **CAPÍTULO 2**

### **ESTUDIO DE ALTERNATIVAS**

#### **2.1 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS**

Para el análisis de las alternativas se examinarán los siguientes parámetros:

1. Costos
2. Fiabilidad
3. Operación
4. Exactitud

##### **2.1.1 COSTOS**

El costo es el parámetro más importante que se presenta en el estudio de las alternativas, ya que en él se consideran los materiales, la tecnología a utilizarse en la automatización y sobre todo la viabilidad de elaboración del equipo.

##### **2.1.2 FIABILIDAD**

La fiabilidad se refiere al buen funcionamiento que tendrá el equipo en su operación, sobre todo en lo relativo a la automatización debido al rol protagónico que tiene en el rediseño planteado.

##### **2.1.3 OPERACIÓN**

En este parámetro se definirá la complejidad al momento de operar los distintos elementos del equipo mientras se realizan los diferentes ensayos.

### 2.1.4 EXACTITUD

La exactitud hace referencia a la recolección de datos y/o valores que se generan en el ensayo, que son importantes para los cálculos y la comprobación.

## 2.2 VALORACIÓN NUMÉRICA

Para el estudio de alternativas en la tabla 2.1 se dará la valoración a los parámetros de acuerdo con el grado de necesidad de la misma.

**Tabla 2.1** Valoración numérica

<b>PARÁMETROS</b>	<b>VALORACIÓN</b>	
Costos	Bajo	3
	Medio	2
	Alto	1
Fiabilidad	Alta	3
	Media	2
	Baja	1
Operación	Fácil	3
	Medio	2
	Difícil	1
Exactitud	Alta	3
	Media	2
	Baja	1

**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

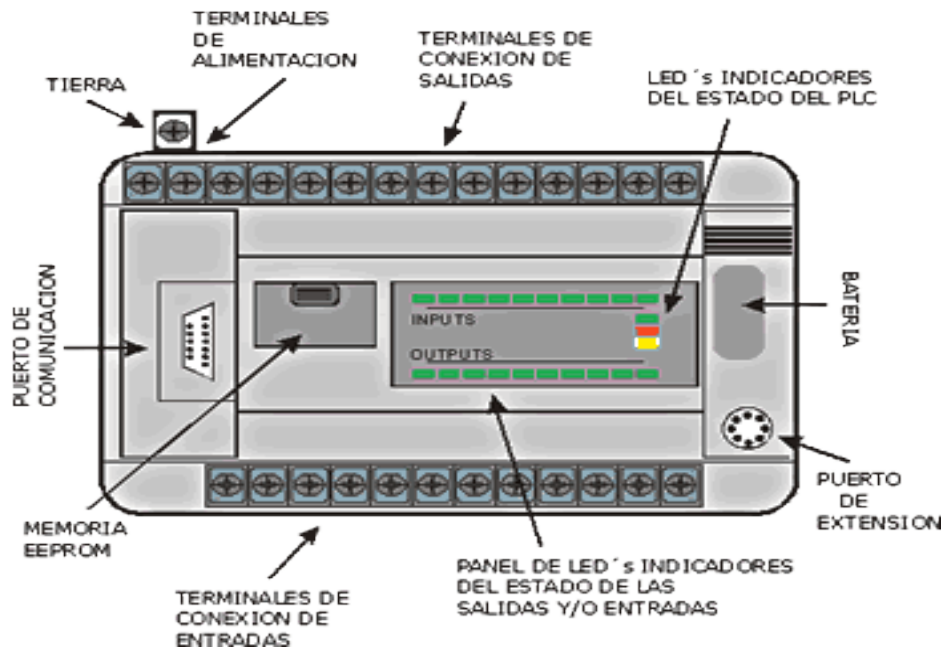
## 2.3 ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA ELABORACIÓN DE GRÁFICAS DE DEFLEXIÓN

### 2.3.1 ALTERNATIVA 1: PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE)

“El PLC es un dispositivo operado digitalmente, que usa una memoria para el almacenamiento interno de instrucciones con el fin de implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas, para controlar a través de entradas/salidas

digitales o analógicas, varios tipos de máquinas o procesos. Además operan de manera secuencial y cíclica, es decir, una vez finalizado el recorrido completo de un programa, comienza a ejecutar su primera instrucción” (Saravia, 2012), véase la figura 2.1.

**Figura 2.1** El PLC y sus partes



**Fuente:** Rocatek (2014)

### **VENTAJAS:**

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:
  - ✓ No es necesario dibujar el esquema de contactos.
  - ✓ No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general, la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.
  - ✓ La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente se eliminará parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega, etc.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado y añadir aparatos.

- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor coste de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismo autómatas pueden detectar e indicar averías.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta de funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.

***DESVENTAJAS:***

- Demasiado trabajo requerido en la conexión de cables.
- Dificultades con los cambios o sustituciones.
- Siempre es difícil encontrar errores, y requieren mano de obra experta.
- Cuando se produce un problema, el tiempo de detención es de carácter indefinido, por lo general lapsos muy grandes.
- Condiciones ambientales apropiadas para el funcionamiento del PLC.
- Mayor costo para controlar tareas muy pequeñas o sencillas.
- Necesidad de adiestramiento de personal y costo elevado.

**2.3.2 ALTERNATIVA 2: DAQ (ADQUISICIÓN DE DATOS)**

“La adquisición de datos o señales, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otras electrónicas (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora. El elemento que hace dicha transformación es el módulo de digitalización o tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ)” (Texas Instruments, 2013).

### **VENTAJAS:**

- Flexibilidad de procesamiento, posibilidad de realizar las tareas en tiempo real o en análisis posteriores (a fin de analizar los posibles errores).
- Gran capacidad de almacenamiento, rápido acceso a la información y toma de decisión.
- Posibilidad de emular una gran cantidad de dispositivos de medición y activar varios instrumentos al mismo tiempo, facilidad de automatización, etc.
- Se utiliza en la industria, la investigación científica, el control de máquinas y de producción, la detección de fallas y el control de calidad entre otras aplicaciones como tratar a señales analógicas sin problemas.

### **DESVENTAJAS:**

- Necesita de un software para la transición de datos a la PC.
- No se recomiendan para procesos industriales.

### **2.3.3 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS**

Para la evaluación de alternativas ver tabla 2.2.

**Tabla 2.2** Evaluación de alternativas DAQ y PLC

<b>Parámetros</b>	<b>Factor de ponderación</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa ideal</b>
Costos	3	2x3	3x3	3x3
Fiabilidad	2	2x2	3x2	3x2
Operación	2	2x2	3x2	3x2
Exactitud	3	3x3	3x3	3x3
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>23</b>	<b>26</b>	<b>30</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>100%</b>	<b>76.66%</b>	<b>86.66%</b>	<b>100%</b>
<b>Selección</b>		<b>2</b>	<b>1</b>	

**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

### **2.3.4 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

Luego de analizar las alternativas planteadas sobre el sistema de adquisición de datos, tomando en cuenta ventajas y desventajas, se observa que la DAQ (alternativa 2) aporta más beneficios con respecto al PLC.

## **2.4 ALTERNATIVAS PARA LA MEDICIÓN DE LA DEFLEXIÓN EN LA VIGA**

### **2.4.1 ALTERNATIVA 1: MEDICIÓN DE LA DEFLEXIÓN MEDIANTE SENSOR ULTRASÓNICO**

Los sensores de ultrasonidos son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y detectan objetos a distancias de hasta 8m. El sensor emite pulsos ultrasónicos. Éstos se reflejan en un objeto y el sensor recibe el eco producido convirtiéndolo en señales eléctricas, las cuales son procesadas en el aparato de valoración. Estos sensores trabajan solamente en el aire, y pueden detectar objetos con diferentes formas, colores, superficies y de diferentes materiales.

Los sensores de proximidad ultrasónicos están generalmente disponibles en forma de sensores de reflexión directa, donde el emisor y el receptor se hallan en un mismo cuerpo. Ver figura 2.2.

**Figura 2.2** Sensor ultrasónico



**Fuente:** Posadas (2013)

### ***VENTAJAS***

- Detección del objeto independientemente del color y del material
- Relativamente insensibles a la suciedad y al polvo
- Rango relativamente amplio (hasta varios metros)

### ***DESVENTAJAS***

- Se necesita usar barreras ultrasónicas
- Costo elevado con respecto a sensores infrarrojos

## **2.4.2 ALTERNATIVA 2: MEDICIÓN DE LA DEFLEXIÓN MEDIANTE SENSOR INFRARROJO**

El emisor lanza un rayo infrarrojo el cual es reflejado por el objeto en que incide, y el receptor mide la cantidad de luz que es reflejada con lo que se puede tener una estimación de la distancia a la que se encuentra el objeto. Ver figura 2.3.

**Figura 2.3** Sensor infrarrojo



**Fuente:** Posadas (2013)

### ***VENTAJAS***

- Puede tomar varias muestras rápidamente
- Diseño compacto y de bajo peso
- Económico



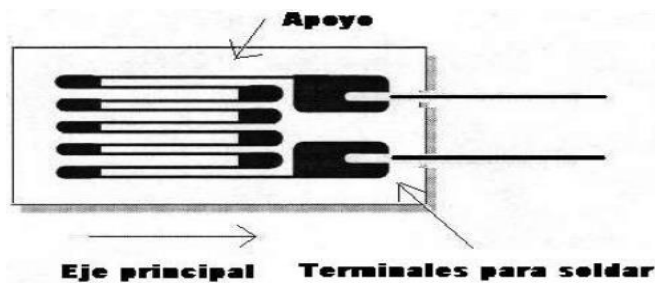
## **DESVENTAJA**

- Las medidas pueden verse afectadas por la iluminación de la habitación

### **2.4.3 ALTERNATIVA 3: MEDICIÓN DE LA DEFLEXIÓN MEDIANTE GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS**

Una strain gage o extensómetro es un sensor (figura 2.4) que mide la deformación, presión, carga, torque, posición, entre otras magnitudes, cuyo funcionamiento se basa en el efecto piezorresistivo, que es la propiedad que tienen ciertos materiales de cambiar el valor nominal de su resistencia cuando se le someten a ciertos esfuerzos y se deforman en dirección de los ejes mecánicos. Un esfuerzo que deforma a la galga producirá una variación en su resistencia, esta variación puede ser por el cambio de longitud, el cambio originado en la sección o el cambio generado en la resistividad. (Figura 2.4).

**Figura 2.4** Strain Gage y/o Galga Extensiométrica



Fuente: Loaiza (2011)

## **VENTAJAS**

- Tamaño pequeño
- Pueden ser alimentadas con corriente continua o corriente alterna
- Tienen una excelente respuesta en frecuencia
- Son simples y adecuadas en medidas estáticas y dinámicas
- No son influidas por los campos magnéticos

## **DESVENTAJAS**

- El esfuerzo aplicado no debe llevar a la galga fuera del margen elástico o también llamado esfuerzo de fluencia.
- La deformación de la galga debe ser en la misma dirección del soporte para evitar tensiones opuestas en lo que a alineación de la galga se refiere, ya que mide en una sola dirección.
- La galga solo proporciona los datos de las direcciones a las que ésta ha sido diseñada. Si se quiere medir en direcciones perpendiculares. Se puede poner otra galga igual a 90° de la inicial, por lo tanto, una sola galga puede medir solamente una dirección.

### **2.4.4 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS**

Para ver la evaluación de alternativas ver la tabla 2.3.

**Tabla 2.3** Evaluación de alternativas sensor ultrasónico, infrarrojo y Strain Gage

<b>ANÁLISIS Y CALIFICACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DEL SISTEMA</b>					
<b>Parámetros</b>	<b>Factor de ponderación</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>	<b>Alternativa ideal</b>
Costos	3	1x3	2x3	2x3	3x3
Fiabilidad	2	3x2	3x2	2x2	3x2
Operación	2	2x2	2x2	1x2	3x2
Exactitud	3	2x3	2x3	2x3	3x3
TOTAL	10	19	22	18	30
ÍNDICE	100%	63.33%	73.33%	60%	100%
Selección		2	1	3	

**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

### **2.4.5 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN PARA DEFLEXIÓN EN LA VIGA**

Tomando en cuenta las ventajas y desventajas de las tres alternativas, se evidencia que el sistema de medición de deflexión mediante el sensor infrarrojo (alternativa 2) tiene más ventajas sobre los otros.

## 2.5 ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE MEDICIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE LAS REACCIONES

### 2.5.1 ALTERNATIVA 1: OBTENCIÓN DE REACCIONES MEDIANTE UN DINAMÓMETRO (BALANZA)

“El dinamómetro es un instrumento utilizado para medir fuerzas o para pesar objetos. El dinamómetro tradicional, inventado por Isaac Newton, basa su funcionamiento en la elongación de un resorte que sigue la ley de elasticidad de Hooke en el rango de medición” (PCE Ibérica, 2014). Existen otros instrumentos de medida de fuerzas, especialmente de pesos, los cuales reciben diversos nombres, pero en realidad estos son dinamómetros, ya que su funcionamiento se basa en el alargamiento o compresión de muelles. Como ejemplo se puede apreciar la balanza de cocina véase la figura 2.5.

**Figura 2.5** Balanza de resorte



**Fuente:** PCE Ibérica (2014)

#### **VENTAJAS**

- Uso rápido
- No necesita instalación
- Menor costo.

## ***DESVENTAJAS***

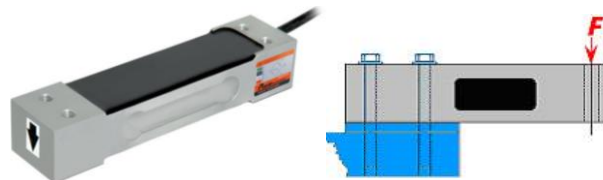
- Poco rango de precisión.
- Necesita calibración continua.
- Desgaste debido al uso continuo.

### **2.5.2 ALTERNATIVA 2: OBTENCIÓN DE REACCIONES MEDIANTE CELDAS DE CARGA**

Una celda de carga es un dispositivo electromecánico compuesto de sensores de deformación física que traducen una fuerza en un voltaje. Consta de varios tipos de resistencia eléctrica, piezoeléctricos y capacitancia. Entre los más comunes se presentan los piezoeléctricos por ser más sensibles para detectar fuerzas pequeñas o diferencias mínimas. La precisión de cada celda varía desde las comerciales hasta las científicas. La celda de carga analógica con galgas extensiométricas es la que se utiliza más comúnmente.

Una celda de carga (Figura 2.6) se compone de cuatro sensores conectados en una configuración que se conoce como puente de Wheatstone. Esta configuración permite obtener un voltaje proporcional a la deformación que sufren los sensores producto de la fuerza aplicada a ellos. Entre dos puntos opuestos del puente se aplica un voltaje DC o AC, entre 5 y 20 Voltios (depende de la celda de carga), y la deformación mecánica de la celda generará una variación en mili voltios proporcional al voltaje aplicado y a la carga.

**Figura 2.6** Celda de carga



**Fuente:** Fralib (2014)

## PROBLEMAS DE LAS CELDAS DE CARGA DE SEÑAL ANALÓGICA

- El ajuste es lento.
- Con el tiempo se desajusta.
- Diagnosticar qué celda tiene una falla es muy complicado.
- La señal de la caja al indicador es analógica y es propensa a ruido con la distancia.

## VENTAJAS DE LA CELDA DE CARGA DE SEÑAL DIGITAL

- El ajuste no requiere de potenciómetros, lo que lo hace más fácil de utilizar y duradero.
- La señal de la celda al indicador es digital, lo cual la protege de ruido eléctrico aún cuando no sea lineal.

## DESVENTAJAS DE LA CELDA DE CARGA DE SEÑAL DIGITAL

- El procedimiento de instalación es costoso.
- El elemento más débil de una báscula es la celda de carga.
- El protocolo de comunicación digital depende del proveedor.

### 2.5.3 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Para ver la evaluación de alternativas ver la tabla 2.4.

**Tabla 2.4** Evaluación de alternativa Balanza y Celda De Carga

Parámetros	Factor de ponderación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa ideal
Costos	3	3x3	2x3	3x3
Fiabilidad	2	1x2	3x2	3x2
Operación	2	2x2	3x2	3x2
Exactitud	3	1x3	3x3	3x3
TOTAL	10	18	27	30
ÍNDICE	100%	60%	90%	100%
Selección		2	1	

Elaborado por: Alejandro Santamaría & Juan Tamay

#### **2.5.4 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE LAS REACCIONES**

Tomando en cuenta las ventajas y desventajas de las dos alternativas, se evidencia que el sistema de medición por celdas de carga (alternativa 2) es el más apropiado.

## CAPÍTULO 3

### REDISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN

#### 3.1 DIAGNÓSTICO DEL EQUIPO EXISTENTE

Actualmente existe un equipo de ensayos de deflexión de vigas en el laboratorio de Resistencia de Materiales, de la UPS – Kennedy (Figura 3.1), el cual fue construido hace 10 años, por lo que se encuentra desactualizado y sus componentes como balanzas y reloj comparador se encuentran descalibrados, perdiendo precisión y aumentando el porcentaje de error en la lectura de las mediciones.

**Figura 3.1** Máquina actual de ensayos de deflexión de vigas



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

Para medir las reacciones se utilizan dos balanzas de 10Kg, con una apreciación de 50g, las cuales debido a su antigüedad ya no brindan una lectura correcta.

##### 3.1.1 APOYO DE VIGAS

Actualmente el sistema que se utiliza para apoyar las vigas sobre las balanzas (Figura 3.2) no es fijo, ya que éstas simplemente se ubican sobre los soportes de

las balanzas. Al momento de aplicar la carga la viga se mueve impidiendo obtener una lectura correcta de la distancia requerida.

**Figura 3.2** Apoyo de las vigas



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

### 3.1.2 MEDICIÓN DE LA DEFLEXIÓN

La medición de la deflexión en la viga se la realiza mediante un reloj comparador (Figura 3.3) con una apreciación de 0.01mm 0-30mm; dicho reloj comparador funciona de manera correcta por lo que se lo puede seguir utilizando.

**Figura 3.3** Reloj comparador



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay



### 3.1.3 ESTRUCTURA PARA APLICAR LA CARGA

El sistema actual que se utiliza para aplicar la carga (Figura 3.4) es de madera con un gancho de acero en el cual se ubican las pesas. Este presenta un problema de sujeción.

**Figura 3.4** Sistema actual para aplicar la carga



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

### 3.1.4 MARCO METÁLICO QUE SOPORTA AL EQUIPO DE DEFLEXIÓN DE VIGAS

Después de haber realizado una inspección visual y un análisis estructural del marco metálico (Figura 3.5), se llegó a la conclusión de que éste se encuentra en buen estado, y por tanto se lo puede seguir utilizando.

**Figura 3.5** Marco metálico



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

### **3.1.5 CINTA MÉTRICA**

Actualmente el equipo de deflexión de vigas cuenta con una cinta métrica (Figura 3.6) que se utiliza para ubicar las distancias de los pesos y para la medición de la deflexión de la viga. Luego de haber realizado un estudio y una inspección visual en la ensayo, se llegó a la conclusión que la cinta métrica está deteriorada. Sin embargo dicha cinta métrica será reutilizada y reemplazada por otra.

**Figura 3.6** Cinta métrica



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

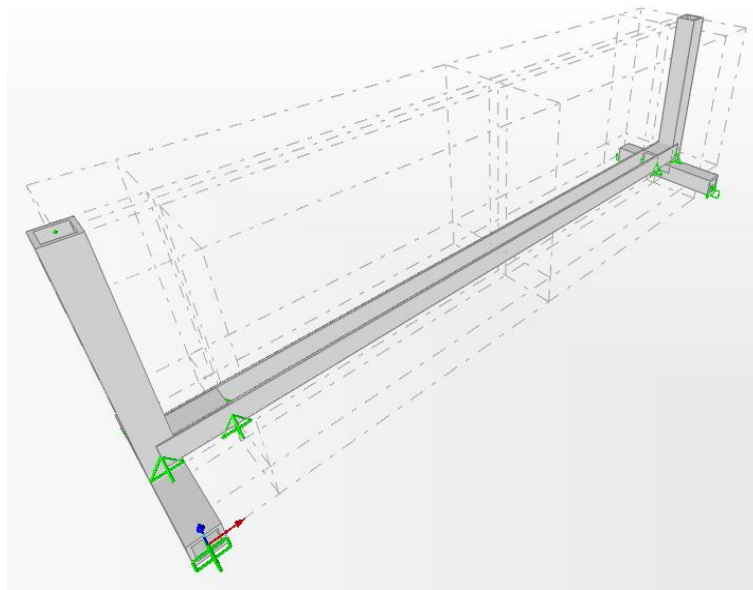
## **3.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL MARCO METÁLICO QUE SOPORTA AL EQUIPO DE DEFLEXIÓN DE VIGAS**

### **3.2.1 SIMULACIÓN DE LA ESTRUCTURA ACTUAL UTILIZANDO SAP2000 V14**

Luego de haber determinado las dimensiones de los elementos que conforman la máquina de ensayos de deflexión de vigas y las cargas que ésta soporta, se ingresan los datos en el programa SAP2000 V14 para realizar la simulación estática (Figura 3.7).

Se definió el tipo de material junto con sus propiedades (ASTM A36) y el tipo de perfiles.

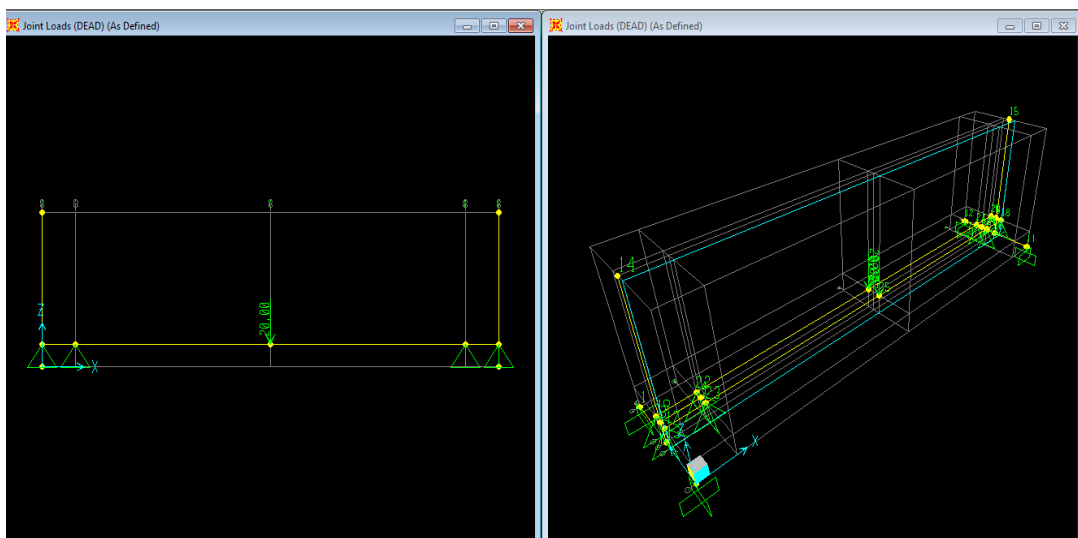
**Figura 3.7** Simulación de la estructura



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

Para las cargas se tomó en cuenta el peso propio de la estructura y de sus elementos y además de las pesas utilizadas para el ensayo, utilizando una carga puntual de 20kg en el centro de las vigas transversales. También se propuso un factor de seguridad de 1,5 por el mal uso de la estructura (Figura 3.8).

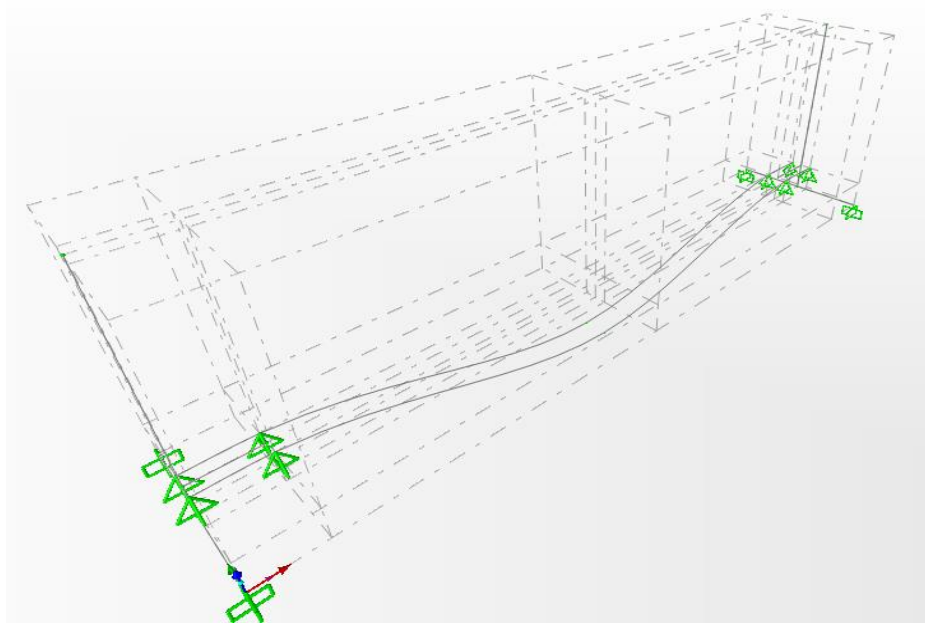
**Figura 3.8** Estructura aplicada cargas puntuales



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

Posteriormente a la asignación de las cargas y el factor de seguridad se efectuó la corrida del programa, luego de lo cual se realizó el chequeo de la estructura para verificar si existe algún tipo de inconvenientes en ésta (Figura 3.9).

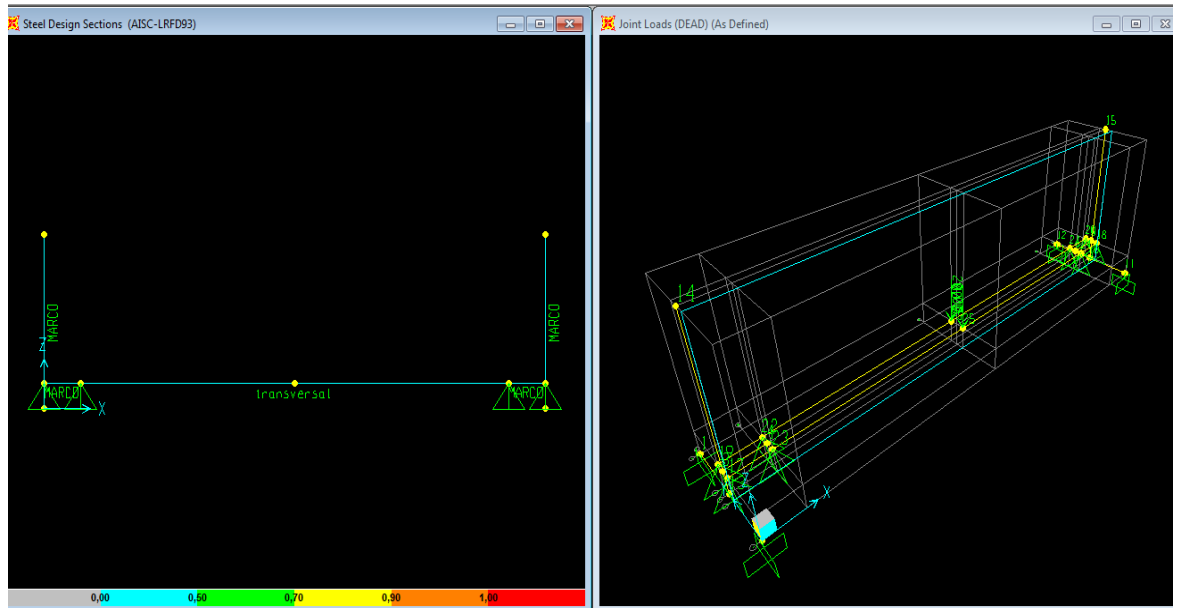
**Figura 3.9** Ejecución del programa



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

Mediante la barra de colores críticos, el programa permite verificar qué elementos de la estructura se encuentran en grado crítico (figura 3.11). Ninguno de los elementos es crítico ya que se encuentran en celeste. En la figura 3.10 se verifica el color crítico de los puntos de apoyo y/o uniones, los cuales se encuentran en un rango aceptable.

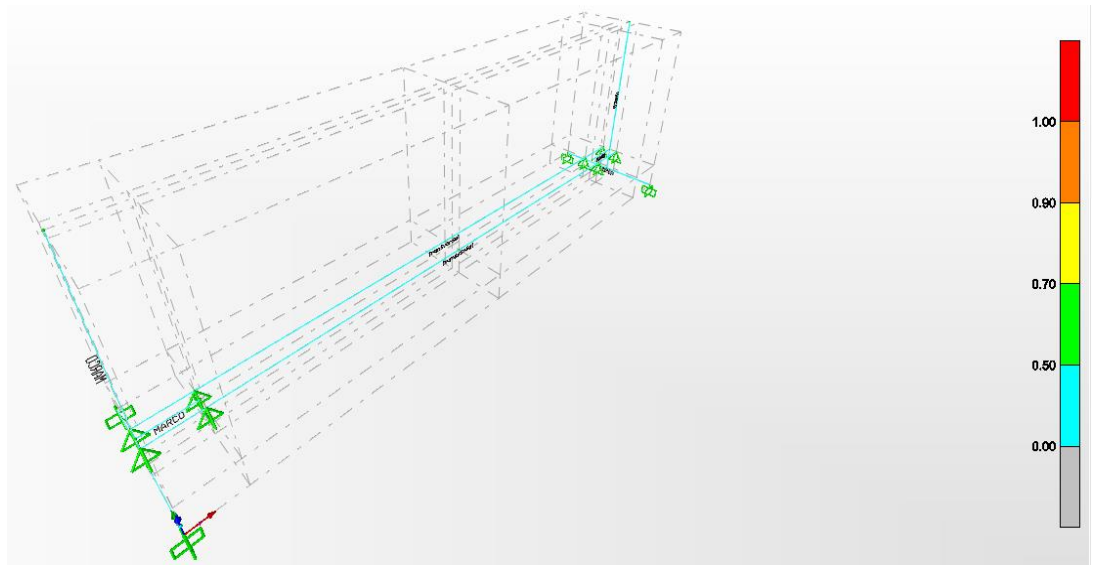
**Figura 3. 10** Chequeo de la estructura



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

Se concluye mediante la figura 3.11 que la actual estructura se encuentra sobredimensionada y se puede utilizar para el rediseño.

**Figura 3. 11** Chequeo de la estructura por color crítico



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

## CONCLUSIÓN

De acuerdo al análisis estructural realizado en el software SAP, el marco puede soportar cargas de hasta 20kg, ya que este fue diseñado con perfiles y platinas de grandes dimensiones que permiten realizar el rediseño utilizando el mismo marco metálico.

### 3.3 REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA LA CELDA DE CARGA

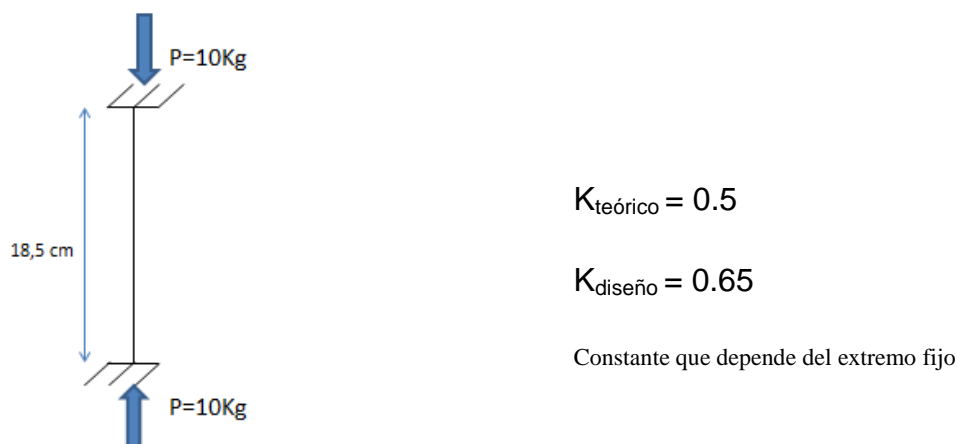
La base (ASTM A36) anterior de la balanza no satisface las necesidades de sujeción y buen funcionamiento de la celda de carga. Por ese motivo se procederá al rediseño de la misma, en el cual se modificarán las dimensiones de la base y se verificará el espesor del material.

Para el rediseño de la base se tomará en cuenta la carga a la cual va a ser sometida la base, que es de 10 Kgf. Además se verificará si el espesor que se utilizó en la base soportará la nueva carga. Las medidas están en mm. (Ver en el ANEXO A PLANO 0.0001.04.00.00)

#### 3.3.1 CÁLCULO DE LA COLUMNA

En la figura 3.12 se aprecia el diagrama de cuerpo libre de una columna

Figura 3.12 Diagrama de cuerpo libre columna



Elaborado por: Alejandro Santamaría & Juan Tamay

Material: A-36

$S_y=36$  KSI

$E=29 \times 10^6$  lb/plg<sup>2</sup>

$A=4.44$ cm<sup>2</sup>

$I=10.20$ cm<sup>4</sup>

En la Tabla 3.1 se puede ver las características de los tubos cuadrados

**Tabla 3.1** Características del tubo estructural negro cuadrado

DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A	ESPESOR	PESO	AREA	I	W	i
mm	mm	Kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	8.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

Fuente: DIPAC (2014)

Debido a la disponibilidad del distribuidor, se seleccionó un tubo estructural negro cuadrado de 40mm x 40mm con un espesor de 3mm.

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{10.20 \text{cm}^4}{4.44 \text{cm}^2}}$$

$$r_{\min} = 1.515 \text{cm}$$

$$\lambda = \frac{KL}{r \min} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

$$\lambda = \frac{0.65 \times 18.5 \text{ cm}}{1.515 \text{ cm}}$$

$$\lambda = 7.937$$

Con este valor de esbeltez se localiza en la tabla 3.16 del manual de la AISC (ANEXO B-2) el valor del esfuerzo admisible  $F_a$ , interpolando los valores.

$$F_a = 21.253 \text{ ksi}$$

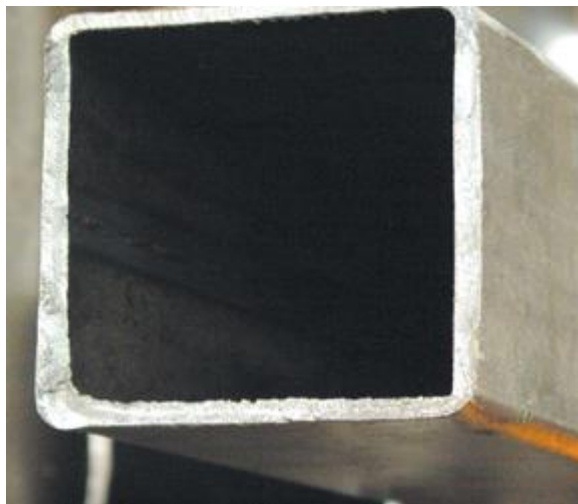
$$P = F_a \times A \quad (\text{Ec. 3.3})$$

$$P = 21.2531 \text{ ksi} \times 0.6882 \text{ plg}^2$$

$$P = 14.62 \text{ klb}$$

El tubo cuadrado disponible es de 4cm, ver figura 3.13

**Figura 3.13** Perfil Cuadrado 40x40 (mm)



**Fuente:** DIPAC (2014)

Este perfil cuadrado de 40 x 40 (mm) cumple con las especificaciones para el diseño de la máquina de ensayos de deflexión de vigas.

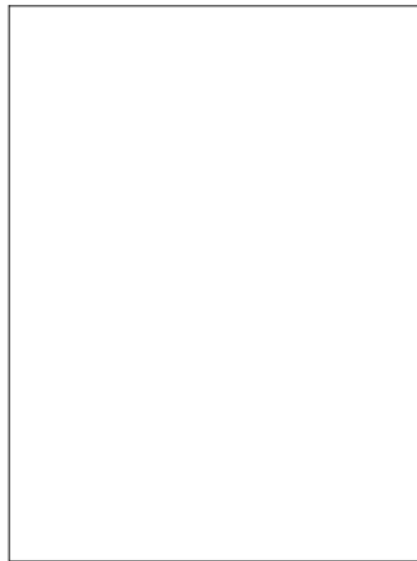


### 3.3.2 CÁLCULO DE LAS PLACAS RECTANGULARES INFERIORES

El rediseño de estas placas se realizará con la carga máxima que se utilizará en la práctica incluyendo los pesos de los distintos elementos, esto es 10 kgf.

El material de la placa es acero ASTM A36 y se encuentra sujeta mediante un perno a la placa superior de sujeción.

**Figura 3.14** Placa base para la sujeción de la base de la celda de carga



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

Aplicando el coeficiente de placas rectangulares:

$$\frac{R_1}{r_2}$$

Donde:

$R_1$  = Longitud mayor de la placa

$r_2$  = Longitud menor de la placa

$$\frac{R_1}{r_2} = 1.75$$

Por lo tanto interpolando:

$$K = 0.78$$

Donde:

K = Coeficiente para placas *rectangulares* (ANEXO C-1)

Para calcular el espesor se aplica la ecuación 3.4

$$S_M = \frac{P}{t^2} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Donde:

$S_M$  = Esfuerzo máximo

P = Fuerza máxima sobre la placa

t = Espesor de la placa

Despejando t se obtiene la ecuación 3.5:

$$t = \sqrt{\frac{K \cdot F}{S_M}} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

$$t = \sqrt{\frac{0.78 \cdot 10 \text{Kgf}}{40.816 \text{Kgf/mm}^2}}$$

$$t = 0.437 \text{mm}$$

Mediante la ecuación 3.6 se elige un factor de seguridad que evitará la flexión en la placa.

$$e = t \cdot f_s \quad (\text{Ec. 3.6})$$

$$e = 0.437 \cdot 3$$

$$e = 1.32 \text{mm}$$

El espesor de la placa anterior es de ½ plg por lo cual está sobredimensionada y se puede trabajar con la misma placa inferior.

### 3.3.3 CÁLCULO DE LA PLACA CUADRADA SUPERIOR

Esta placa servirá para apoyar a la celda de carga y se la fabricará en acero ASTM A36 con una carga de diseño de 10 Kgf.

Aplicando el coeficiente de placas rectangulares:

$$\frac{R_1}{r_2}$$

Donde:

$R_1$  = Longitud mayor de la placa

$r_2$  = Longitud menor de la placa

$$\frac{R_1}{r_2} = 1$$

Por lo tanto:

$$K = 0.287$$

Donde:

K = Coeficiente para placas *rectangulares* (ANEXO C-1)

Para calcular el espesor de la placa se aplica la ecuación 3.5

$$t = \sqrt{\frac{K * F}{S_M}}$$
$$t = \sqrt{\frac{0.287 * 10\text{Kgf}}{40.816\text{Kgf/mm}^2}}$$
$$t = 0.265\text{mm}$$

Mediante la ecuación 3.6 se elige un factor de seguridad que evite la flexión en la placa.

$$e = t * f_s$$

$$e = 0.265 * 3$$

$$e = 0.795\text{mm}$$

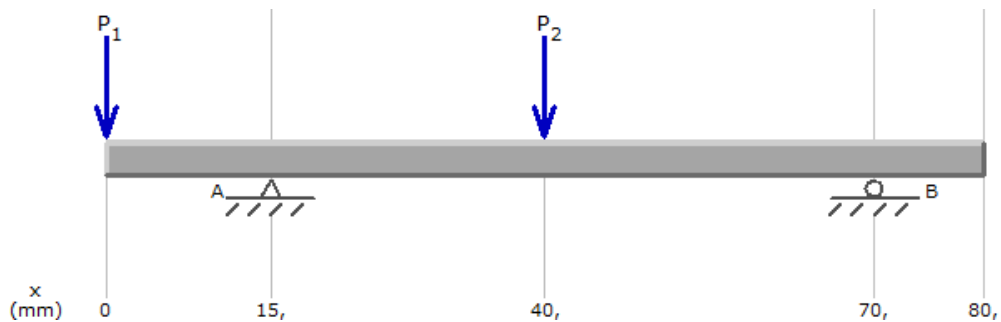
Debido a disponibilidad se utilizó platinas con un espesor de 4mm.

### 3.3.4 CÁLCULO DE LA PLACA SUPERIOR DE SUJECCIÓN

Esta placa servirá para sujetar la base de la celda de carga y la columna de la práctica de voladizo.

Para el diseño de la placa se consideran las dos cargas puntuales iguales  $P_1 = P_2 = 98.1[N]$ . Ver figura 3.15

**Figura 3.15** Diagrama de Cuerpo Libre



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

Realizando la sumatoria de momentos en el punto A, se obtiene la reacción  $R_B$ :

$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0 \\ \curvearrowright 98,1[N](15\text{mm}) - 98,1[N](25\text{mm}) + R_B(55\text{mm}) &= 0 \\ R_B &= 17,83[N] \end{aligned}$$

Luego se realiza la sumatoria de fuerza en Y, y se obtiene la reacción  $R_A$ :

$$\begin{aligned} \uparrow \sum F_y &= 0 \\ -98,1[N] + R_A - 98,1[N] + 17,83[N] &= 0 \\ R_A &= 178,37[N] \end{aligned}$$

Se procede a cortar por secciones la placa, para obtener el momento flector  $M$  y el esfuerzo cortante  $V$  en cada tramo de la misma.

$$1) \quad 0 < x < 15$$

$$\begin{aligned} \curvearrowright \sum M &= 0 \\ M &= -98,1x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \downarrow \sum F_y &= 0 \\ V &= -98,1 \end{aligned}$$

$$2) 15 < x < 40$$

$$\begin{aligned} \sum M = 0 \\ \rightarrow M + 98,1x - R_A(x-15) = 0 \\ M = 80,27x - 2675,55 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \downarrow \sum Fy = 0 \\ V + 98,1 - R_A = 0 \\ V = 80,27 \end{aligned}$$

$$3) 40 < x < 70$$

$$\begin{aligned} \sum M = 0 \\ \rightarrow M + 98,1x - R_A(x-15) + 98,1(x-40) = 0 \\ M = -17,835x + 1248,45 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \downarrow \sum Fy = 0 \\ V + 98,1 - R_A + 98,1 = 0 \\ V = -17,835 \end{aligned}$$

$$4) 70 < x < 80$$

$$\begin{aligned} \sum M = 0 \\ \rightarrow M + 98,1x - R_A(x-15) + 98,1(x-40) - R_B(x-70) = 0 \\ M = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \downarrow \sum Fy = 0 \\ V + 98,1 - R_A + 98,1 - R_B = 0 \\ V = 0 \end{aligned}$$

En la tabla 3.2 se resume los valores del esfuerzo cortante  $V$  y el momento flector  $M$  en cada tramo.

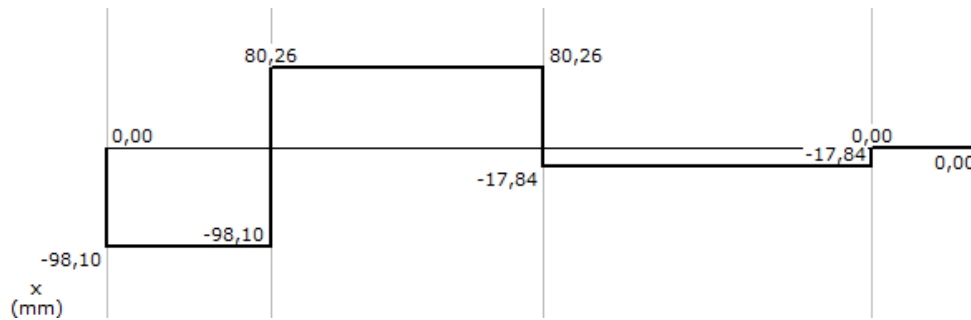
**Tabla 3.2** Tabla de resumen de valores

Tramo	X[mm]	M[N.mm]	V[N]
1	0	0	-98,1
	15	-1471,5	-98,1
2	15	-1471,5	80,27
	40	535,25	80,27
3	40	535,25	-17,835
	70	0	-17,835
4	70	0	0
	80	0	0

**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

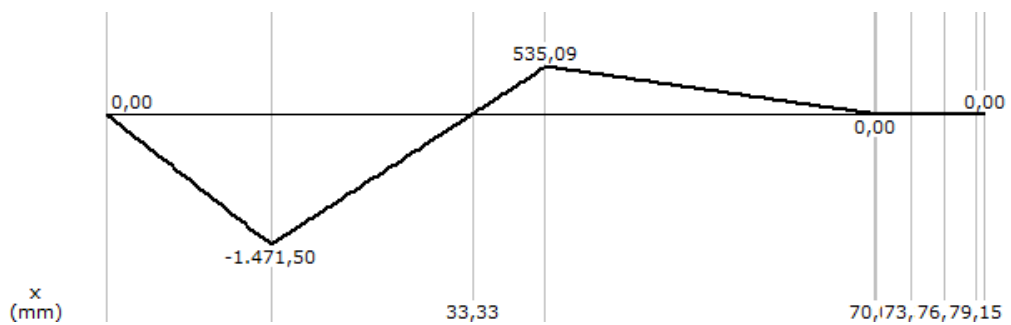
Mediante el software MDSOLIDS se obtiene los respectivos diagramas del esfuerzo cortante  $V$  y el momento flector  $M$  en cada tramo; como se muestra en la figura 3.16 y 3.17

**Figura 3.16** Diagrama de Esfuerzo Cortante



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

**Figura 3.17** Diagrama de Momento Flector



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

Se determina el módulo de sección mediante la ecuación 3.7, aplicando la resistencia a la fluencia de Acero A36.

$$S = \frac{M_{\max}}{\sigma_{adm}} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Donde:

- $S$ : Módulo de sección
- $M_{\max}$ : Momento máximo

- $\sigma_{adm}$ : Esfuerzo admisible

Mediante la ecuación 3.8 se determina el esfuerzo admisible para el acero A36.

$$\sigma_{adm} \text{ A36} = 0,6 S_y \quad (\text{Ec. 3.8})$$

$$S = \frac{1471,5[N.mm]}{0,6(3600[lb / p1g^2])} \times \frac{1[lb]}{4,44[N]} \times \frac{(0,0254[m])^2}{(1[p1g])^2} \times \frac{(100[mm])^2}{(1[m])^2}$$

$$S = 9,9[mm^3]$$

El módulo de sección también se lo determina aplicando la ecuación 3.9:

$$S = \frac{I}{C} \quad (\text{Ec. 3.9})$$

Donde:

- $S$ : Módulo de sección
- $I$ : Inercia de la figura
- $C$ : Centroide la de figura
- $h$ : Espesor de la placa

Igualando la ecuación 3.7 con la ecuación 3.9 se obtiene:

$$\frac{I}{C} = \frac{M_{\max}}{\sigma_{adm}}$$

$$\frac{bh^3}{\frac{12}{h}} = 9,9[mm^3]$$

$$\frac{2}{2}$$

$$h = \sqrt{\frac{6(9,9[mm^3])}{b}}$$

$$h = \sqrt{\frac{6(9,9[mm^3])}{80[mm]}}$$

$$h = 0,86[mm]$$

Para evitar la flexión se aplica un factor de seguridad de 3.

$$h = 0,86[mm] \times 3$$

$$h = 2,58[mm]$$

El espesor de la placa anterior es de ½ plg por lo cual está sobredimensionada y se la podrá utilizar para el rediseño.

### 3.4 DISEÑO DE LA BASE TRANSPORTADORA

Esta base transportadora sirve para soportar los dos sensores infrarrojos y se encuentra sujeta a la cadena.

La base transportadora está conformada por un riel sujeto a la cadena y un soporte para los sensores. (Ver en los ANEXO A PLANO N 0.0001.02.00.00).

#### 3.4.1 CRITERIO DE SELECCIÓN Y DISEÑO PARA LA RIEL

El diseño se lo va a realizar con dos ángulos soldados a una platina rectangular como se detalla en la tabla 3.3. (Ver ANEXO A PLANO N 0.0001.02.03.00).

La longitud del riel se diseñó teniendo en cuenta los criterios de estabilidad y facilidad de desplazamiento. Ver tabla 3.3

**Tabla 3.3** Elementos del riel

Elemento	Cantidad	Longitud	Ancho	Espesor	Material
Ángulo	2	13 cm	1 plg	1/8 plg	Acero
Platina	1	13 cm	22 mm	3 mm	Acero

Elaborado por: Alejandro Santamaría & Juan Tamay

#### 3.4.2 CRITERIO DE SELECCIÓN PARA SOPORTE DE LOS SENSORES

El soporte para los sensores infrarrojos se realizará en una platina rectangular como se detalla en la tabla 3.4, tomando en cuenta las dimensiones del sensor infrarrojo y la distancia que hay entre la viga apoyada en los extremos y la viga en voladizo. (Ver ANEXO A PLANO N 0.0001.02.02.00).



**Tabla 3.4** Elementos del soporte para los sensores

Elemento	Cantidad	Longitud	Ancho	Espesor	Material
Platina	1	23.5 cm	1 plg	3 mm	A36

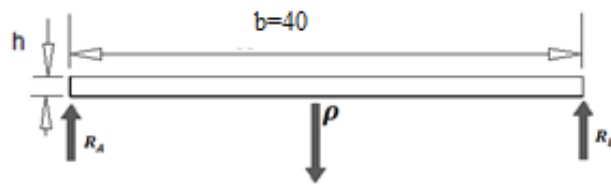
Elaborado por: Alejandro Santamaría & Juan Tamay

### 3.5 REDISEÑO DEL GANCHO PARA SUJECCIÓN DEL PESO

Debido a que la actual base de sujeción del peso es de madera y no satisface la necesidad de sujetar el nuevo peso, se optó por descartarla. (Ver ANEXO A PLANO 0.0001.06.00.00). El material que se utilizará para la nueva base es de acero ASTM A36.

En la figura 3.18 se puede observar el diagrama de cuerpo libre.

**Figura 3.18** Diagrama cuerpo libre base sujeción del peso



Elaborado por: Alejandro Santamaría & Juan Tamay

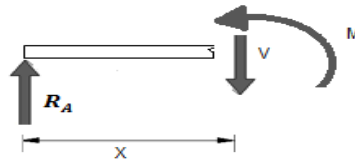
Para el diseño de la estructura de sujeción del peso se consideran las reacciones en los soportes fijos, que en este caso se origina por la ubicación de una carga  $P=15\text{Kgf}$  en el centro de la estructura, obteniéndose:

$$R_A = R_B = 7.5\text{Kgf}$$

Se corta por secciones la base para obtener el momento flector  $M$  y el esfuerzo cortante  $V$  en cada tramo.

Tramo  $0 < x < 20$ , Ver figura 3.19

**Figura 3. 19** Diagrama de corte primer tramo



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A - V = 0$$

$$V = 7.5Kgf$$

$$\sum M = 0$$

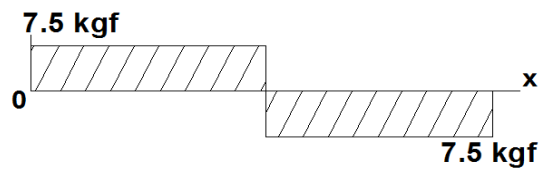
$$-R_A(x) + M = 0$$

$$\text{Para: } x = 0 \quad M(x) = 0$$

$$x = 20 \quad M(x) = 150Kgf * mm$$

En la figura 3.20 se puede observar el diagrama de fuerzas cortantes.

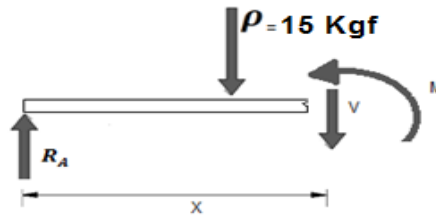
**Figura 3.20** Diagrama de fuerzas cortantes del gancho para sujeción del peso



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

Tramo  $20 < x < 40$ , ver figura 3.21

**Figura 3.21** Diagrama de corte segundo tramo



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A - V - \rho = 0$$

$$V = -7.5Kgf$$

$$\sum M = 0$$

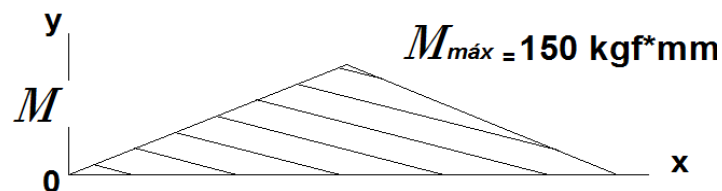
$$-R_A(x) + M + \rho(x - 20) = 0$$

Para:  $x = 20$                        $M(x) = 150Kgf * mm$

$x = 40$                                $M(x) = 0$

En la figura 3.22 se puede observar el diagrama de momento flector.

**Figura 3.22** Diagrama de momento flector del gancho para sujeción del peso



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

La altura se considera como el espesor de la base la cual toma en cuenta el eje “y”.

### Módulo de sección transversal

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (\text{Ec. 3.10})$$

Donde:

b = Base de platina

h = Espesor de la platina

W = Módulo de sección transversal

### Esfuerzo admisible

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_y}{f_s} \quad (\text{Ec. 3.11})$$

Donde:

$\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible

$\sigma_y$  = Esfuerzo de fluencia

$f_s$  = Factor de seguridad

$$\sigma_{adm} = \frac{25.51 * 10^6 \text{ Kgf/m}^2}{3}$$

$$\sigma_{adm} = 8.5 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$$

### Esfuerzo máximo

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{\max}}{W} \quad (\text{Ec. 3.12})$$

Donde:

$\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible

$M_{\max}$  = Momento máximo

W = Módulo de sección transversal

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{\max}}{\frac{b * h^2}{6}}$$

$$h = \sqrt{\frac{6 * M_{\max}}{b * \sigma_{adm}}}$$

$$h = \sqrt{\frac{6 * 150 \text{ Kgf} * \text{mm}^2 * \text{mm}}{40\text{mm} * 8.5 \text{ Kgf}}}$$

$$h = 1.63\text{mm}$$

El espesor que se obtiene del cálculo es de 1.63mm, el cual soportará una carga de 15 Kgf durante el ensayo de deflexión de vigas, para facilidad de construcción se selecciona una platina de 3mm.

### 3.6 DISEÑO DE SOLDADURA

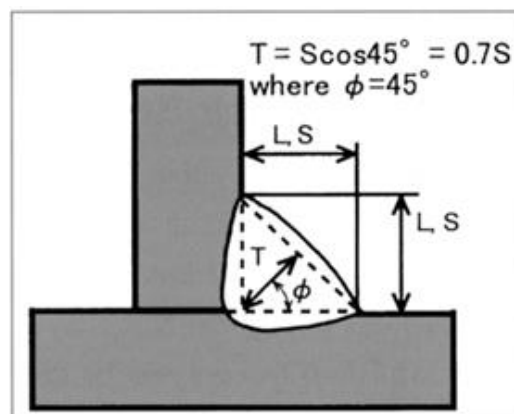
Los elementos estructurales que deben ser unidos son la barra rectangular superior y las bases de la celda de carga, los mismos que están fabricados con acero estructural ASTM A-36

La soldadura a utilizar es del tipo SMAW (Soldadura Manual con Electrodo Revestido), ya que tiene características de calidad, bajo costo de operación y mayor continuidad en el proceso de soldadura.

Las juntas en perfiles cuadrados, platinas y vigas serán soldadas con electrodos E6011, ya que éstos son de fácil adquisición en el mercado, bajo costo y su resistencia última ( $S_u$ ) y límite de fluencia ( $S_y$ ), son apropiados para el acero ASTM A-36. Además el electrodo garantiza una excelente unión en la junta, ya que es de alta penetración

El tipo de soldadura que se va a emplear es de filete en ángulo figura 3.23.

**Figura 3.23** Soldadura tipo ángulo



Fuente: Kobelco (2014)

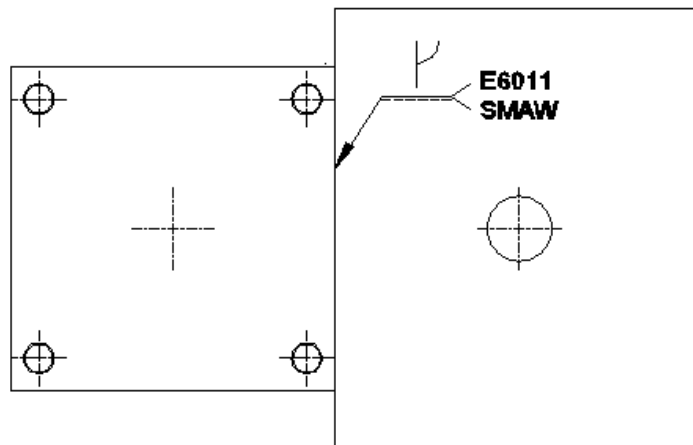
### 3.6.1 CÁLCULO DE SOLDADURA PLACA SUPERIOR DE SUJECCIÓN

Para el cálculo de soldadura se tomará el punto crítico de la estructura.

Para la soldadura SMAW el tipo de unión que se empleará es a tope.

En la Figura 3.24 se representa la soldadura que une la placa superior de sujeción.

**Figura 3.24** Junta soldada

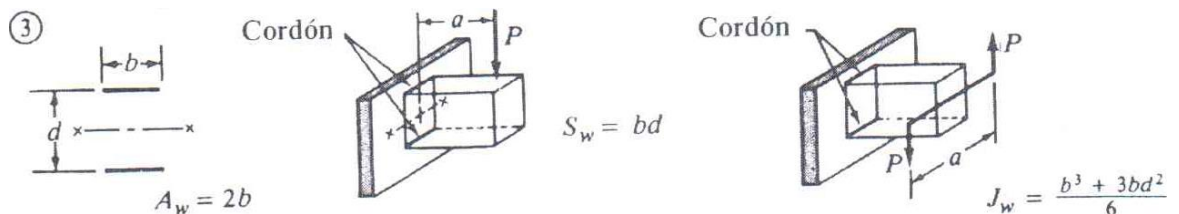


Elaborado por: Alejandro Santamaría & Juan Tamay

- **DIMENSIONES DE LA SOLDADURA**

Las dimensiones fundamentales que sirven para determinar un cordón de soldadura son la garganta y la longitud que se pueden ver figura 3.25

**Figura 3. 25** Medidas cordón soldadura



Fuente: Mott (2006, pág. 786)

Para el cálculo de dimensiones de soldadura, flexión y torsión respectivamente se seleccionará el caso 3 del ANEXO D-1.

Dimensiones de soldadura:

$$A_w = 2b \quad (\text{Ec. 3. 13})$$

$$A_w = 2 * 70\text{mm}$$

$$A_w = 140\text{mm}$$

Flexión:

$$S_w = bd \quad (\text{Ec. 3. 14})$$

$$S_w = 70\text{mm} * 12.7\text{mm}$$

$$S_w = 889\text{mm}^2$$

Torsión:

$$J_w = \frac{b^3 + 3bd^2}{6} \quad (\text{Ec. 3. 15})$$

$$J_w = \frac{70^3 + 3 * 70 * 12.7^2}{6}$$

$$J_w = 62811.816\text{mm}^3$$

Para el cálculo de la fuerza debido al cortante vertical se emplea la ecuación 3.16.

Esta fuerza actúa hacia abajo en todas las partes de la soldadura.

$$f_s = \frac{P}{A_w} \quad (\text{Ec. 3. 16})$$

$$f_s = \frac{15 \text{ kg}}{140\text{mm}}$$

$$f_s = 0.10714 \frac{\text{kg}}{\text{mm}}$$

Mediante la ecuación 3.17 se calcula la fuerza debido al momento de torsión.

$$T = P * 500\text{mm} \quad (\text{Ec. 3. 17})$$

$$T = 150\text{kg} * 500\text{mm}$$

$$T = 7500\text{kg} * \text{mm}$$

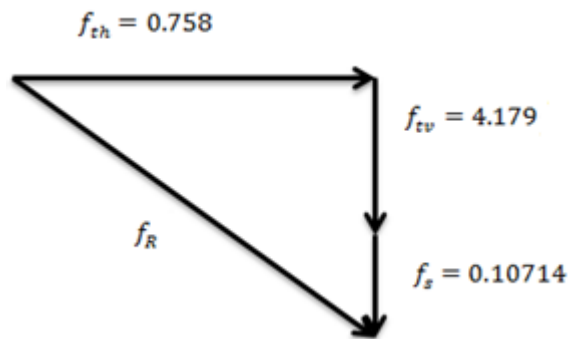
Cálculo de la fuerza resultante:

$$f_{th} = \frac{T_{cv}}{J_w}$$
$$f_{th} = \frac{7500kg * mm * 12.7mm}{62811.816mm^2}$$
$$f_{th} = 0.758 \frac{kg}{mm}$$

$$f_{tv} = \frac{T_{ch}}{J_w}$$
$$f_{tv} = \frac{7500kg * mm * 35mm}{62811.816mm^2}$$
$$f_{tv} = 4.179 \frac{kg}{mm}$$

En la figura 3.26 se muestra el Diagrama de sumatoria de fuerzas.

**Figura 3.26** Diagrama de sumatoria de fuerzas



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

$$f_R = \sqrt{f_{th}^2 + (f_{tv} + f_s)^2}$$
$$f_R = \sqrt{0.758^2 + (4.286)^2}$$
$$f_R = 4.352 \frac{kg}{mm}$$



Se selecciona el electrodo E6011 para soldar el material A36, ya que este electrodo presenta todas las características que requiere la placa a soldar.

- **LONGITUD NECESARIA PARA LA SOLDADURA**

Para el cálculo de la longitud requerida del cordón, se necesita la fuerza admisible para el cordón de 3/16plg. En el ANEXO D-2 se observa que la fuerza admisible para el acero A36 es de  $9600 \frac{kg}{mm}$ , entonces:

$$f_a = 4.352 \frac{kg}{mm} \times 2.2 \frac{lb}{kg} \times 25.4 \frac{mm}{plg}$$

$$f_a = 243.189 \frac{lb}{plg}$$

$$W = \frac{f_R}{\sigma_{adm}}$$

$$W = \frac{243.189}{9600}$$

$$W = 0.025plg$$

Según el ANEXO D-3 el tamaño mínimo del cordón debe ser 3/16plg (0.188plg).

Se concluye que el electrodo E6011 a utilizar en el diseño de la placa, cumple satisfactoriamente sin que exista falla alguna durante la vida útil.

### **3.7 SELECCIÓN DEL SISTEMA MOTRIZ**

Los elementos que intervienen en la transmisión son el motor, el eje del motor, el piñón conductor, el piñón conducido y la cadena.

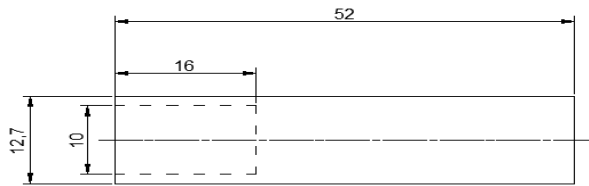
### 3.7.1 INERCIA DE LAS MASAS EN MOVIMIENTO

Se utilizará las siguientes ecuaciones para establecer la inercia de los diferentes elementos que integran el sistema motriz.

#### 3.7.1.1 INERCIA DEL EJE DEL MOTOR

En la figura 3.27 se representa el eje del motor.

**Figura 3.27** Eje motor



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

- **Volumen de un cilindro hueco**

El volumen de un cilindro hueco está dado por la ecuación 3.18.

$$V = \frac{\pi}{4} (d_{ext}^2 - d_{int}^2) l \quad (\text{Ec. 3.18})$$

Donde:

- $V$  = Volumen del cilindro hueco [ $\text{mm}^3$ ]
- $d_{ext}$  = Diámetro exterior [mm]
- $d_{int}$  = Diámetro interior [mm]
- $l$  = Longitud del cuerpo [mm]

$$V_1 = \frac{\pi}{4} (12,7^2 - 10^2) \cdot 16$$

$$V_1 = 770,19 \text{ mm}^3$$

- **Volumen de un cilindro macizo**

El volumen de un cilindro macizo está dado por la ecuación 3.19.

$$V = \frac{\pi}{4} * d^2 * l \quad (\text{Ec. 3.19})$$

Donde:

- $V =$  Volumen del cilindro macizo [ $\text{mm}^3$ ]
- $d =$  diámetro del cilindro [ $\text{mm}$ ]
- $l =$  Longitud del cuerpo [ $\text{mm}$ ]

$$V_2 = \frac{\pi}{4} * 12,7^2 * 36$$

$$V_2 = 4560,36 \text{mm}^3$$

- **Masa de un cuerpo**

La masa de un cuerpo está dada por la ecuación 3.20.

$$m = \delta * V \quad (\text{Ec. 3.20})$$

Donde:

- $m =$  Masa del cuerpo [ $\text{Kg}$ ]
- $\delta =$  Densidad del material [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ]
- $V =$  Volumen del cuerpo [ $\text{m}^3$ ]

$$m_1 = 7850 \times 770,19 \times \frac{(1\text{m})^3}{(1000\text{mm})^3}$$

$$m_1 = 6,046 \times 10^{-3} [\text{Kg}]$$

$$m_2 = 7850 \times 4560,36 \times \frac{(1\text{m})^3}{(1000\text{mm})^3}$$

$$m_2 = 0,0358 [\text{Kg}]$$

- **Inercia cilindro hueco**

La inercia de un cilindro hueco está dada por la ecuación 3.21.

$$I = \frac{m}{8} (d_{ext}^2 + d_{int}^2) \quad (\text{Ec. 3.21})$$

Donde:

- $I =$  Inercia del cilindro [ $\text{Kg} \cdot \text{mm}^2$ ]
- $m =$  Masa del cuerpo [ $\text{Kg}$ ]

- $d_{ext}$  = Diámetro exterior del cilindro [mm]
- $d_{int}$  = Diámetro interior del cilindro [mm]

$$I_1 = \frac{6,046 \times 10^{-3}}{8} (12,7^2 + 10^2)$$

$$I_1 = 0,1974, [Kg.mm^2]$$

- **Inercia cilindro macizo**

La inercia de un cilindro macizo está dada por la ecuación 3.22.

$$I = \frac{m * d^2}{8} \quad (\text{Ec. 3.22})$$

Donde:

- $I$  = Inercia del cilindro [Kg.mm<sup>2</sup>]
- $m$  = Masa del cuerpo [Kg]
- $d$  = Diámetro del cilindro [mm]

$$I_2 = \frac{0.0358 \times 12,7^2}{8}$$

$$I_2 = 0,7217 [Kg.mm^2]$$

- **Inercia total del eje del motor**

$$I_E = I_1 + I_2$$

$$I_E = 0,9246, [Kg.mm^2]$$

### 3.7.1.2 INERCIA DEL PIÑÓN CONDUCTOR

Se supone el piñón como un anillo de  $d_{ext} = 54 \text{ mm}$  con un espesor de  $3 \text{ mm}$ .

- **Volumen de un piñón**

El volumen de un piñón está dado por la ecuación 3.23.

$$V = \frac{\pi}{4} * d^2 * e \quad (\text{Ec. 3.23})$$

Donde:

- $V$  = Volumen del piñón [ $\text{mm}^3$ ]
- $d$  = diámetro exterior del piñón [mm]
- $e$  = Espesor del cuerpo [mm]

$$V = \frac{\pi}{4} \times 54^2 \times 3$$

$$V = 6870,66 \text{mm}^3$$

- **Masa de un cuerpo**

La masa de un cuerpo está dada por la ecuación 3.24.

$$m = \delta * V \quad (\text{Ec. 3.24})$$

Donde:

- $m$  = Masa del cuerpo [Kg]
- $\delta$  = Densidad del material [ $\text{Kg}/\text{mm}^3$ ]
- $V$  = Volumen del cuerpo [ $\text{mm}^3$ ]

Los piñones están fabricados con acero AISI 1018 con una densidad de  $7,87 \text{g}/\text{cm}^3$ . Ver ANEXO E-1.

$$m = 7,87 \times 10^{-6} \times 6870,66$$

$$m = 0,054 [\text{Kg}]$$

- **Inercia del piñón conductor**

La inercia de un cilindro macizo está dada por la ecuación 3.25.

$$I = \frac{m * d^2}{8} \quad (\text{Ec. 3.25})$$

Donde:

- $I$  = Inercia del cilindro [ $\text{Kg} \cdot \text{mm}^2$ ]
- $m$  = Masa del cuerpo [Kg]

- $d$  = Diámetro del cilindro [mm]

$$I_{p1} = \frac{0.054 \times 54^2}{8}$$

$$I_{p1} = 19,683. [Kg.mm^2]$$

### 3.7.1.3 INERCIA DEL PIÑÓN CONDUcido

Se supone el piñón como un anillo de  $d_{ext} = 66 \text{ mm}$  con un espesor de  $3 \text{ mm}$ .

- **Volumen de un piñón**

El volumen de un piñón está dado por la ecuación 3.26

$$V = \frac{\pi}{4} * d^2 * e \quad (\text{Ec. 3.26})$$

Donde:

- $V$  = Volumen del piñón [ $\text{mm}^3$ ]
- $d$  = diámetro exterior del piñón [mm]
- $e$  = Espesor del cuerpo [mm]

$$V = \frac{\pi}{4} \times 66^2 \times 3$$

$$V = 10263,583.\text{mm}^3$$

- **Masa de un cuerpo**

La masa de un cuerpo está dada por la ecuación 3.27.

$$m = \delta * V \quad (\text{Ec. 3.27})$$

Donde:

- $m$  = Masa del cuerpo [Kg]
- $\delta$  = Densidad del material [ $\text{Kg}/\text{mm}^3$ ]
- $V$  = Volumen del cuerpo [ $\text{mm}^3$ ]

Los piñones están fabricados con acero AISI 1018 con una densidad de  $7,87 \text{ g}/\text{cm}^3$ . Ver ANEXO E-1.

$$m = 7,87 \times 10^{-6} \times 10263583$$

$$m = 0,0807.[Kg]$$

- **Inercia del piñón conducido**

La inercia de un cilindro macizo está dada por la ecuación 3.28.

$$I = \frac{m * d^2}{8} \quad (\text{Ec. 3.28})$$

Donde:

- $I$  = Inercia del cilindro [Kg.mm<sup>2</sup>]
- $m$  = Masa del cuerpo [Kg]
- $d$  = Diámetro del cilindro [mm]

$$I_{p2} = \frac{0.0807 \times 66^2}{8}$$

$$I_{p2} = 43,981.[Kg.mm^2]$$

### 3.7.1.4 INERCIA TOTAL

$$I_T = I_E + I_{p1} + I_{p2}$$

$$I_T = 64,59.[Kg.mm^2]$$

$$I_T = 6,459 \times 10^{-5}.[Kg.m^2]$$

### 3.7.2 CÁLCULO DEL TORQUE Y SELECCIÓN DEL MOTOR

Se decidió utilizar un motor de corriente continua debido a que se utilizará una fuente para la alimentación de energía y también porque se puede controlar su velocidad y además permite la inversión del giro.

- **Determinación de la velocidad angular**

Se empieza determinando una velocidad de diseño lineal de 0,1 m/s.

$$\omega = \frac{V}{r}$$

Donde:

- $\omega$  = Velocidad angular [rad/s]
- $V$  = Velocidad lineal [m/s]
- $r$  = Radio del piñón conductor [m]

$$\omega = \frac{0,1}{0,027}$$
$$\omega = 3,7.[rad / s]$$

- **Determinación de la aceleración angular**

La aceleración angular se determina mediante la ecuación 3.29.

$$\alpha = \frac{\omega}{t} \quad (\text{Ec. 3.29})$$

Donde:

- $\alpha$  = Aceleración angular [rad/s<sup>2</sup>]
- $\omega$  = Velocidad angular [rad/s]
- $t$  = Tiempo [s]

El tiempo para estabilizar la velocidad de la máquina es de 1.5 segundos.

$$\alpha = \frac{3,7}{1.5}$$
$$\alpha = 2,46.[rad / s^2]$$

- **Determinación del torque**

La aceleración angular se determina mediante la ecuación 3.30.

$$T = I_T \times \alpha \quad (\text{Ec. 3.30})$$

Donde:

- $T$  = Torque [Nm]
- $I_T$  = Inercia total del sistema motriz [kg.m<sup>2</sup>]
- $\alpha$  = Aceleración angular [rad/s<sup>2</sup>]



$$T = 6,459 \times 10^{-5} \times 2,46$$

$$T = 1,593 \times 10^{-4} [N.m]$$

En base a este torque se seleccionó el motor DC de las siguientes características que se muestran en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5** Motor DC

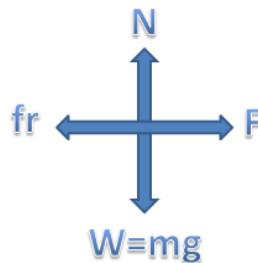
MOTOR CORRIENTE CONTINUA	
Marca	Hossen
Modelo	Mini Gear Box
Torque	1.2 [Nm]
Voltaje	12V DC
Velocidad	20 rpm
Ø eje	10 mm

Fuente: Motor DC (2014)

### 3.7.3 SELECCIÓN DE LA CADENA

Para el proceso de selección de la cadena, se construye un diagrama de cuerpo libre para determinar la fuerza de tracción necesaria como se muestra en la figura 3.28.

**Figura 3. 28** Diagrama de cuerpo libre



Elaborado por: Alejandro Santamaría & Juan Tamay

Los coeficientes de rozamiento se muestran en la tabla 3.6

**Tabla 3.6** Coeficientes de rozamiento

Coeficiente de rozamiento [ $\mu$ ]		
Superficies	Estático [ $\mu_e$ ]	Cinemático [ $\mu_c$ ]
Acero sobre acero	0.74	0.57

Fuente: Serway (1992)

Se empezará suponiendo una cadena de rodillo simple 8A (ANSI 40) con un paso de 1/2". Ver el ANEXO E-2.

Para el valor de la masa total se tomará en cuenta la cadena, los piñones, el transportador y los sensores de distancia infrarrojos, obteniéndose una masa aproximada de 3Kg.

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ N - W &= 0 \\ N &= mg \\ N &= 3\text{Kg} * 9.8 \frac{m}{s^2} \\ N &= 29.4.[N]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_r &= \mu c * N \\ f_r &= 0.57 * 29.4[N] \\ f_r &= 16.75[N]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ f_r &= F \\ F &= 16.75.[N]\end{aligned}$$

La resistencia real para esta cadena de rodillo simple 8A (ANSI 40) a la tracción según la ISO 606 es de 13.6 [KN] (Ver ANEXO E-2).

En conclusión, debido a que la resistencia a la tracción real es mayor a la necesaria, se selecciona la cadena de rodillo simple 8A (ANSI 40) con paso de 1/2".

### **3.8 SELECCIÓN DE SENSORES Y DAQ**

#### **3.8.1 CELDAS DE CARGA**

Para seleccionar las celdas de carga se necesita conocer el peso que van a sensar, la carga máxima que soportará cada celda será de 5Kg, por lo que se ha seleccionado una celda de carga con una capacidad de 0 a 10Kg.

Ver figura 3.29 y ANEXO F-1.

**Figura 3.29** Celda de carga



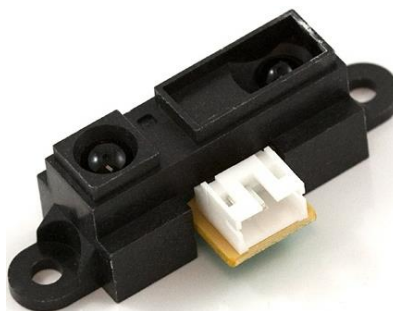
**Fuente:** Cañaveral (2014)

### **3.8.2 SENSORES DE DISTANCIA INFRARROJO**

Se ha seleccionado un sensor infrarrojo ya que este permite focalizar la señal emitida, y puede realizar hasta mil muestreos para calcular la media de la distancia obtenida, disminuyendo el error. Tiene un rango de operación de 10mm a 80mm.

Se utilizarán dos sensores: uno para la práctica de voladizo y otro para la práctica de la viga simplemente apoyada en los extremos. Se tomó la decisión de utilizar 2 sensores para facilitar las práctica y evitar el maltrato de los cables y así prolongar la vida útil de estos. Ver figura 3.30 y ANEXO F-2

**Figura 3.30** Sensor de distancia infrarrojo



**Fuente:** Sharp (2014)

### 3.8.3 TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

En el mercado nacional se pueden encontrar principalmente dos tipos de DAQ's: las tarjetas fabricadas por National Instruments y las elaboradas por ARDUINO. Ambas tarjetas sirven para tomar los datos de nuestros sensores infrarrojos y de las celdas de carga. Igualmente las dos tarjetas son capaces de transmitir los datos obtenidos a nuestro programa en LabView.

La diferencia principal se produce en cuanto a costos, debido a lo cual se ha decidido utilizar la DAQ de ARDUINO. Ver figura 3.31 y ANEXO F-3.

**Figura 3.31** DAQ ARDUINO R3



**Fuente:** Arduino (2014)

### **3.9 PROGRAMACIÓN EN LABVIEW**

LabVIEW es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real, pues acelera la productividad. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje gráfico.

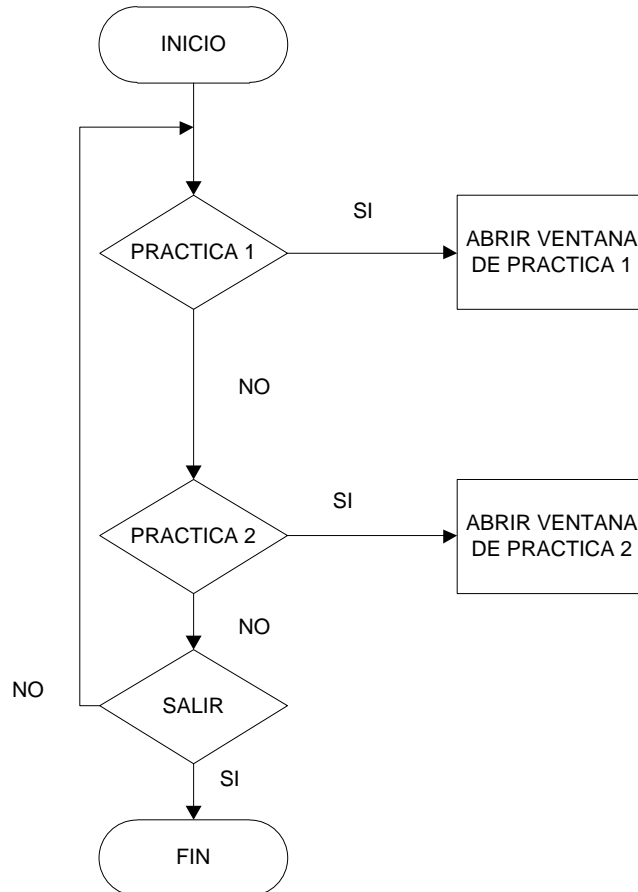
#### **3.9.1 DIAGRAMAS DE BLOQUE**

El diagrama de bloque es la representación gráfica del funcionamiento interno de un sistema, que se hace mediante bloques y sus relaciones, y además definen la organización de todo el proceso interno, sus entradas y sus salidas.

- **Menú**

Diagrama de bloques del menú principal. Ver figura 3.32

**Figura 3.32** Diagrama de bloques del menú principal

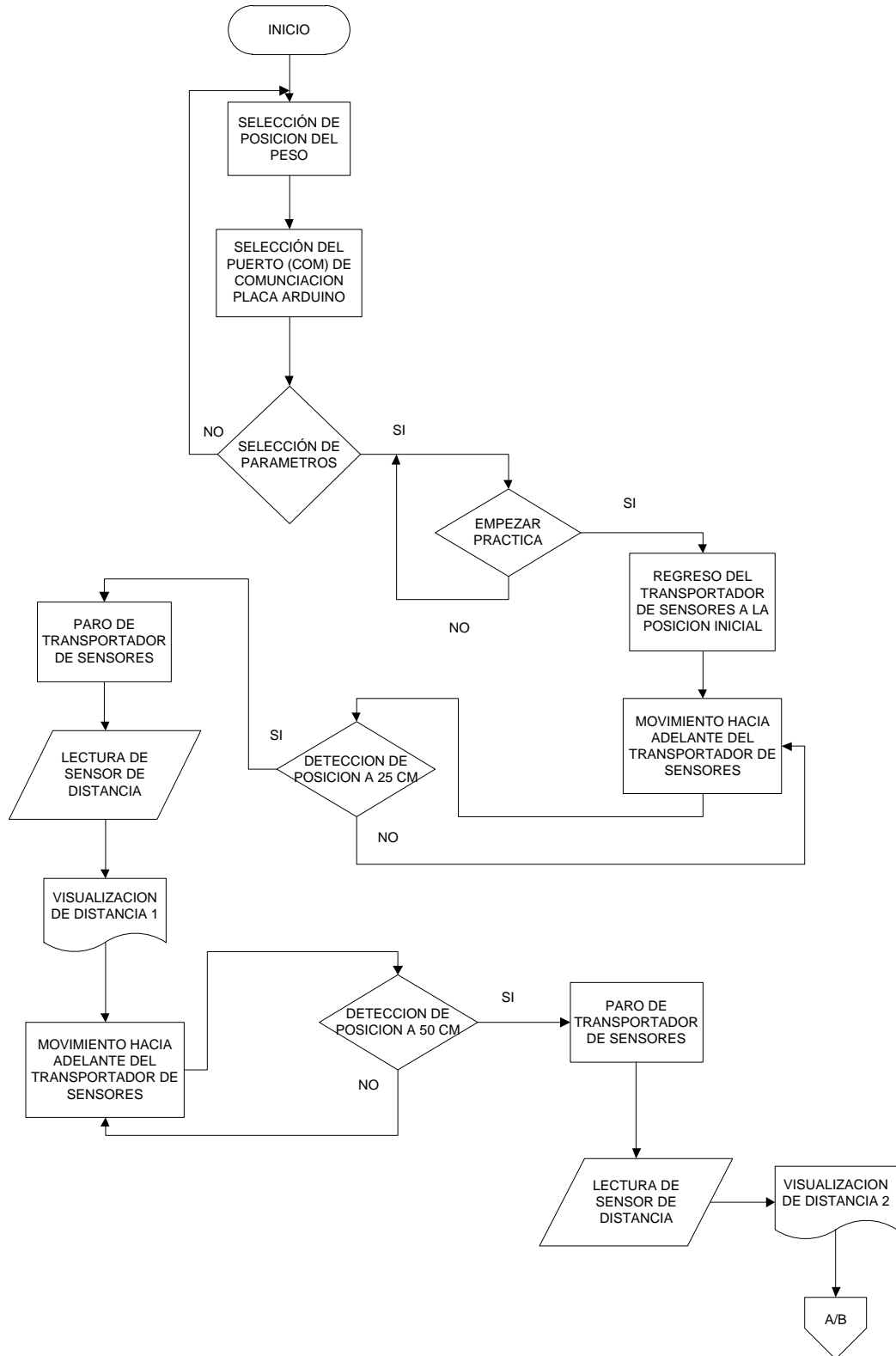


**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

- **Práctica 1 (Viga simplemente apoyada en los extremos)**

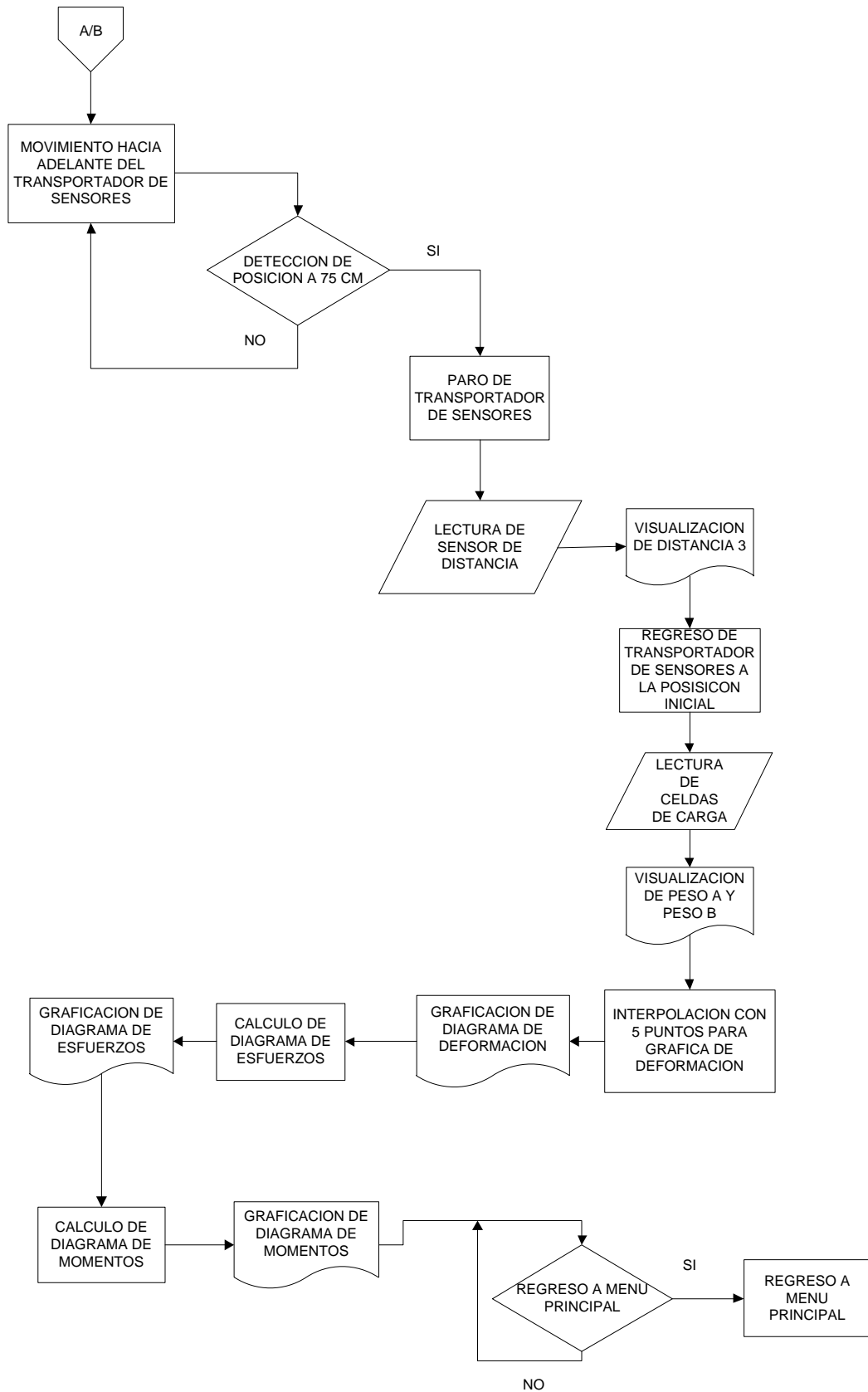
Diagrama de bloques de la práctica 1. Ver figura 3.33 y 3.34

**Figura 3.33** Diagrama de bloques de la práctica 1, parte 1



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

**Figura 3.34** Diagrama de bloques de la práctica 1, parte 2



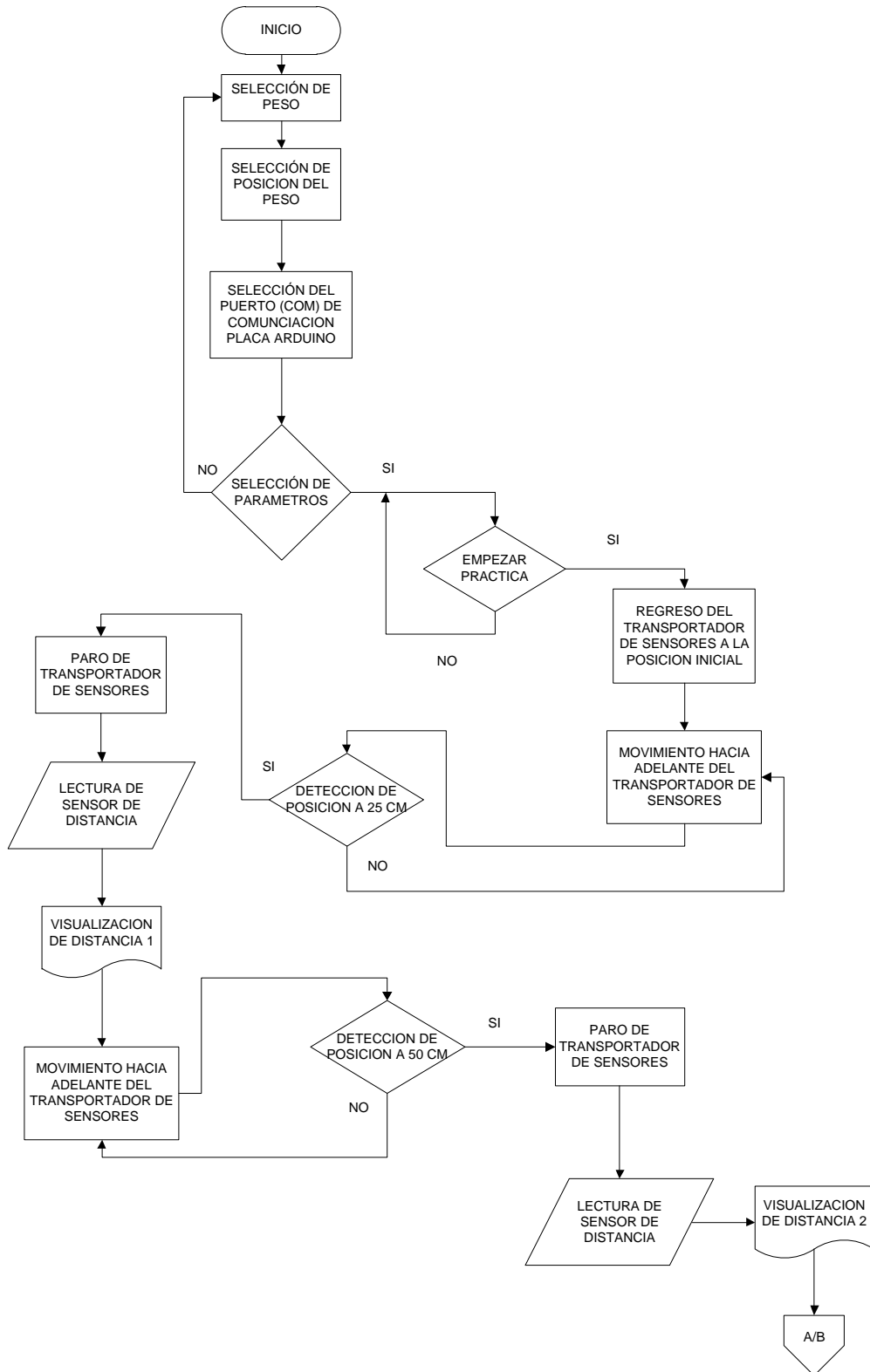
**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay



- **Práctica 2 (Viga en voladizo)**

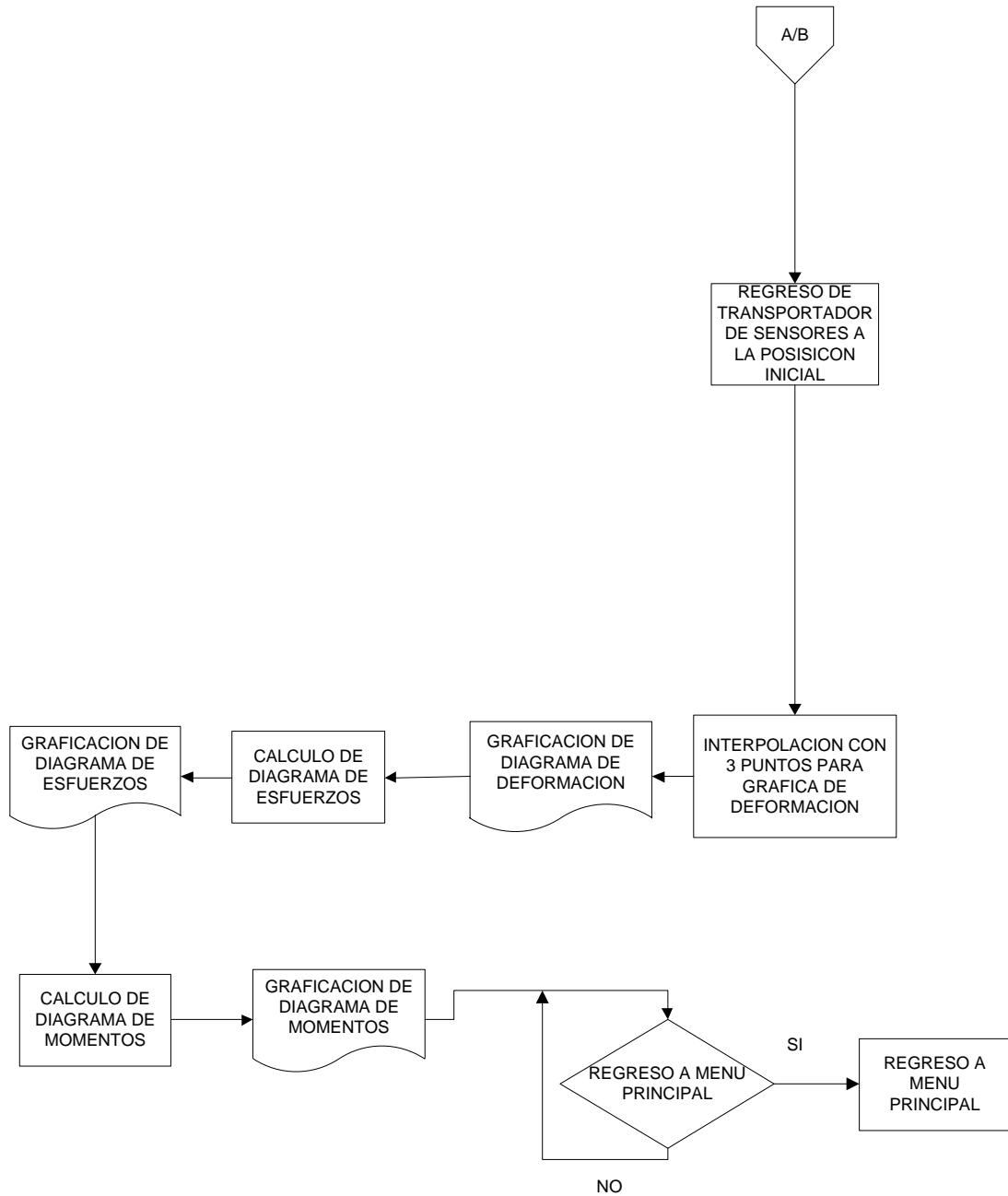
Diagrama de bloques de la práctica 2. Ver figura 3.35 y 3.36

**Figura 3.35** Diagrama de bloques de la práctica 2, parte 1



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

**Figura 3.36** Diagrama de bloques de la práctica 2, parte 2



**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

## CAPÍTULO 4

### COSTOS

#### 4.1 ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se presentará los costos que conllevan el diseño, la construcción y la automatización de la máquina para ensayo de deflexión de vigas.

##### 4.1.1 COSTOS DIRECTOS

Son los que se identifican plenamente con la actividad en áreas específicas y se pueden relacionar, independientemente del volumen de actividad, a un producto o departamento determinado

- **Costos de materia prima**

La materia prima es todo aquel elemento que se transforma e incorpora en un producto final. Ver tabla 4.1

Tabla 4. 1 Costos de materia prima

Ítem	Descripción	Cant.	Dimensiones	Material	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
1	Tubo cuadrado	1m	4 cm	A-36	7,25	7,25
2	Eje motor	1	Ø25,4 x100 mm	AISI 1018	5,00	5,00
3	Ángulo transportador	1 m	1 plg x 1/8 plg	A-36	4,60	4,60
4	Platina base celda de carga	2	80 x 80 x 3 mm	A-36	4,00	8,00
5	Ángulo guías celda de carga	1 m	20 x 3 mm	A-36	4,20	4,20
6	Varilla cuadrada	1m	8 mm	A-36	6,40	6,40
7	Eje pesa 5 kg	1	Ø 150 x 50 mm	A-36	17,50	17,50
8	Eje pesa 2 kg	1	Ø 150 x 30 mm	A-36	7,00	7,00
9	Eje pesa 1 kg	1	Ø 100 x 30 mm	A-36	3,50	3,50
10	Viga de Acero	1	110cm x 2,5cm x 1/4 plg	A-36	5,50	5,50
11	Viga de Cobre	1	110cm x 2,5cm x 3/8plg	Cobre	14,62	14,62
12	Viga de Aluminio	1	110cm x 2,5cm x 5	Al	3,50	3,50
<b>TOTAL (USD)</b>						<b>87,07</b>

Elaborado por: Alejandro Santamaría & Juan Tamay

- **Costos de elementos normalizados**

Este costo se refiere a elementos que son seleccionados mediante catálogos o comprados en un almacén. Ver tabla 4.2

**Tabla 4. 2** Costos de elementos normalizados

Ítem	Descripción	Cant	Características	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
1	DAQ Arduino	1	Uno R3	135,00	135,00
2	Celda de carga	2	0-10 Kg	70,00	140,00
3	Sensor infrarrojo	2	10mm – 80mm	42,00	84,00
4	Motor DC	1	1,2 N.m / 20rpm	75,00	75,00
5	Cadena de rodillo	3	p: ½ plg	5,80	17,40
6	Gabinete metálico	1	210x230x80 mm	22,37	22,37
7	Tapón cuadrado	8	Caucho 55 x 25	1,25	10,00
8	Perno Cab. Hexagonal	6	M 14 x 20	1,50	9,00
9	Perno Cab. Hexagonal	2	M 14 x 15	1,40	2,80
10	Tuerca hexagonal	6	M 14	0,40	2,40
11	Piñón conductor	1	De=54mm Z=12	22,00	22,00
12	Piñón conducido	1	De=66mm Z=15	24,00	24,00
13	Varilla roscada	1	Ø 6 mm	1,80	1,80
14	Canaleta	2	Adhesiva 14 mm	2,68	5,36
15	Manguera anillada	2	Ø 16 mm	1,49	2,98
16	Espiral para cable	1	Pequeño	3,99	3,99
17	Tomacorriente	1	Dos tomas	2,26	2,26
18	Interruptor	1	Simple	0,75	0,75
19	Cable	2	#24	0,90	1,80
20	Electrodo	1 kg	E6011	3,95	3,95
<b>TOTAL (USD)</b>					<b>566,86</b>

Elaborado por: Alejandro Santamaría & Juan Tamay

- **Tiempo de utilización de máquinas**

Son costos producidos por concepto de utilización de maquinaria y equipos como torno, fresadora, soldadora, plasma, dobladora, taladro etc. Ver tabla 4.3

**Tabla 4. 3** Tiempos de utilización de máquinas

Ítem	Descripción	Cant.	Torno [h]	Amoladora [h]	Taladro [h]	Soldadora [h]
1	Tubo rectangular	2	0	1	1	1
2	Eje motor	1	2	0	0	0
3	Estructura principal	1	0	1	1	1
4	Transportador	1	0	1	1	1
5	Base celda de carga	2	0	1	1	2
6	Sujeción del peso	1	0	1	1	1

Elaborado por: Alejandro Santamaría & Juan Tamay

- **Costos de maquinado**

Este costo se refiere al valor de mano de obra directa empleada en las máquinas herramientas, para la fabricación de la máquina. Ver tabla 4.4

**Tabla 4. 4** Costos de maquinado

Ítem	Descripción	Costo por hora máquina (USD)	Tiempo utilizado [h]	Costo Total (USD)
1	Torno	10	2	20
2	Fresadora	12	0	0
3	Taladro	5	5	25
4	Amoladora	4	5	20
5	Suelda SMAW	5	6	30
<b>TOTAL COSTO MÁQUINA</b>				<b>95</b>

Elaborado por: Alejandro Santamaría & Juan Tamay

- **Costo de mano de obra**

La mano de obra es utilizada en cada uno de los procesos descritos en la Tabla 4.5 y su costo se calcula en función del tiempo empleado para terminar cada tipo de trabajo. Ver tabla 4.5

**Tabla 4. 5** Costos de mano de obra

Ítem	Descripción	Costo por hora (USD)	Tiempo utilizado [h]	Costo Total (USD)
1	Torno	4	2	8
2	Fresadora	5	0	0
3	Taladro	2	5	10
4	Amoladora	2	5	10
5	Suelda SMAW	3	6	18
<b>TOTAL COSTO MANO DE OBRA</b>				<b>46</b>

Elaborado por: Alejandro Santamaría & Juan Tamay

- **Costo de montaje**

Es la mano de obra ocupada para el ensamble de las partes y piezas que conforman la máquina. Los mismos que se encargan de la puesta a punto y el alineamiento y calibración de los diferentes elementos. Ver tabla 4.6

**Tabla 4. 6** Costos de montaje

Cargo	Especialidad	Cant	Tiempo [h]	Costo por hora (USD)	Costo total (USD)
Técnico	Mecánico	1	40	5	200
Técnico	Electrónico	1	60	5	300
Técnico	Eléctrico	1	20	5	100
<b>TOTAL</b>					<b>600</b>

Elaborado por: Alejandro Santamaría & Juan Tamay

- **Costo directo total**

Es la suma de los diferentes costos parciales de costo directo. Ver tabla 4.7

**Tabla 4. 7** Costo directo total

Costos	Valor (USD)
Materia Prima	87,07
Elementos normalizados	566,86
Maquinado	95,00
Mano de obra	46,00
Montaje	600,00
<b>TOTAL</b>	<b>1394,93</b>

Elaborado por: Alejandro Santamaría & Juan Tamay

#### 4.1.2 COSTOS INDIRECTOS

Son los que no se identifican plenamente con la actividad productiva y no se vinculan o imputan a ninguna unidad de costeo en particular, sino sólo parcialmente mediante su distribución entre los que han utilizado del mismo.

- **Costos de materiales indirectos**

Son aquellos costos de materiales suplementarios o insumos en la construcción de los diferentes componentes de la máquina. Ver tabla 4.8

**Tabla 4. 8** Costos de materiales indirectos

Ítem	Descripción	Cant.	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
1	Disco de corte	2	2,20	4,40
2	Lijas	5	0,60	3,00
3	Guaipes	5	0,30	1,50
4	Pintura	1gl	5,60	5,60
<b>TOTAL</b>				<b>14,50</b>

Elaborado por: Alejandro Santamaría & Juan Tamay

- **Costos de ingeniería**

Son aquellos costos que se derivan del tiempo y el conocimiento de ingeniería que se han invertido en el diseño de la máquina. Ver tabla 4.9

**Tabla 4. 9** Costos de ingeniería

Aplicación	Operación	Tiempo [h]	Costo hora (USD)	Costo total (USD)
Rediseño y automatización de la máquina de ensayos para deflexión de vigas	Diseño y selección de elementos mecánicos	80	10	800
	Elaboración de planos	60	10	600
	Supervisión y control en la construcción	60	10	600
<b>TOTAL</b>		<b>200</b>		<b>2000</b>

Elaborado por: Alejandro Santamaría & Juan Tamay

- **Costos totales indirectos**

Es la suma de los costos de materiales indirectos y costos de ingeniería. Ver tabla 4.10

**Tabla 4. 10** Costos totales indirectos

<b>Costos</b>	<b>Valor (USD)</b>
Materiales indirectos	14,50
Ingeniería	2000,00
<b>TOTAL</b>	<b>2014,50</b>

**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay

## **4.2 RESUMEN DE COSTOS**

En el resumen de costos se presenta el costo total del proyecto. Ver tabla 4.11

**Tabla 4. 11** Resumen de costos

<b>Componente de costo</b>	<b>Valor (USD)</b>
Costo total directo	1394,93
Costo total indirecto	2014,50
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>3409,43</b>

**Elaborado por:** Alejandro Santamaría & Juan Tamay



## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

- Luego de realizar la respectiva evaluación del equipo, se obtuvo como resultado que el marco metálico al igual que varias bases del equipo se encontraban sobredimensionadas, lo cual permitió reutilizarlas en el nuevo diseño.
- Luego de analizar las distintas opciones que se tenían para el rediseño y automatización del equipo de deflexión de vigas se optó por elegir una tarjeta ARDUINO para la adquisición de datos, sensores infrarrojos para medir las distancias y celdas de carga para conocer las reacciones.
- El equipo cuenta con un software elaborado en LabView, que de manera didáctica nos muestra los resultados obtenidos y realiza las gráficas de corte y momento en tiempo real.
- La práctica con la probeta de aluminio no se pudo realizar debido a que las celdas de carga tienen mayor exactitud con cargas mayores a 2 Kg.

### **RECOMENDACIONES**

- Antes de empezar la práctica se debe verificar que el transportador se encuentre en su posición inicial.
- Comprobar que las vigas se encuentren ubicadas correctamente sobre las guías para evitar falsas lecturas.
- Asegurar que los sensores infrarrojos no tengan polvo o impurezas que afecten su lectura.
- Comprobar que el equipo se encuentre nivelado.
- Para obtener mejores resultados en las prácticas con las probetas de acero y cobre se recomienda utilizar pesas de 5 Kg a 7 Kg.

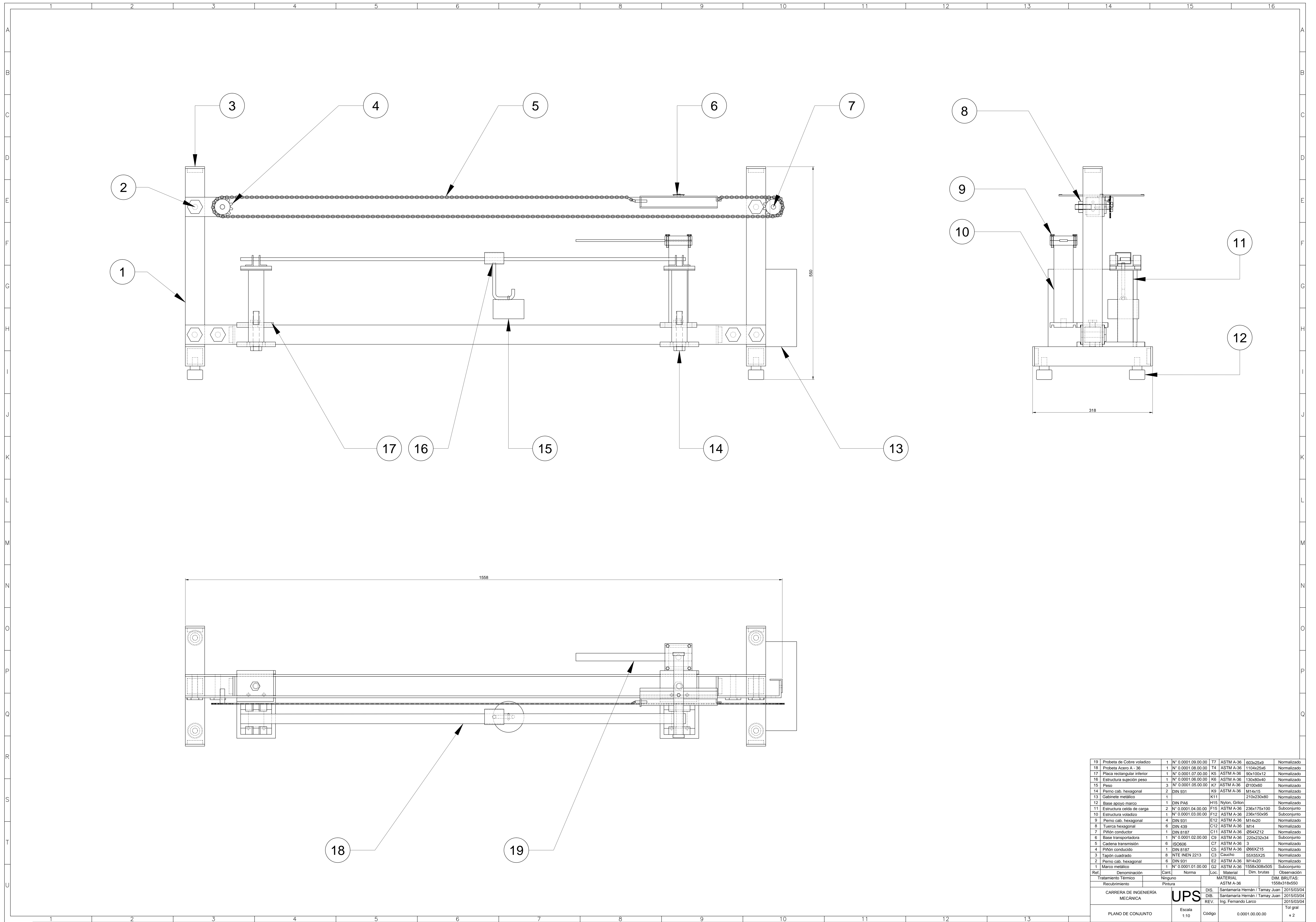
## LISTA DE REFERENCIAS

- Arduino. (2014). *Arduino UNO Rev3*. Recuperado el 3 de octubre del 2014 de: <http://store.arduino.cc/product/A000066>
- Avallone J. & Baumesteis I. (2012). *Manual del Ingeniero Mecánico* (9no TOMO). México. MC GRAW HILL.
- Cañaverall G. (2014). *Celdas de Carga*. Recuperado el 5 de noviembre del 2014 de: <http://www.gerardocanaverall.com/productos/celdas-de-ca>
- Cedeño E. (2011). *Transmisión por cadenas*. Recuperado el 8 de octubre del 2014 de: <http://esteban-cedeno.blogspot.com/2011/07/transmision-por-cadenas.html>
- DIPAC. (2014). *Tubo estructural negro*. Recuperado el 2 de diciembre del 2014 de: [http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca\\_codigo=1101#](http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=1101#)
- Hibbeler R.C. (2006). *Mecánica de materiales*. México. Pearson Educación.
- Kobelco W. (2014). *Fundamentos de soldadura*. Recuperado el 5 de diciembre del 2014 de: [http://www.kobelco-welding.jp/espanol/education-center/abc/ABC\\_2004-02.html](http://www.kobelco-welding.jp/espanol/education-center/abc/ABC_2004-02.html)
- Larburu N. (2002). *Terminología de los engranajes*. Recuperado el 7 de octubre del 2014 de: [http://www.dirind.com/dim/monografia.php?cla\\_id=23](http://www.dirind.com/dim/monografia.php?cla_id=23)
- Loaiza L. (2011). *Galgas extensiométricas*. Recuperado el 5 de octubre del 2014 de: <http://es.slideshare.net/luisalfonsoloaiza/galgas?related=1>
- National Instruments. (2013). *Adquisición de datos*. Recuperado el 8 de Agosto del 2014 de: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- PCE Ibérica. (2014). *Balanza de resorte*. Recuperado el 5 de noviembre del 2014 de: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/balanzas/balanza-resorte-newton.htm>
- Posadas M. (2013). *Sensor infrarrojo*. Recuperado el 3 de noviembre del 2014 de: <http://www.mecatronikpozadaz.blogspot.com/>
- Posadas M. (2013). *Sensor ultrasónico*. Recuperado el 3 de noviembre del 2014 de: <http://www.mecatronikpozadaz.blogspot.com/>

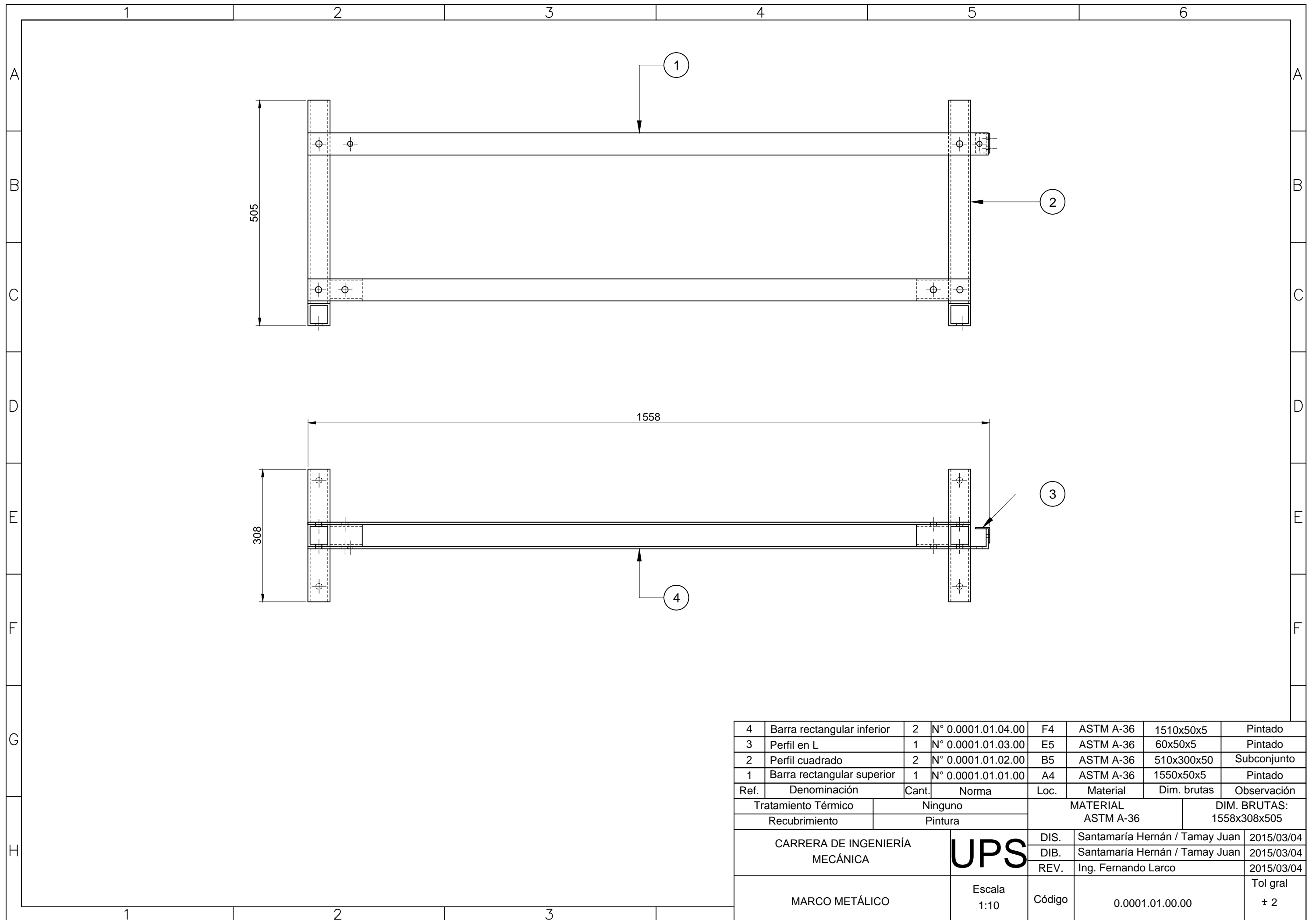
- Rocatek. (2014). *El PLC y sus partes*. Recuperado el 9 de octubre del 2014 de: [http://www.rocatek.com/forum\\_plc2.php](http://www.rocatek.com/forum_plc2.php)
- Saravia J. (2012). *Controlador lógico programable*. Recuperado el 20 de Agosto del 2013 de: <http://www.slideshare.net/dorissaravia/controlador-lgico-programable>
- Sensing, S. (2013). *Sensores de medida*. Recuperado el 6 de octubre del 2014 de: [http://www.sensores-de-medida.es/sensing\\_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES\\_35/Sensores-de-distancia\\_36/Sensores-de-distancia-por-cable\\_37/](http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-distancia_36/Sensores-de-distancia-por-cable_37/). Recuperado el 25 de 11 de 2013
- Sharp. (2014). *Sensor infrarrojo*. Recuperado el 2 de octubre del 2014 de: [http://5hertz.com/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=970&zenid=hec8rfo7bu203uihf8cf12g716](http://5hertz.com/index.php?main_page=product_info&products_id=970&zenid=hec8rfo7bu203uihf8cf12g716)
- Texas Instruments. (1997). *Adquisición de datos*. Recuperado el 2 de noviembre del 2014 de: [http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n\\_de\\_datos](http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos)
- Timoshenko, G. (2002). *Resistencia de Materiales*. España. Thomson Paraninfo.
- Villalba H. (2008). *Mecanismos de transmisión*. Recuperado el 9 de agosto del 2014 de: <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/04/mecanismos-transmision.pdf>
- Weman K. (2003). *Welding processes handbook*. Recuperado el 8 de agosto del 2014 de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura>

# ANEXOS

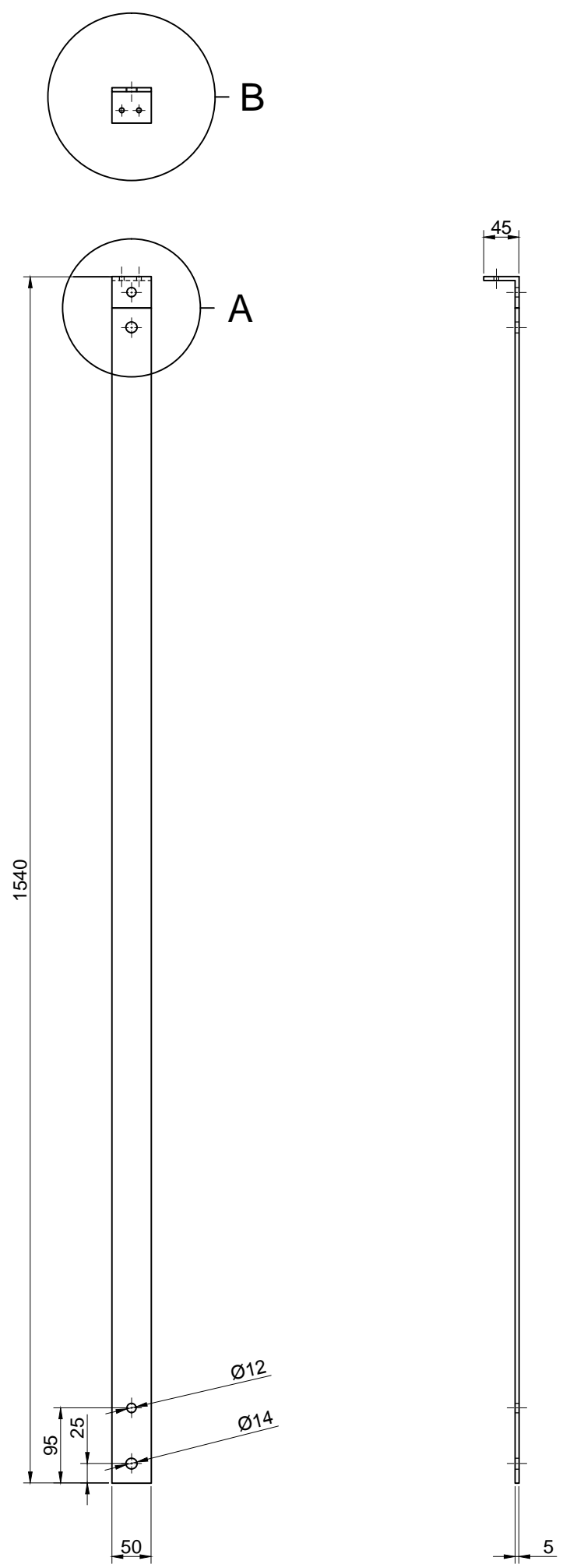
**ANEXO A**  
**PLANOS DEL EQUIPO DEFLEXIÓN DE VIGAS**



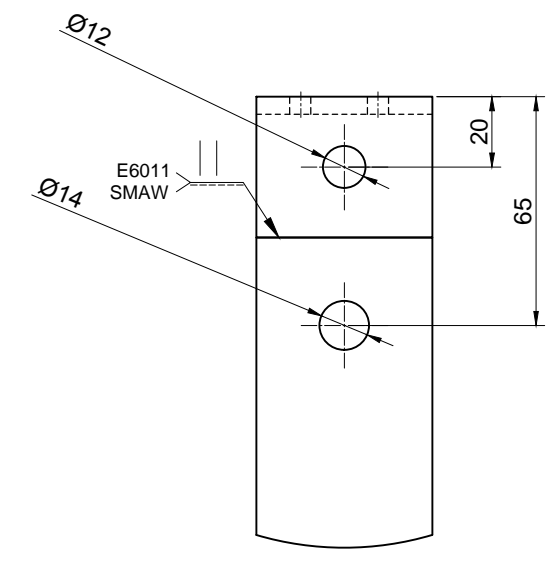
Ref.	Denominación	Cant.	Norma	Loc.	Material	Dim. brutas	Observación
19	Probeta de Cobre voladizo	1	N° 0.0001.09.00.00	T7	ASTM A-36	603x25x9	Normalizado
18	Probeta Acero A - 36	1	N° 0.0001.08.00.00	T4	ASTM A-36	1104x25x6	Normalizado
17	Placa rectangular inferior	1	N° 0.0001.07.00.00	K5	ASTM A-36	90x100x12	Normalizado
16	Estructura sujeción peso	1	N° 0.0001.06.00.00	K8	ASTM A-36	130x80x40	Normalizado
15	Piso	3	N° 0.0001.05.00.00	C7	ASTM A-36	Ø110x90	Normalizado
14	Perno cab. hexagonal	2	DIN 931	K9	ASTM A-36	M14x15	Normalizado
13	Gabinete metálico	1		K11		210x200x80	Normalizado
12	Base apoyo marco	1	DIN 946	P15	Nylon, Giron		Normalizado
11	Estructura celosa de carga	2	N° 0.0001.04.00.00	F15	ASTM A-36	236x175x100	Subconjunto
10	Estructura voladizo	1	N° 0.0001.03.00.00	F12	ASTM A-36	236x150x95	Subconjunto
9	Perno cab. hexagonal	4	DIN 931	E12	ASTM A-36	M14x20	Normalizado
8	Tuerca hexagonal	6	DIN 439	C12	ASTM A-36	M14	Normalizado
7	Piñón conductor	1	DIN 6187	C11	ASTM A-36	Ø54x212	Normalizado
6	Base transportadora	1	N° 0.0001.02.00.00	C9	ASTM A-36	220x232x34	Subconjunto
5	Cadena transmisión	6	ISO606	C7	ASTM A-36	3	Normalizado
4	Piñón conducido	1	DIN 6187	C5	ASTM A-36	Ø60x215	Normalizado
3	Tijado cuadrado	6	INTE INEN 2213	C3	Cascho	55x55x25	Normalizado
2	Perno cab. hexagonal	6	DIN 931	E2	ASTM A-36	M14x20	Normalizado
1	Marco metálico	1	N° 0.0001.01.00.00	G2	ASTM A-36	1558x308x505	Subconjunto
Tratamiento Térmico		Ninguno		MATERIAL		DIM. BRUTAS	
Recubrimiento		Pintura		ASTM A-36		1558x318x550	
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA				<b>UPS</b> DIS. Santamaría Hemán / Tamay Juan DIB. Santamaría Hemán / Tamay Juan REV. Ing. Fernando Larco		2015/03/04 2015/03/04 2015/03/04	
PLANO DE CONJUNTO				Escala 1:10		Código 0.0001.00.00.00	
						Tol g/m + 2	



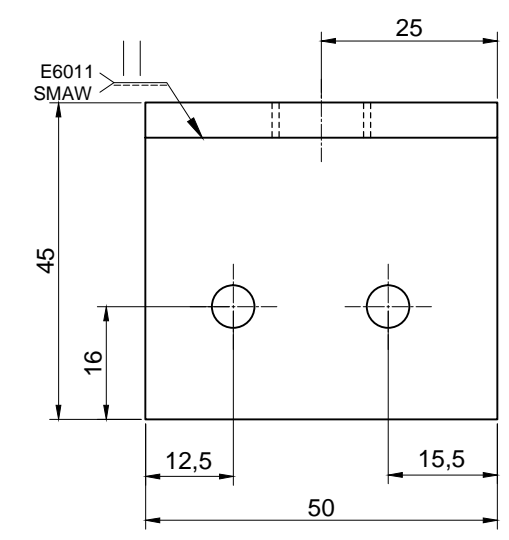
4	Barra rectangular inferior	2	N° 0.0001.01.04.00	F4	ASTM A-36	1510x50x5	Pintado
3	Perfil en L	1	N° 0.0001.01.03.00	E5	ASTM A-36	60x50x5	Pintado
2	Perfil cuadrado	2	N° 0.0001.01.02.00	B5	ASTM A-36	510x300x50	Subconjunto
1	Barra rectangular superior	1	N° 0.0001.01.01.00	A4	ASTM A-36	1550x50x5	Pintado
Ref.	Denominación	Cant.	Norma	Loc.	Material	Dim. brutas	Observación
Tratamiento Térmico		Ninguno		MATERIAL		DIM. BRUTAS:	
Recubrimiento		Pintura		ASTM A-36		1558x308x505	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				DIS.		Santamaría Hernán / Tamay Juan	
				DIB.		Santamaría Hernán / Tamay Juan	
				REV.		Ing. Fernando Larco	
MARCO METÁLICO				Escala 1:10		Tol gral ± 2	
				Código		0.0001.01.00.00	



DETALLE A  
ESCALA 1:2



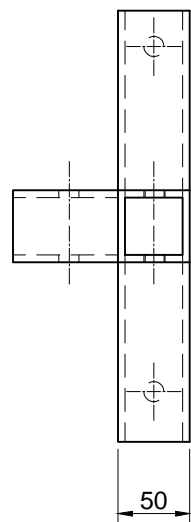
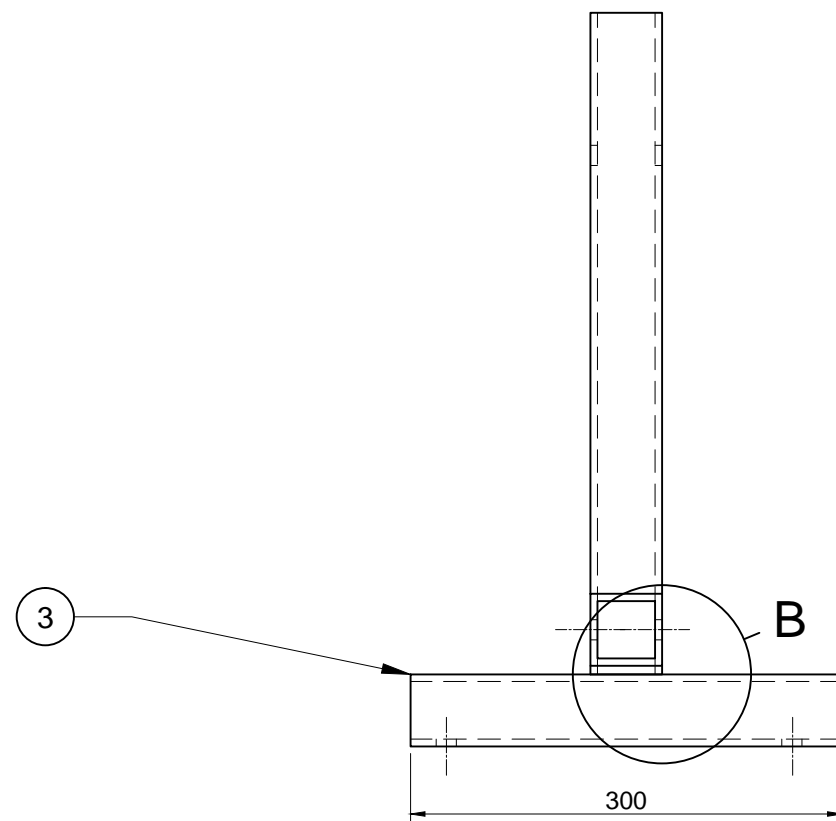
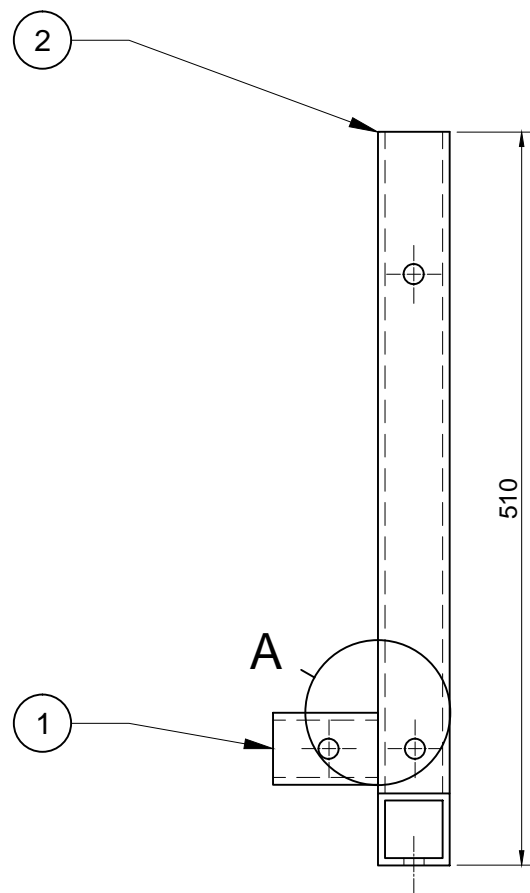
DETALLE B  
ESCALA 1:1



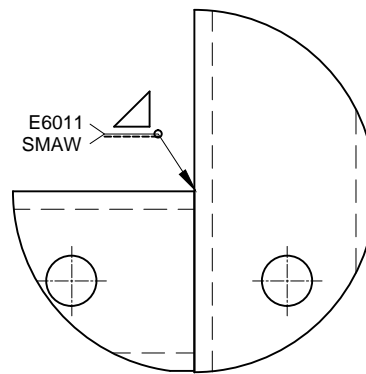
Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A-36		1550x50x5
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
BARRA RECTANGULAR SUPERIOR	Escala 1:10	Código	0.0001.01.01.00	Tol gral ± 2

**UPS**

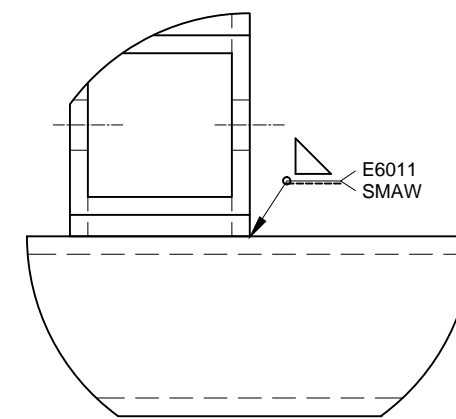




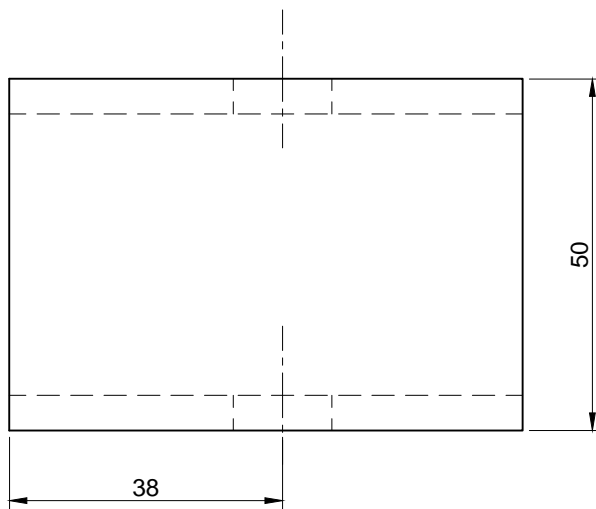
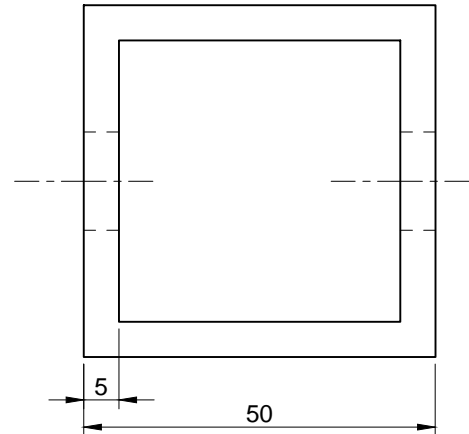
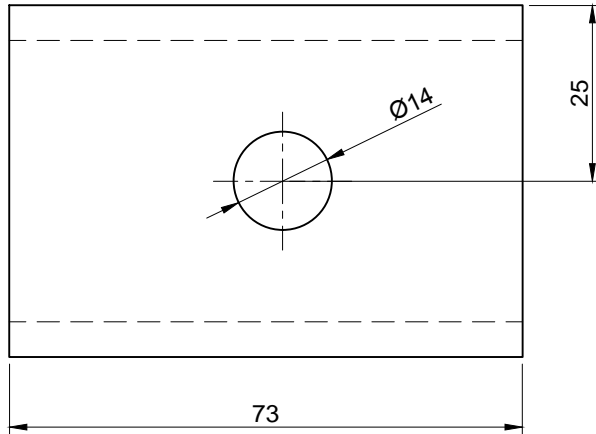
DETALLE A  
Escala 1:2



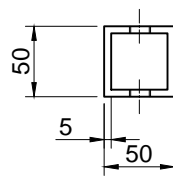
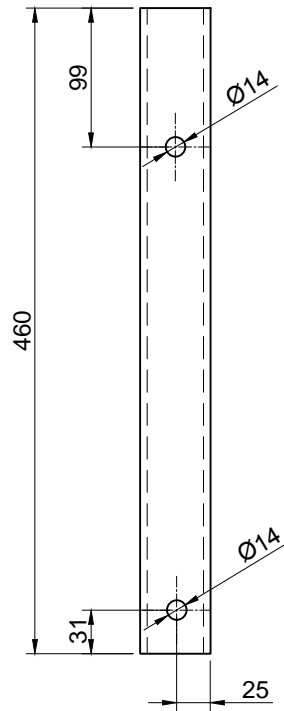
DETALLE B  
Escala 1:2



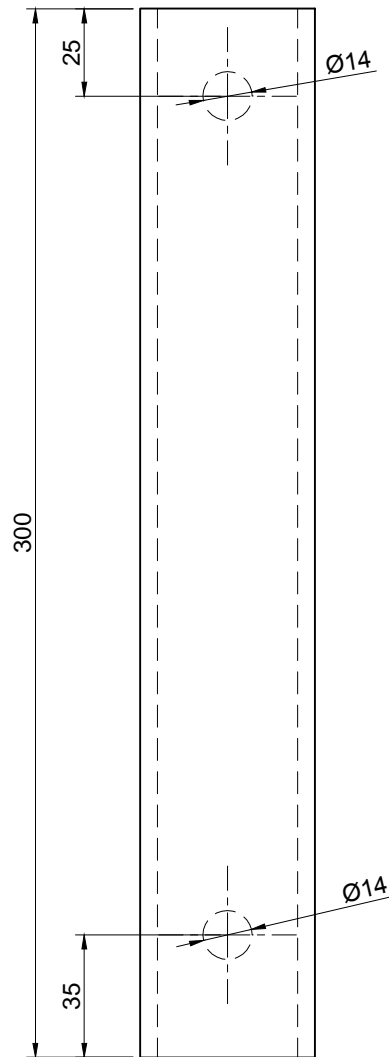
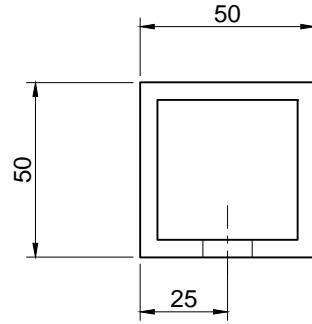
3	Base apoyo marco metálico	2	N° 0.0001.01.02.03	D3	ASTM A-36	310x50x50	Pintado
2	Parantes	2	N° 0.0001.01.02.02	A1	ASTM A-36	470x50x50	Pintado
1	Base sujeción platinas	2	N° 0.0001.01.02.01	D1	ASTM A-36	80x50x50	Pintado
Ref.	Denominación	Cant.	Norma	Loc.	Material	Dim. brutas	Observación
Tratamiento Térmico		Ninguno		MATERIAL		DIM. BRUTAS:	
Recubrimiento		Pintura		ASTM A-36		510x310x50	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
					DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
					REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
PERFIL CUADRADO			Escala 1:5	Código	0.0001.01.02.00		Tol gral ± 2



Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A36		80x50x50
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
BASE SUJECIÓN PLATINAS	Escala 1:1	Código	0.0001.01.02.01	Tol gral ± 2

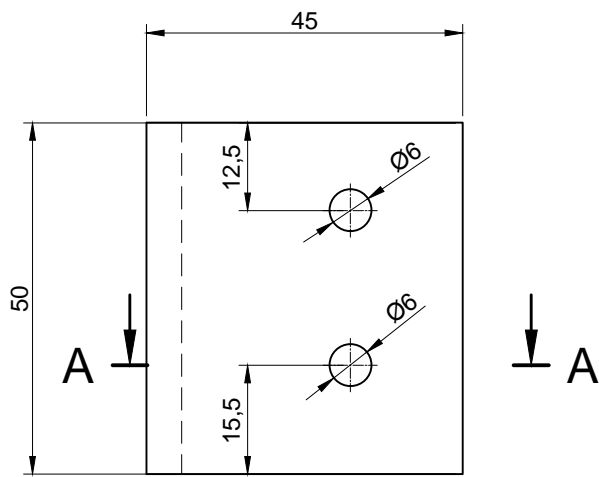


Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A36		470x50x50
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
PARANTES	Escala 1:5	Código	0.0001.01.02.02	Tol gral ± 2

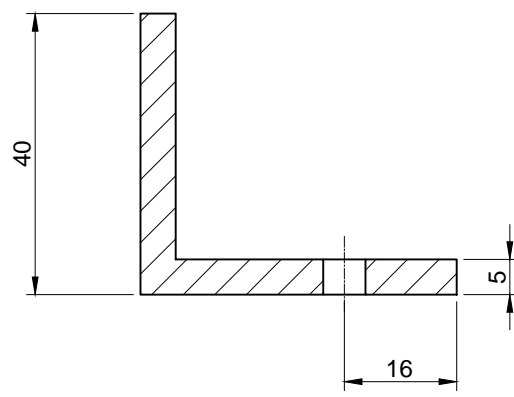


Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A36		310x50x50
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
BASE APOYO MARCO METÁLICO	Escala 1:2	Código	0.0001.01.02.03	Tol gral ± 2

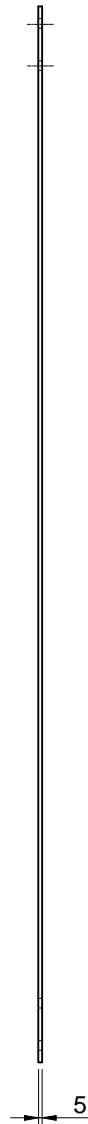
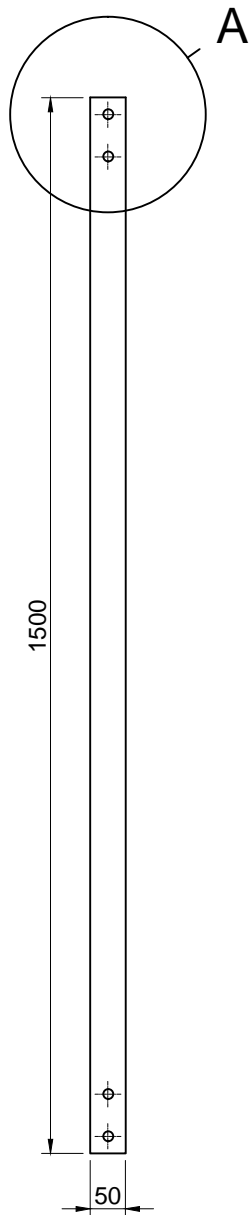
N8



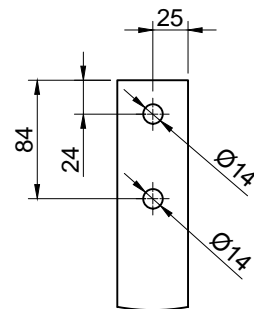
CORTE A-A



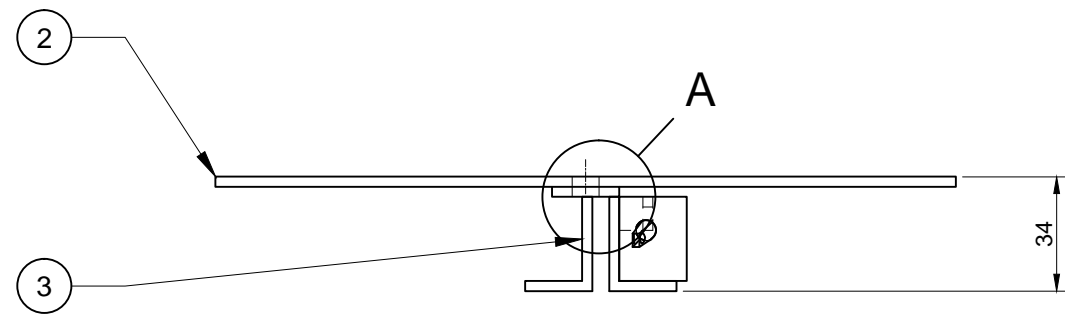
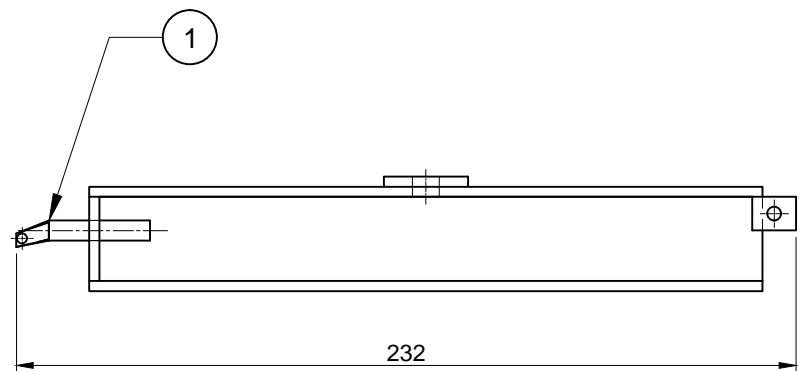
Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A36		60x50x5
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
PERFIL EN L	Escala 1:1	Código	0.0001.01.03.00	Tol gral ± 2



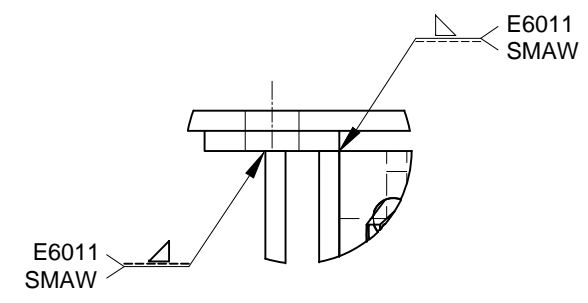
DETALLE A  
Escala 1:5



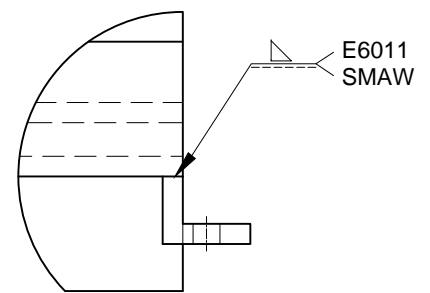
Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A36		1510x50x5
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
BARRA RECTANGULAR INFERIOR	Escala 1:10	Código	0.0001.01.04.00	Tol gral ± 2



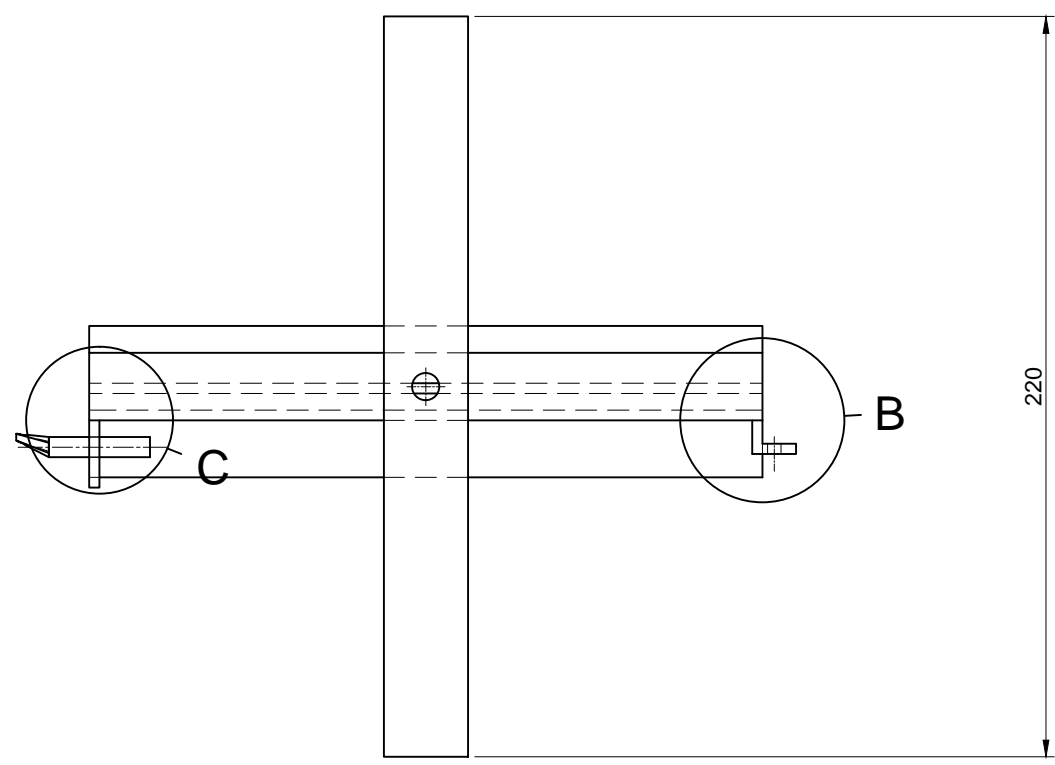
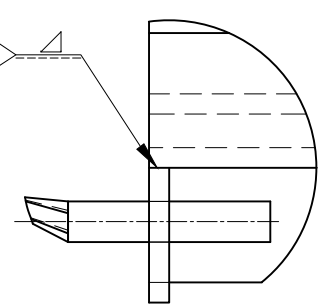
DETALLE A  
Escala 1:1



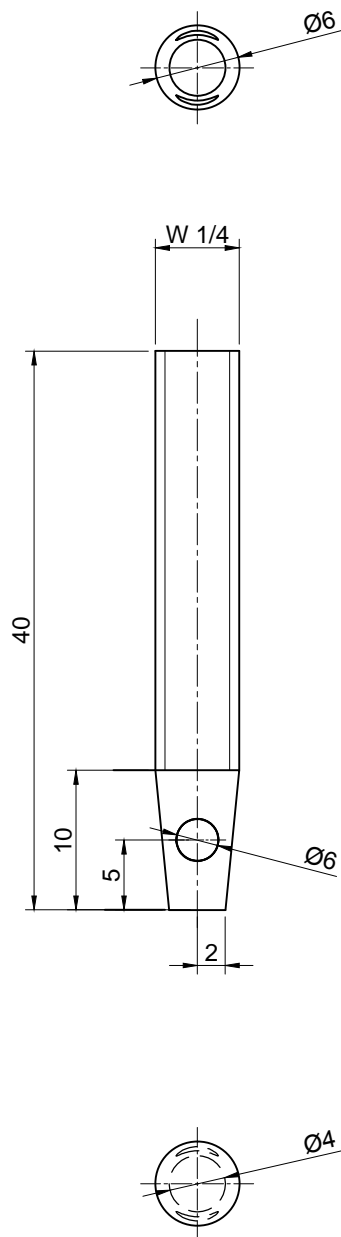
DETALLE B  
Escala 1:1



DETALLE C  
Escala 1:1



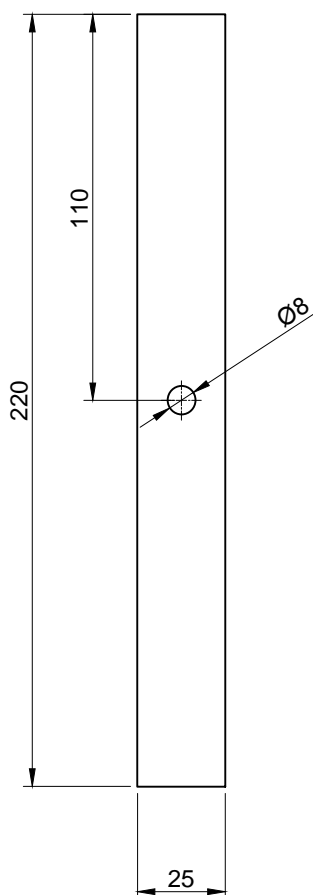
3	Riel	1	N° 0.0001.02.03.00	C4	ASTM A-36	200x48x31	Subconjunto	
2	Soporte sensores	1	N° 0.0001.02.02.00	A4	ASTM A-36	230x25x3	Pintado	
1	Pasador roscado circular	1	N° 0.0001.02.01.00	A1	ASTM A-36	Ø8x50	Pintado	
Ref.	Denominación	Cant.	Norma	Loc.	Material	Dim. brutas	Observación	
Tratamiento Térmico		Ninguno		MATERIAL		DIM. BRUTAS:		
Recubrimiento		Pintura		ASTM A-36		220x232x34		
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				UPS		DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
						DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
						REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
BASE TRANSPORTADORA		Escala 1:2		Código	0.0001.02.00.00		Tol gral ± 2	



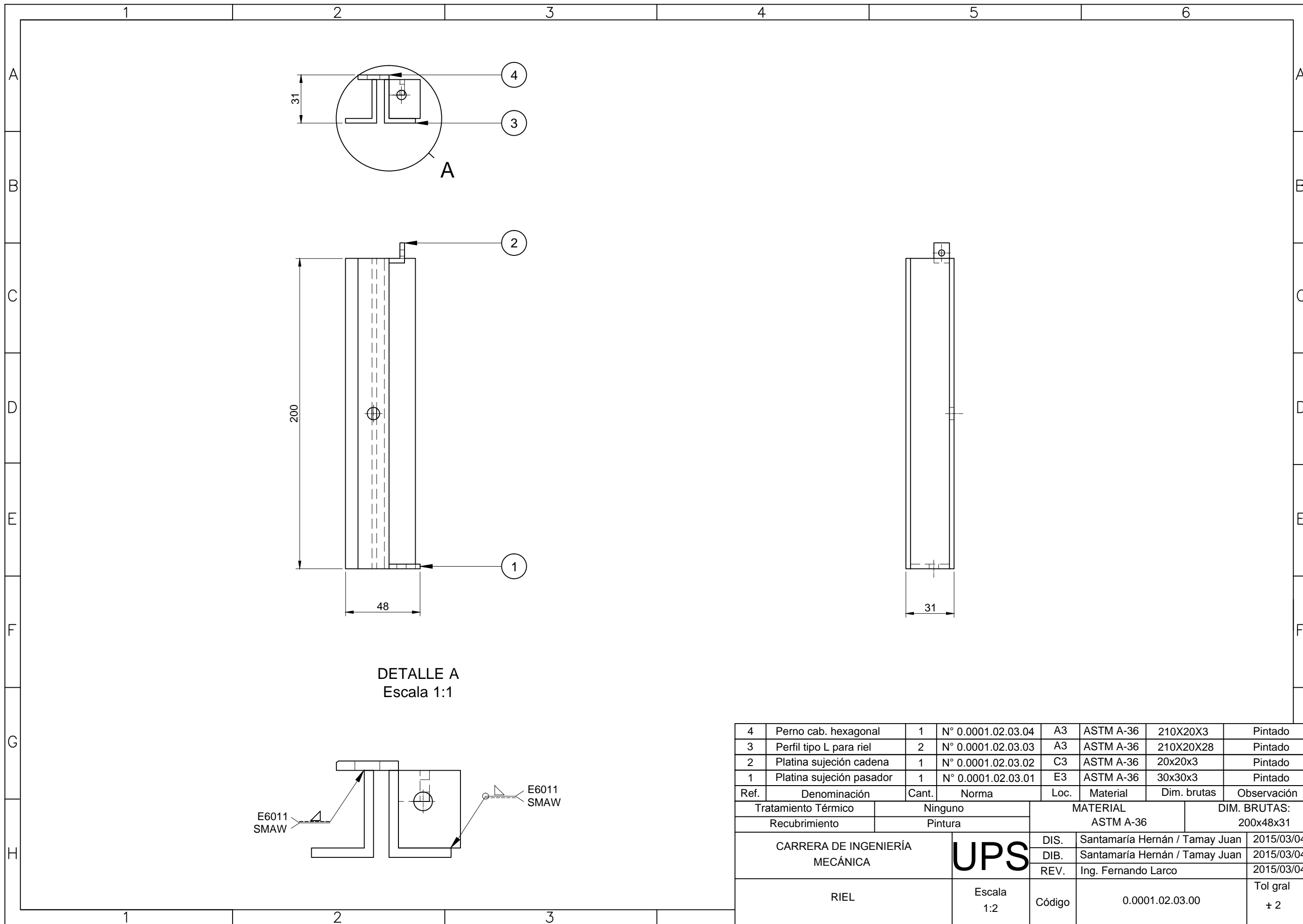
Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A36		Ø8x50
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
PASADOR ROSCADO CIRCULAR	Escala 1:1	Código	0.0001.02.01.00	Tol gral ± 2



N8



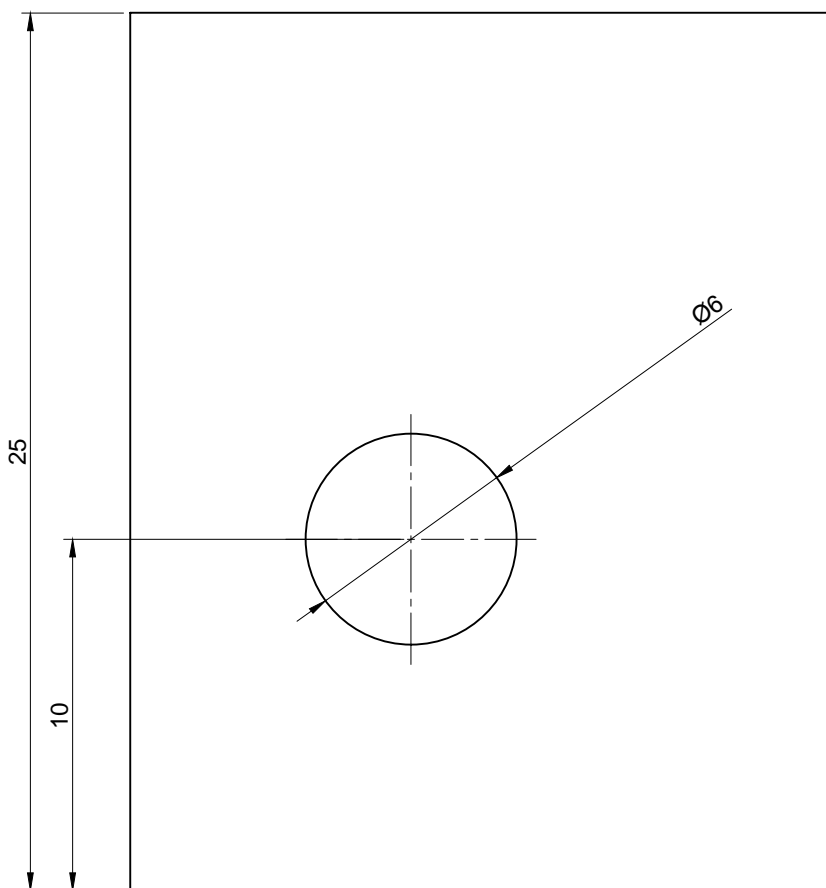
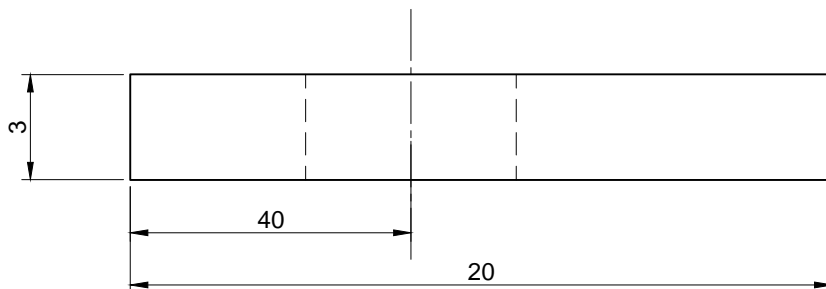
Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A-36		230x25x3
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
SOPORTE DE SENSORES	Escala 1:2	Código	0.0001.02.02.00	Tol gral ± 2



DETALLE A  
Escala 1:1

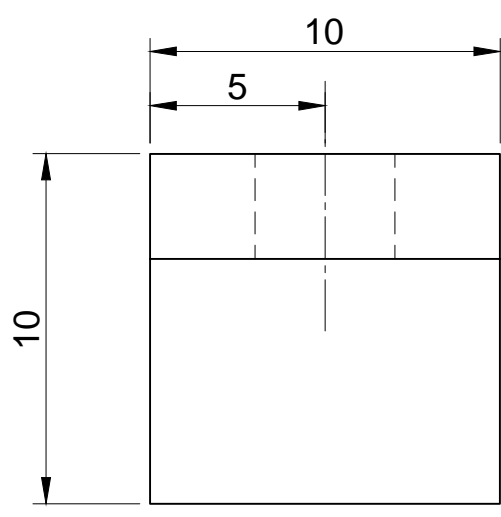
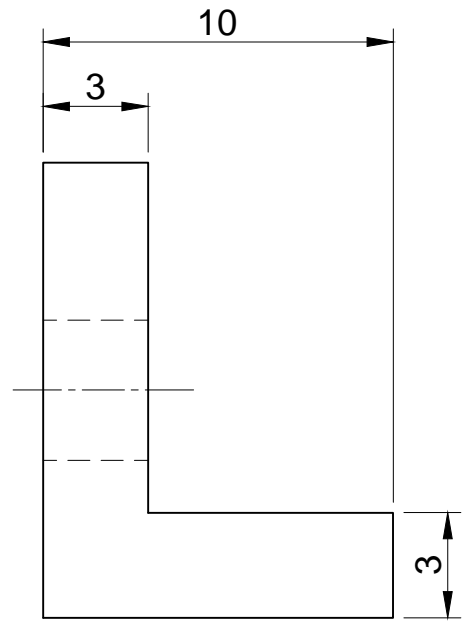
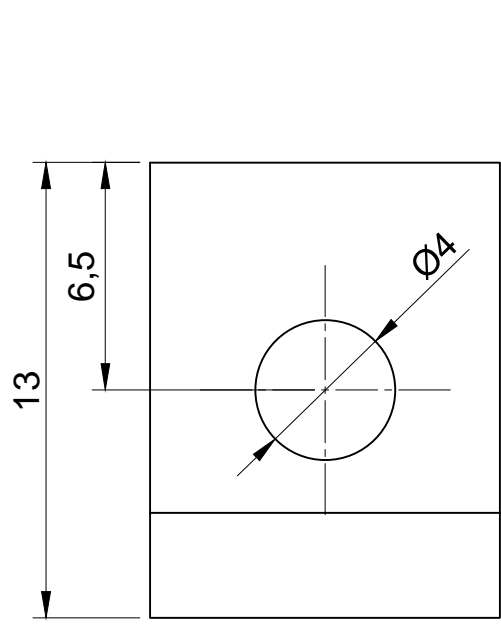
4	Perno cab. hexagonal	1	N° 0.0001.02.03.04	A3	ASTM A-36	210X20X3	Pintado
3	Perfil tipo L para riel	2	N° 0.0001.02.03.03	A3	ASTM A-36	210X20X28	Pintado
2	Platina sujeción cadena	1	N° 0.0001.02.03.02	C3	ASTM A-36	20x20x3	Pintado
1	Platina sujeción pasador	1	N° 0.0001.02.03.01	E3	ASTM A-36	30x30x3	Pintado
Ref.	Denominación	Cant.	Norma	Loc.	Material	Dim. brutas	Observación
Tratamiento Térmico			Ninguno		MATERIAL		DIM. BRUTAS: 200x48x31
Recubrimiento			Pintura		ASTM A-36		
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
					DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
					REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
RIEL			Escala 1:2	Código	0.0001.02.03.00		Tol gral + 2

N8



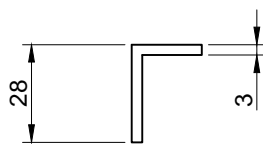
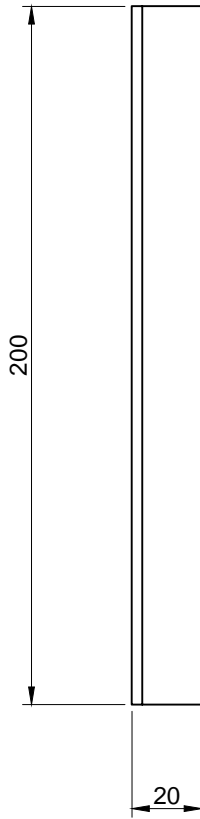
Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A36		30x30x3
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
PLATINA SUJECIÓN PASADOR	Escala 5:1	Código	0.0001.02.03.01	Tol gral + 2

N8



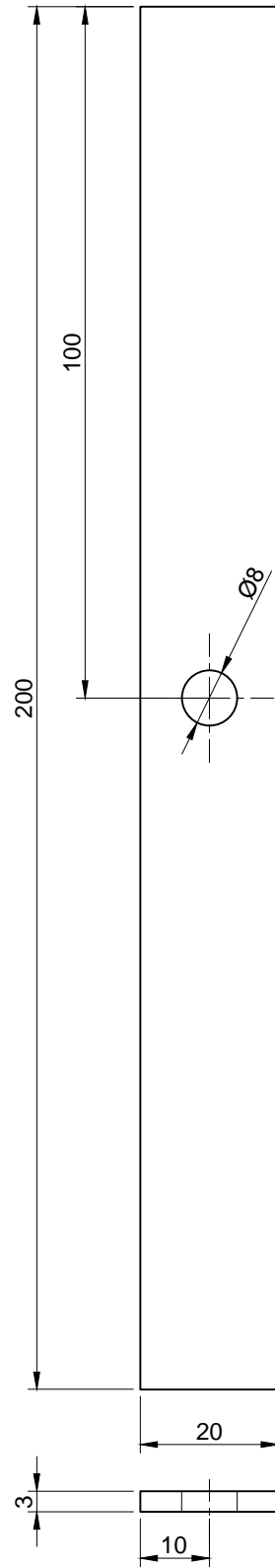
Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A36		20x20x3
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		<b>UPS</b>		DIS. Santamaría Hernán / Tamay Juan 2015/03/04
				DIB. Santamaría Hernán / Tamay Juan 2015/03/04
				REV. Ing. Fernando Larco 2015/03/04
PLATINA SUJECIÓN CADENA	Escala 5:1	Código	0.0001.02.03.02	Tol gral ± 2

N8

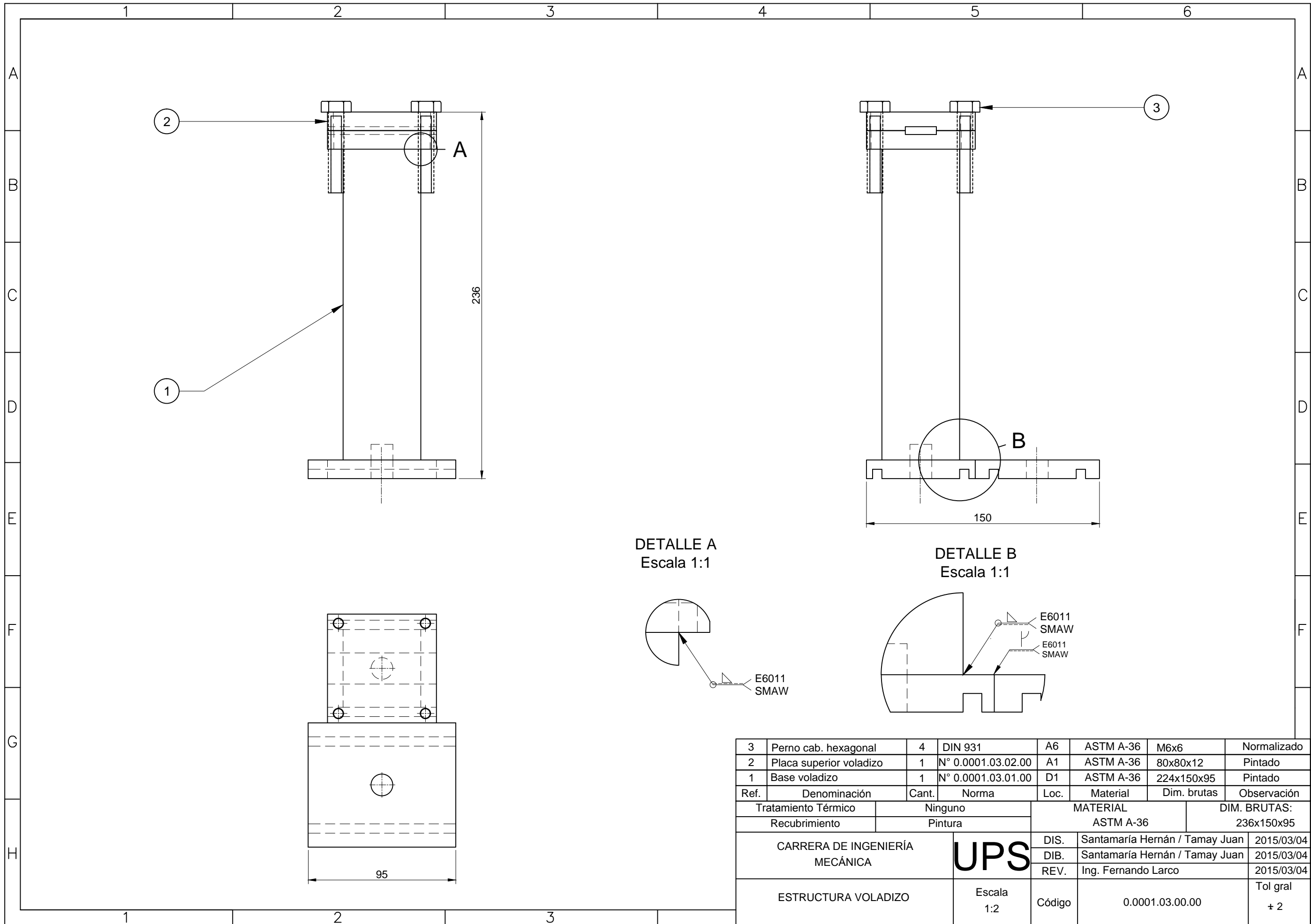


Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A36		210x20x28
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
PERFIL TIPO L PARA RIEL	Escala 1:2	Código	0.0001.02.03.03	Tol gral ± 2

N8

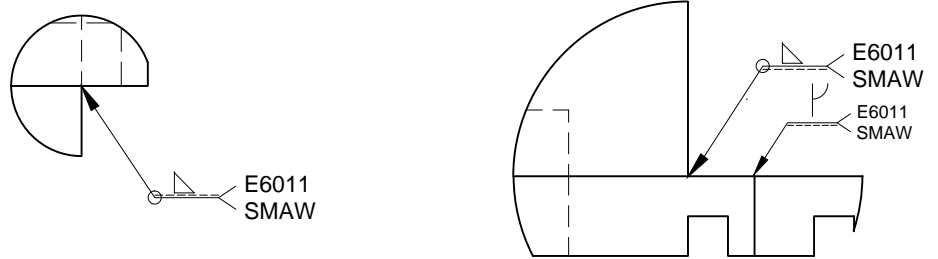


Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A36		200x20x3
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
PLATINA BASE PARA RIEL	Escala 1:2	Código	0.0001.02.03.04	Tol gral + 2

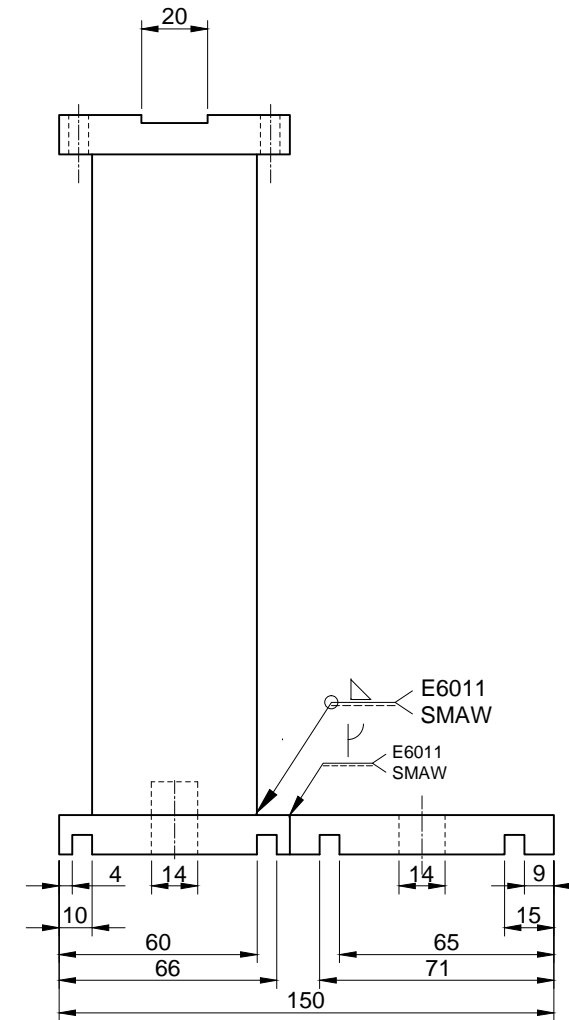
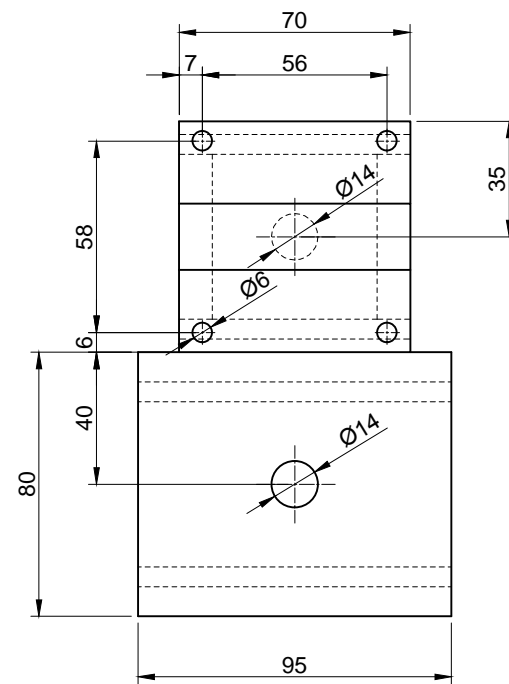
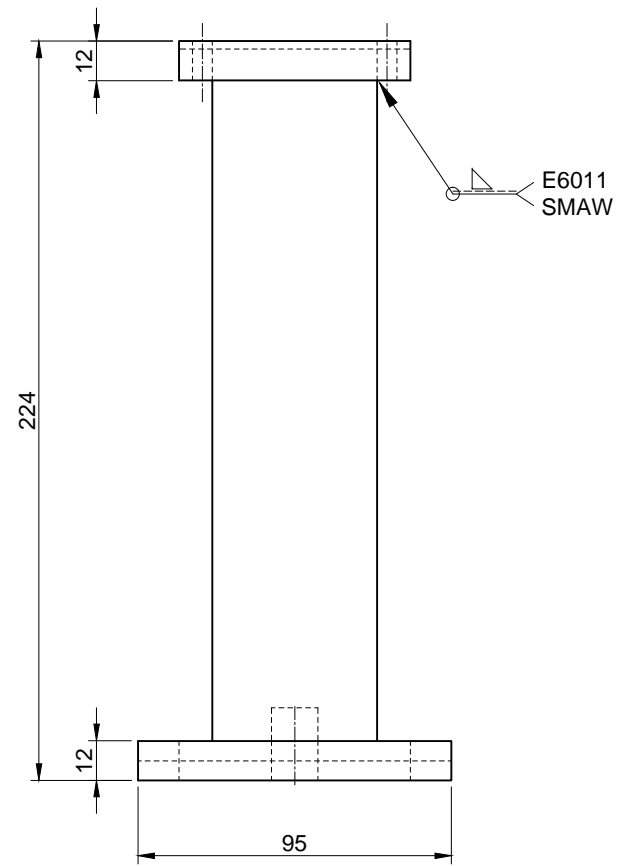


DETALLE A  
Escala 1:1

DETALLE B  
Escala 1:1



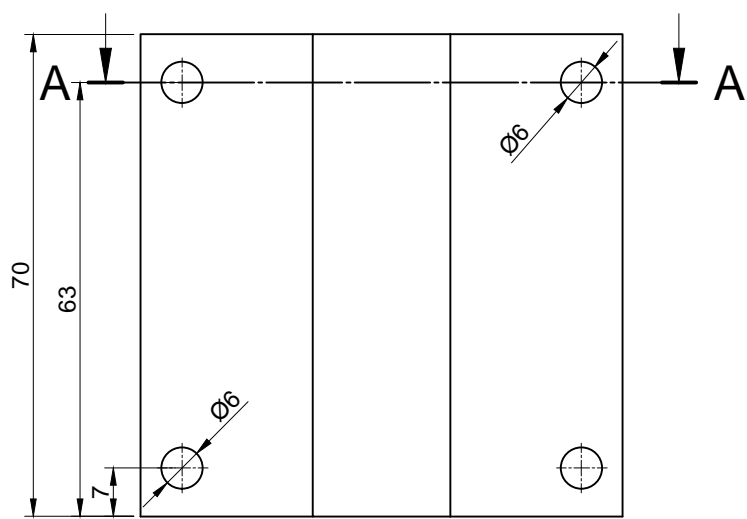
3	Perno cab. hexagonal	4	DIN 931	A6	ASTM A-36	M6x6	Normalizado	
2	Placa superior voladizo	1	N° 0.0001.03.02.00	A1	ASTM A-36	80x80x12	Pintado	
1	Base voladizo	1	N° 0.0001.03.01.00	D1	ASTM A-36	224x150x95	Pintado	
Ref.	Denominación	Cant.	Norma	Loc.	Material	Dim. brutas	Observación	
Tratamiento Térmico			Ninguno		MATERIAL		DIM. BRUTAS:	
Recubrimiento			Pintura		ASTM A-36		236x150x95	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				UPS		DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
						DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
						REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
ESTRUCTURA VOLADIZO			Escala 1:2	Código	0.0001.03.00.00		Tol gral + 2	



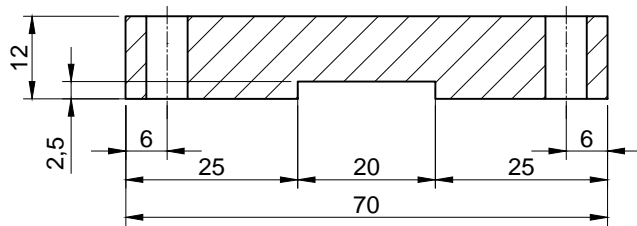
Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Ninguno	ASTM A-36		224x150x95
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
BASE VOLADIZO	Escala 1:2	Código	0.0001.03.01.00	Tol gral ± 2



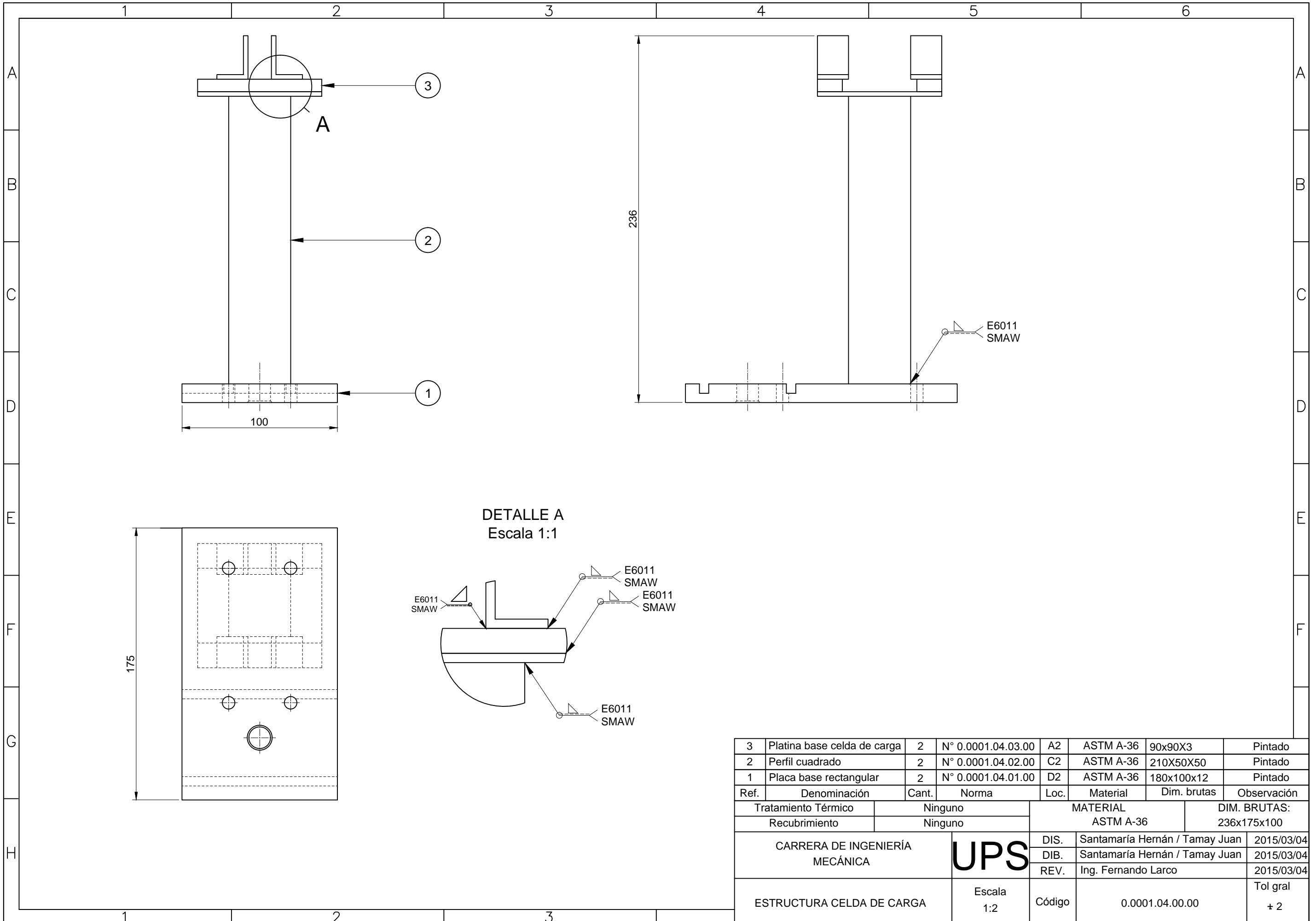
N8



CORTE A-A

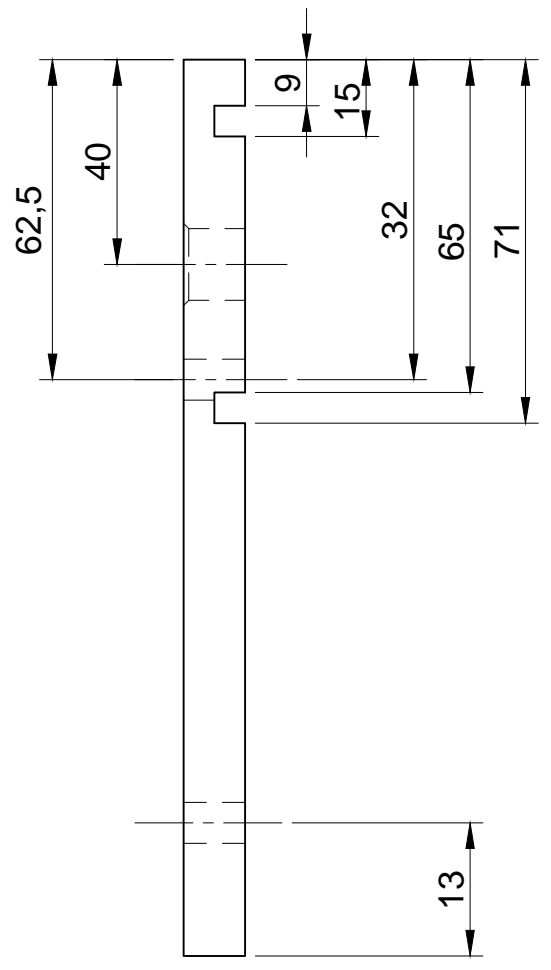
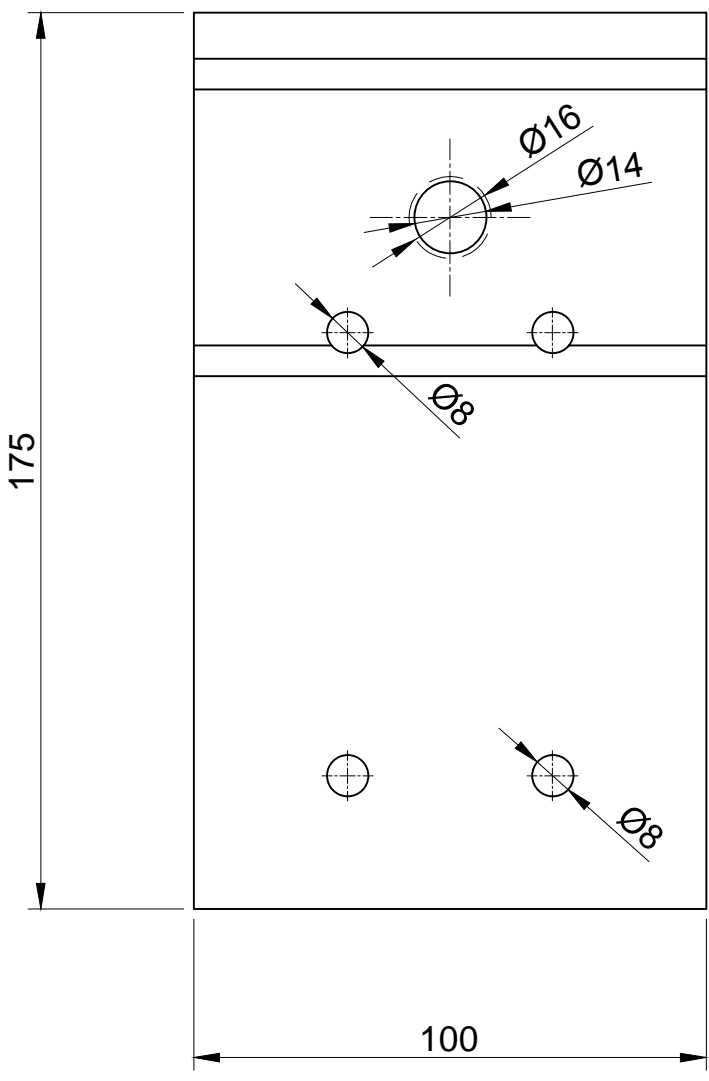
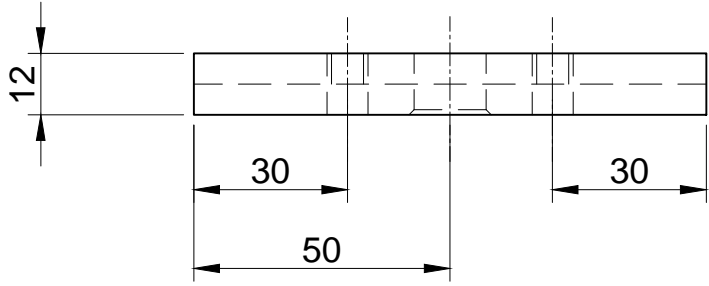


Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A36		80x80x12
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
PLACA SUPERIOR VOLADIZO	Escala 1:1	Código	0.0001.03.02.00	Tol gral ± 2



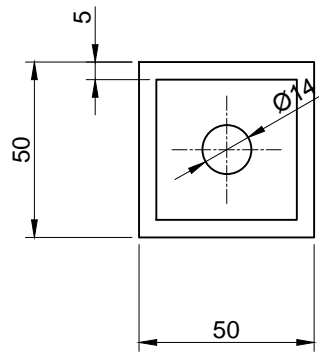
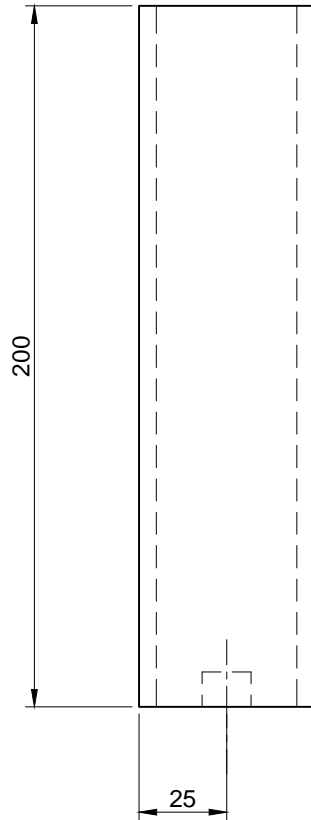
3	Platina base celda de carga	2	N° 0.0001.04.03.00	A2	ASTM A-36	90x90X3	Pintado
2	Perfil cuadrado	2	N° 0.0001.04.02.00	C2	ASTM A-36	210X50X50	Pintado
1	Placa base rectangular	2	N° 0.0001.04.01.00	D2	ASTM A-36	180x100x12	Pintado
Ref.	Denominación	Cant.	Norma	Loc.	Material	Dim. brutas	Observación
Tratamiento Térmico		Ninguno		MATERIAL		DIM. BRUTAS:	
Recubrimiento		Ninguno		ASTM A-36		236x175x100	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan		2015/03/04
				DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan		2015/03/04
				REV.	Ing. Fernando Larco		2015/03/04
ESTRUCTURA CELDA DE CARGA			Escala 1:2	Código	0.0001.04.00.00		Tol gral + 2

N8



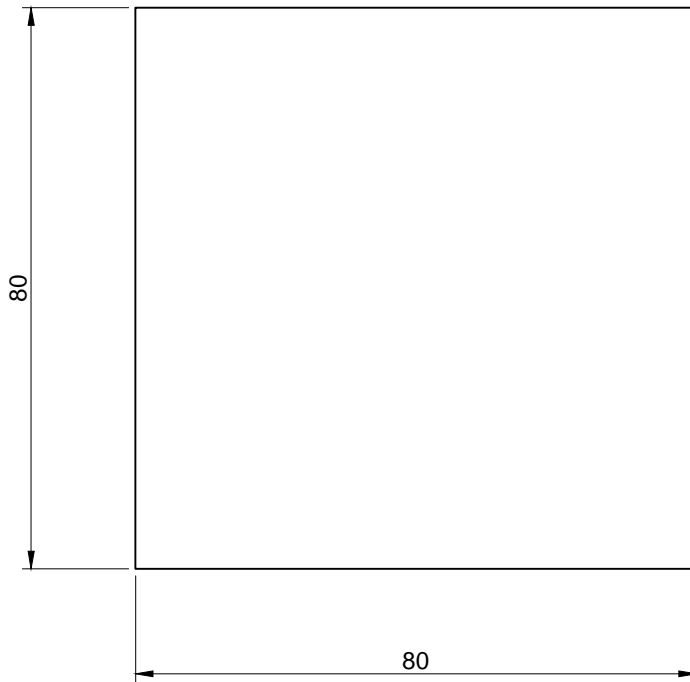
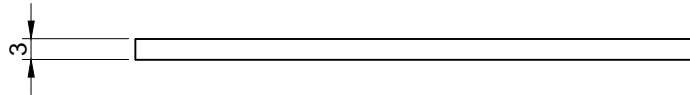
Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A36		180x100x12
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	UPS	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
PLACA BASE RECTANGULAR	Escala 1:2	Código	0.0001.04.01.00	Tol gral ± 2

N8



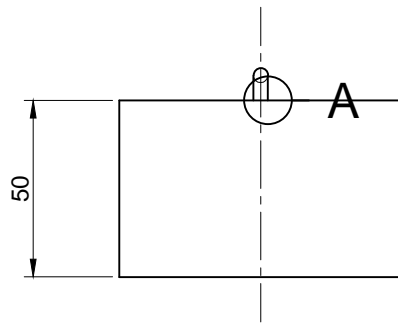
Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A36		210x50x50
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
PERFIL CUADRADO	Escala 1:2	Código	0.0001.04.02.00	Tol gral ± 2

N8

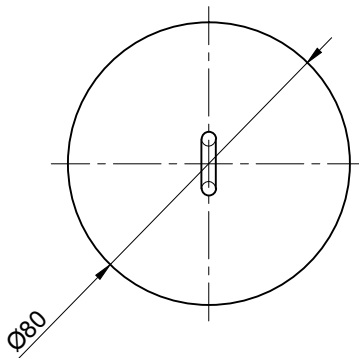
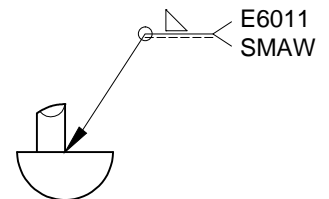


Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A36		90x90x3
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
PLATINA BASE CELDA DE CARGA	Escala 1:1	Código	0.0001.04.03.00	Tol gral + 2

N8

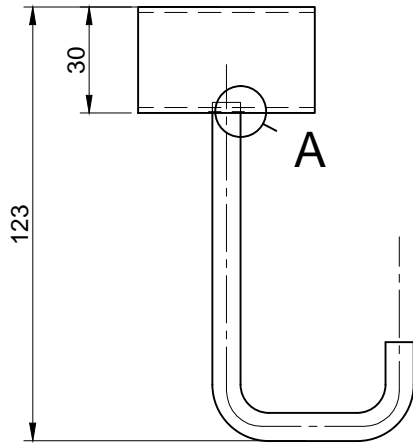


DETALLE A  
Escala 1:1

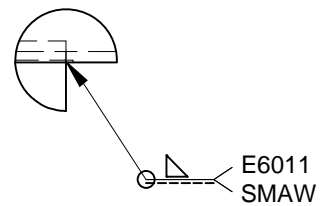
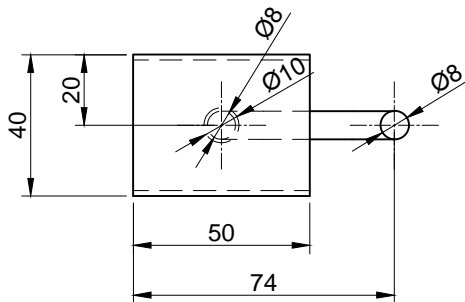


Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A36		Ø100x60
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
PESO	Escala 1:2	Código	0.0001.05.00.00	Tol gral ± 2

N8

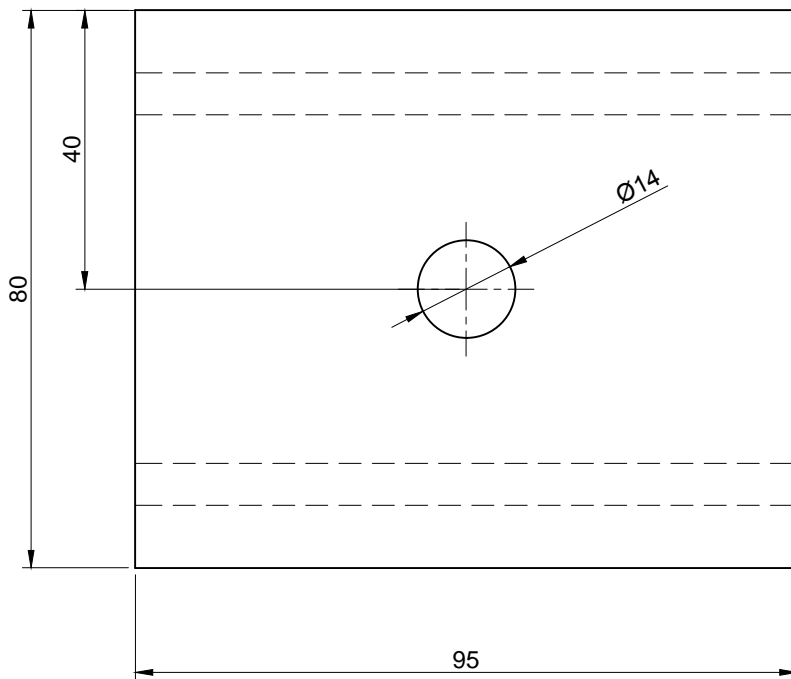
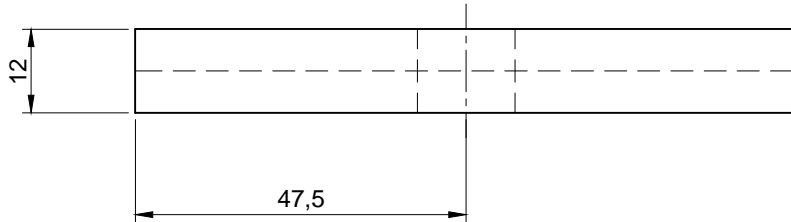


DETALLE A  
Escala 1:1



Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:	
Recubrimiento	Ninguno	ASTM A36		130x80x40	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
			DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
			REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
GANCHO PARA SUJECIÓN DEL PESO		Escala 1:2	Código	0.0001.06.00.00	Tol gral ± 2

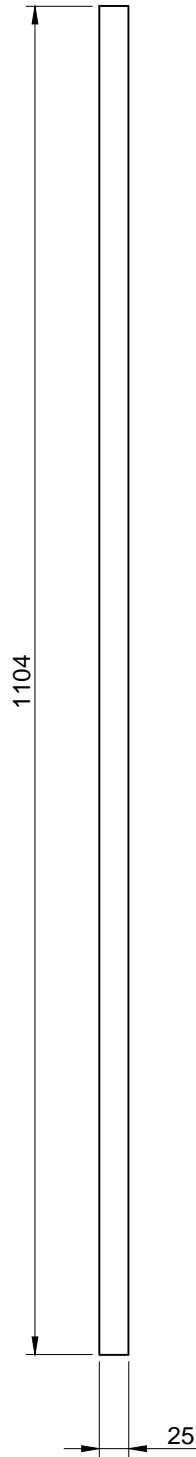
N8



Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Pintura	ASTM A36		90x100x12
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
PLACA RECTANGULAR INFERIOR	Escala 1:1	Código	0.0001.07.00.00	Tol gral ± 2

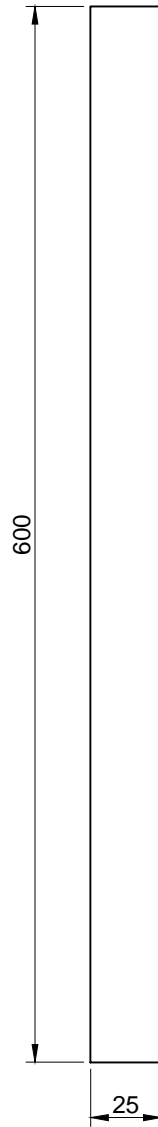


N8



Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Ninguno	ASTM A36		1200x25x6
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
PROBETA ACERO A - 36	Escala 1:5	Código	0.0001.08.00.00	Tol gral ± 2

N8



Tratamiento Térmico	Ninguno	MATERIAL		DIM. BRUTAS:
Recubrimiento	Ninguno	ASTM A36		610x25x9
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	DIS.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		DIB.	Santamaría Hernán / Tamay Juan	2015/03/04
		REV.	Ing. Fernando Larco	2015/03/04
PROBETA DE COBRE VOLADIZO	Escala 1:2	Código	0.0001.09.00.00	Tol gral ± 2

**ANEXO B**  
**TABLA PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS**  
**MATERIALES**

## Anexo b-1. Propiedades de los materiales

Propiedades mecánicas promedio de materiales típicos en ingeniería<sup>a</sup>  
(Unidades SI)

Materiales	Densidad $\rho$ (Mg/m <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidad $E$ GPa	Módulo de rigidez $G$ GPa	Resistencia de fluencia (MPa) $\sigma_y$		Resistencia última (MPa) $\sigma_r$		% Alargamiento espécimen 50 mm	Relación de Poisson $\nu$	Coef. de expansión Térm. $\alpha$ (10 <sup>-6</sup> )/°C
				Tens.	Comp. <sup>b</sup>	Tens.	Comp. <sup>b</sup>			
<b>Metálicos</b>										
Aleaciones forjadas de aluminio	2014-T6	73.1	27	414	414	469	469	10	0.35	23
	6061-T6	271	26	255	131	290	290	12	0.35	24
Aleaciones de hierro colado	Gris ASTM 20	7.19	27	-	-	179	669	0.6	0.28	12
	Malleable ASTM A-197	7.28	68	-	-	276	572	5	0.28	12
Aleaciones de cobre	Bronce rojo C83400	8.74	37	70.0	70.0	241	241	35	0.35	18
	Bronce C86100	8.83	38	345	345	655	655	20	0.34	17
Aleación de magnesio	[Am 1004-T61]	1.83	44.7	152	152	276	276	1	0.30	26
Aleaciones de acero	Estructural A36	7.85	200	250	250	400	400	30	0.32	12
	Inoxidable 304	7.86	193	207	207	517	517	40	0.27	17
	Herramientas L2	8.16	200	703	703	800	800	22	0.32	12
Aleación de titanio	[Ti-6Al-4V]	4.43	120	924	924	1 000	1 000	16	0.36	9.4
<b>No metálicos</b>										
Concreto	Baja resistencia	2.38	22.1	-	-	-	-	-	0.15	11
	Alta resistencia	2.38	29.0	-	-	-	-	-	0.15	11
Plástico reforzado	Kevlar 49	1.45	131	-	-	717	483	2.8	0.34	-
	30% vidrio	1.45	72.4	-	-	90	131	-	0.34	-
Madera Grado estructural seleccionado	Abeto Douglas	0.47	13.1	-	-	2.1 <sup>e</sup>	26 <sup>d</sup>	-	0.29 <sup>e</sup>	-
	Abeto blanco	3.60	9.65	-	-	2.5 <sup>e</sup>	36 <sup>d</sup>	-	0.31 <sup>e</sup>	-

<sup>a</sup> Los valores específicos pueden variar para materiales particulares debido a la composición de la aleación o el mineral, el trabajo mecánico del espécimen o el tratamiento térmico.

Veá un valor exacto del valor que se va a consultar en libros de referencia.

<sup>b</sup> Las resistencias de fluencia y última, para materiales dúctiles, se suponen iguales en tensión y compresión.

<sup>c</sup> Medido perpendicular al hilo.

<sup>d</sup> Medido paralelo al hilo.

<sup>e</sup> Deformación medida perpendicular al hilo, cuando la carga se aplica siguiendo el hilo.

Anexo b-2. Esfuerzos admisibles tomados del manual de la AISC

Table C-36  
Allowable Stress  
For Compression Members of 36-ksi Specified Yield Stress Steel<sup>a</sup>

$\frac{Kl}{r}$	$F_a$ (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	$F_a$ (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	$F_a$ (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	$F_a$ (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	$F_a$ (ksi)
1	21.56	41	19.11	81	15.24	121	10.14	161	5.76
2	21.52	42	19.03	82	15.13	122	9.99	162	5.69
3	21.48	43	18.95	83	15.02	123	9.85	163	5.62
4	21.44	44	18.86	84	14.90	124	9.70	164	5.55
5	21.39	45	18.78	85	14.79	125	9.55	165	5.49
6	21.35	46	18.70	86	14.67	126	9.41	166	5.42
7	21.30	47	18.61	87	14.56	127	9.26	167	5.35
8	21.25	48	18.53	88	14.44	128	9.11	168	5.29
9	21.21	49	18.44	89	14.32	129	8.97	169	5.23
10	21.16	50	18.35	90	14.20	130	8.84	170	5.17
11	21.10	51	18.26	91	14.09	131	8.70	171	5.11
12	21.05	52	18.17	92	13.97	132	8.57	172	5.05
13	21.00	53	18.08	93	13.84	133	8.44	173	4.99
14	20.95	54	17.99	94	13.72	134	8.32	174	4.93
15	20.89	55	17.90	95	13.60	135	8.19	175	4.88
16	20.83	56	17.81	96	13.48	136	8.07	176	4.82
17	20.78	57	17.71	97	13.35	137	7.96	177	4.77
18	20.72	58	17.62	98	13.23	138	7.84	178	4.71
19	20.66	59	17.53	99	13.10	139	7.73	179	4.66
20	20.60	60	17.43	100	12.98	140	7.62	180	4.61
21	20.54	61	17.33	101	12.85	141	7.51	181	4.56
22	20.48	62	17.24	102	12.72	142	7.41	182	4.51
23	20.41	63	17.14	103	12.59	143	7.30	183	4.46
24	20.35	64	17.04	104	12.47	144	7.20	184	4.41
25	20.28	65	16.94	105	12.33	145	7.10	185	4.36
26	20.22	66	16.84	106	12.20	146	7.01	186	4.32
27	20.15	67	16.74	107	12.07	147	6.91	187	4.27
28	20.08	68	16.64	108	11.94	148	6.82	188	4.23
29	20.01	69	16.53	109	11.81	149	6.73	189	4.18
30	19.94	70	16.43	110	11.67	150	6.64	190	4.14
31	19.87	71	16.33	111	11.54	151	6.56	191	4.09
32	19.80	72	16.22	112	11.40	152	6.46	192	4.05
33	19.73	73	16.12	113	11.26	153	6.38	193	4.01
34	19.66	74	16.01	114	11.13	154	6.30	194	3.97
35	19.58	75	15.90	115	10.98	155	6.22	195	3.93
36	19.50	76	15.79	116	10.85	156	6.14	196	3.89
37	19.42	77	15.68	117	10.71	157	6.06	197	3.85
38	19.35	78	15.58	118	10.57	158	5.98	198	3.81
39	19.27	79	15.47	119	10.43	159	5.91	199	3.77
40	19.19	80	15.36	120	10.28	160	5.83	200	3.73

## **ANEXO C**

### **TABLA DE COEFICIENTES PLACAS RECTANGULARES**

## Anexo c-1. Tabla coeficientes k

**Tabla 5.2.19** Coeficientes  $k$  y  $k_1$  para placas circulares ( $\mu = 0.3$ )

Caso	$k$	$k_1$
1	1.24	0.696
2	0.75	0.171
3	6.0	4.2

$R/r$	1.25		1.5		2		3		4		5	
Caso	$k$	$k_1$	$k$	$k_1$	$k$	$k_1$	$k$	$k_1$	$k$	$k_1$	$k$	$k_1$
4	0.592	0.184	0.976	0.414	1.440	0.664	1.880	0.824	2.08	0.830	2.19	0.813
5	0.105	0.0025	0.259	0.0129	0.481	0.057	0.654	0.130	0.708	0.163	0.730	0.176
6	1.10	0.341	1.26	0.519	1.48	0.672	1.88	0.734	2.17	0.724	2.34	0.704
7	0.195	0.0036	0.320	0.024	0.455	0.081	0.670	0.171	1.00	0.218	1.30	0.238
8	0.660	0.202	1.19	0.491	2.04	0.902	3.34	1.220	4.30	1.300	5.10	1.310
9	0.135	0.0023	0.410	0.0183	1.04	0.0938	2.15	0.293	2.99	0.448	3.69	0.564
10	0.122	0.00343	0.336	0.0313	0.740	0.1250	1.21	0.291	1.45	0.417	1.59	0.492
11	0.072	0.00068	0.1825	0.005	0.361	0.023	0.546	0.064	0.627	0.092	0.668	0.112
12	6.865	0.2323	7.448	0.6613	8.136	1.493	8.71	2.555	8.930	3.105	9.036	3.418
13	6.0	0.196	6.0	0.485	6.0	0.847	6.0	0.940	6.0	0.801	6.0	0.658
14	0.115	0.00129	0.220	0.0064	0.405	0.0237	0.703	0.062	0.933	0.092	1.13	0.114
15	0.090	0.00077	0.273	0.0062	0.710	0.0329	1.54	0.110	2.23	0.179	2.80	0.234

**Tabla 5.2.20** Coeficientes  $k$  y  $k_1$  para placas rectangulares y elípticas ( $\mu = 0.3$ )

$R/r$	1.0		1.5		2.0		3.0		4.0	
Caso	$k$	$k_1$	$k$	$k_1$	$k$	$k_1$	$k$	$k_1$	$k$	$k_1$
16	0.287	0.0443	0.487	0.0843	0.610	0.1106	0.713	0.1336	0.741	0.1400
17	0.308	0.0138	0.454	0.0240	0.497	0.0277	0.500	0.028	0.500	0.028
18	0.672	0.140	0.768	0.160	0.792	0.165	0.798	0.166	0.800	0.166
19	0.500	0.030	0.670	0.070	0.730	0.101	0.750	0.132	0.750	0.139
20	0.418	0.0209	0.626	0.0582	0.715	0.0987	0.750	0.1276	0.750	
21*	0.418	0.0216	0.490	0.0270	0.497	0.0284	0.500	0.0284	0.500	0.0284
22	0.160	0.0221	0.260	0.0421	0.320	0.0553	0.370	0.0668	0.380	0.0700
23*	0.160	0.0220	0.260	0.0436	0.340	0.0592	0.430	0.0772	0.490	0.0908
24	1.24	0.70	1.92	1.26	2.26	1.58	2.60	1.88	2.78	2.02
25	0.75	0.171	1.34	0.304	1.63	0.379	1.84	0.419	1.90	0.431

\*La razón de longitudes es  $r/R$  en los casos 21 y 23.

estos datos a los **campos biaxiales y triaxiales** ha dado como resultado la proposición de varias teorías de fallas. La figura 5.2.71 muestra los esfuerzos principales sobre un elemento con esfuerzos triaxiales. Por simplicidad, se supone que  $S_1 > S_2 > S_3$ . Los esfuerzos de compresión son negativos.

1. La **teoría del esfuerzo máximo** (Rankine) supone que la falla ocurre cuando el máximo esfuerzo principal alcanza el esfuerzo de fluencia en una probeta a tracción (o compresión). O sea,  $S_1 = \pm S_y$ .

2. La **teoría del esfuerzo cortante máximo** (Coulomb) supone que la fluencia (la falla) ocurre cuando el esfuerzo cortante máximo es igual al existente en una probeta a tracción (o compresión) simple en la fluencia. Matemáticamente,  $S_1 - S_3 = \pm S_y$ .

3. La **teoría de la energía máxima de deformación** (Beltrami) supone que la falla ocurre cuando la energía absorbida por volumen unitario es igual a la energía de deformación por volumen unitario en una probeta a tracción (o compresión) en la fluencia. Matemáticamente,  $S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 - 2\mu(S_1S_2 + S_2S_3 + S_3S_1) = S_y^2$ .

4. La **teoría de energía máxima de distorsión** (Huber, von Mises, Hencky) supone que se tiene fluencia cuando la energía

de distorsión es igual a la que se tiene a tracción simple en la fluencia. La energía de distorsión, esa porción de la energía total que causa distorsión en vez de cambio de volumen, es

$$U_d = \frac{1 + \mu}{3E} (S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 - S_1S_2 - S_2S_3 - S_3S_1)$$

Así, la falla se define por

$$S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 - (S_1S_2 + S_2S_3 + S_3S_1) = S_y^2$$

5. La **teoría de la deformación unitaria máxima** (Saint-Venant) asegura que la falla ocurre cuando la deformación unitaria máxima es igual a la deformación a la tracción simple en la fluencia o  $S_1 - \mu(S_2 + S_3) = S_y$ .

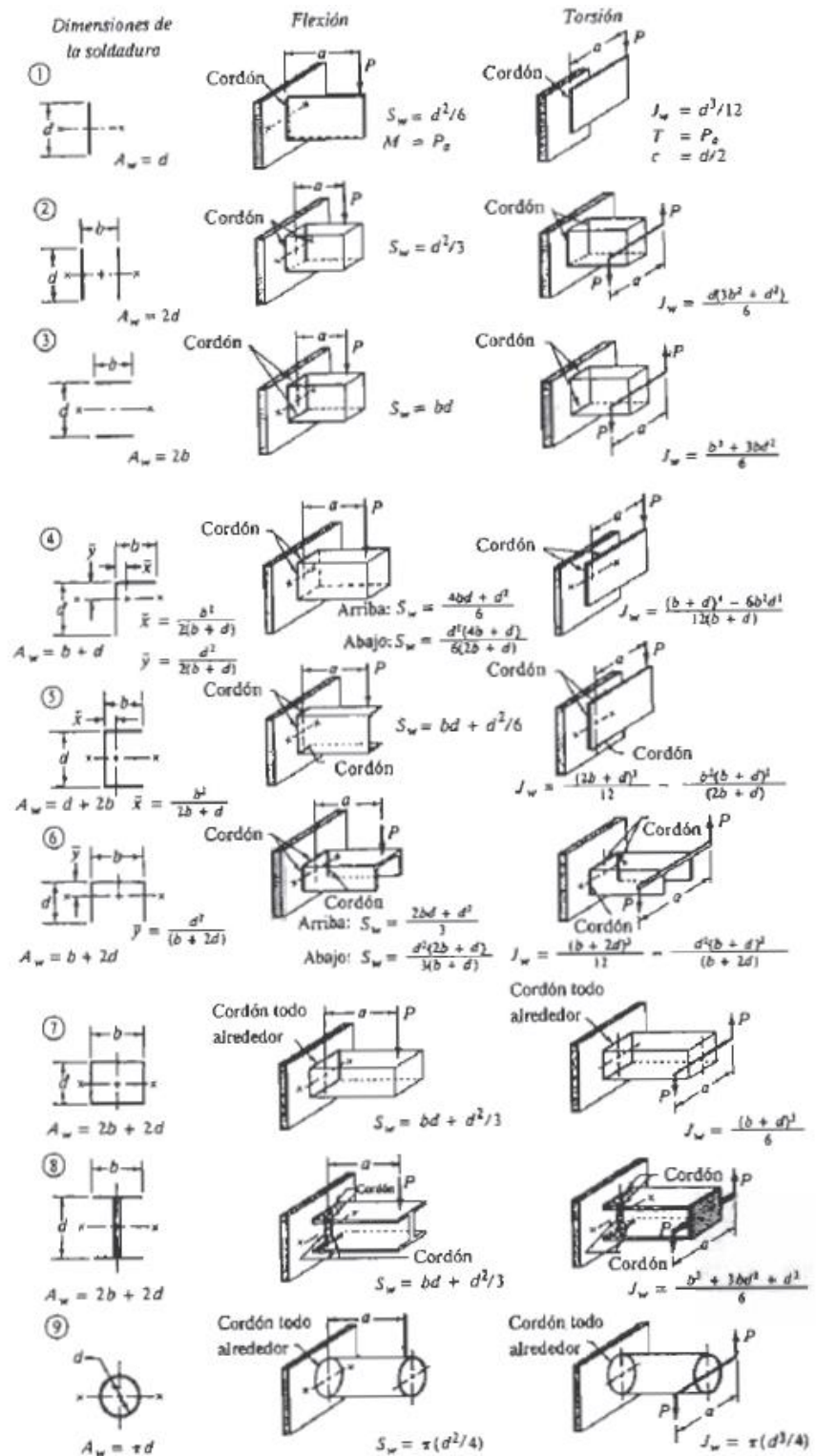
6. **Teoría de la fricción interna** (Mohr). Cuando las resistencias últimas a la tracción y a la compresión son las mismas, esta teoría se reduce a la del esfuerzo cortante máximo. Para esfuerzos principales de signo opuesto, la falla se define por  $S_1 - (S_{uc}/S_u)S_2 = -S_{uc}$ ; si los signos son los mismos  $S_1 = S_u$  o  $-S_{uc}$ , en donde  $S_{uc}$  es la resistencia última en la compresión. Si los esfuerzos principales son los dos de tracción o de com-

**ANEXO D**  
**TABLAS ELEMETOS DE SOLDADURA**



## Anexo D-1. Factores geométricos para el análisis de soldadura

FIGURA 20-8  
Factores geométricos para el análisis de soldaduras



## Anexo D-2. Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldadura

**TABLA 20-3** Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldaduras

Grado ASTM del metal base	Electrodo	Esfuerzo cortante admisible	Fuerza admisible por pulgada de lado
Estructuras de edificios:			
A36, A441	E60	13 600 psi	9600 lb/pulg
A36, A441	E70	15 800 psi	11 200 lb/pulg
Estructuras de puentes			
A36	E60	12 400 psi	8800 lb/pulg
A441, A242	E70	14 700 psi	10 400 lb/pulg

## Anexo D-3. Cargas constantes permisibles y tamaños mínimos de soldadura

Programa A: carga permisible para varios tamaños de soldadura de filete							Programa B: tamaño mínimo de soldadura de filete, h							
Nivel de resistencia del metal de aporte (EXX)														
	60*	70*	80	90*	100	110*	120							
Esfuerzo cortante permisible en la garganta, ksi (1 000 psi) de soldadura de filete o soldadura de muesca con penetración parcial														
$\tau =$	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0							
Fuerza unitaria permisible en soldadura de filete, kip/pulg lineal														
$\dagger f =$	12.73h	14.85h	16.97h	19.09h	21.21h	23.33h	25.45h							
Tamaño del cateto h, pulg	Fuerza unitaria permisible para varios tamaños de soldaduras de filete kip/pulg lineal													
1	12.73	14.85	16.97	19.09	21.21	23.33	25.45							
7/8	11.14	12.99	14.85	16.70	18.57	20.41	22.27							
3/4	9.55	11.14	12.73	14.32	15.92	17.50	19.09							
5/8	7.96	9.28	10.61	11.93	13.27	14.58	15.91							
1/2	6.37	7.42	8.48	9.54	10.61	11.67	12.73							
7/16	5.57	6.50	7.42	8.35	9.28	10.21	11.14							
3/8	4.77	5.57	6.36	7.16	7.95	8.75	9.54							
5/16	3.98	4.64	5.30	5.97	6.63	7.29	7.95							
1/4	3.18	3.71	4.24	4.77	5.30	5.83	6.36							
3/16	2.39	2.78	3.18	3.58	3.98	4.38	4.77							
1/8	1.59	1.86	2.12	2.39	2.65	2.92	3.18							
1/16	0.795	0.930	1.06	1.19	1.33	1.46	1.59							

Espesor del material de la parte unida más gruesa, pulg	Tamaño de la soldadura, pulg
*Hasta $\frac{1}{4}$ inclusive	$\frac{1}{8}$
Mayor que $\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$
Mayor que $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
† Mayor que $\frac{3}{4}$	$\frac{5}{16}$
Mayor que $1\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$
Mayor que $2\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$
Mayor que 6	$\frac{5}{8}$

No se debe exceder el espesor de la parte más delgada.

\*El tamaño mínimo para aplicaciones en puentes no puede ser menor a  $\frac{3}{16}$  pulg.

†Para tamaño mínimo del filete de soldadura, el programa no puede ser mayor que la soldadura de filete de  $\frac{5}{16}$  pulg por cada  $\frac{3}{4}$  pulg de material.

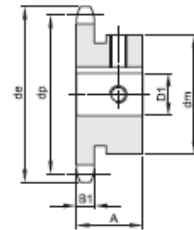
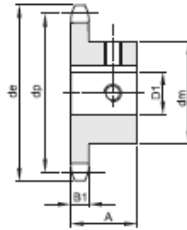
\*En realidad, las soldaduras de filete fueron ensayadas por el AISC-AWS Task Committee.  
 $\dagger f = 0.707f_{tens}$

**ANEXO E**  
**TABLAS SISTEMA MOTRIZ**

## Anexo E-1. – Piñones

**3/8" x 7/32"**  
**9,525 x 5,72 mm**  
 Rullo 6,35 mm  
 06B-1

B1	C	r3
5,3	1	10



Materiale acciaio C45 - TIPO ^ eseguiti con cava e un foro a 90°

Z	de	dp	dm	D1	A	Kg.
10	34,5	30,82	24*	10^	20	0,06
10	34,5	30,82	26*	12	20	0,07
10	34,5	30,82	29*	14	20	0,07
11	37,5	33,80	24*	10^	25	0,09
11	37,5	33,80	26*	12	25	0,09
11	37,5	33,80	29*	14	25	0,10
11	37,5	33,80	30*	15	25	0,10
11	37,5	33,80	31*	16	25	0,11
12	40,5	36,80	25	10^	25	0,10
12	40,5	36,80	26*	12	25	0,10
12	40,5	36,80	29*	14	25	0,11
12	40,5	36,80	30*	15	25	0,11
12	40,5	36,80	31*	16	25	0,11
13	43,5	39,80	28	10^	25	0,13
13	43,5	39,80	28	12	25	0,12
13	43,5	39,80	28	14	25	0,11
13	43,5	39,80	28	15	25	0,11
13	43,5	39,80	31*	16	25	0,12
13	43,5	39,80	34*	18	25	0,13
14	46,5	42,80	31	10^	25	0,16
14	46,5	42,80	31	12	25	0,15
14	46,5	42,80	31	14	25	0,17
14	46,5	42,80	31	15	25	0,14
14	46,5	42,80	31	16	25	0,13
14	46,5	42,80	31	18	25	0,12
14	46,5	42,80	35*	19	25	0,14
15	49,5	45,81	34	12	25	0,18
15	49,5	45,81	34	14	25	0,18
15	49,5	45,81	34	15	25	0,17
15	49,5	45,81	34	16	25	0,17
15	49,5	45,81	34	18	25	0,15
15	49,5	45,81	34	19	25	0,15
15	49,5	45,81	34	20	25	0,14
15	49,5	45,81	42*	22	25	0,19
15	49,5	45,81	42*	24	25	0,17
15	49,5	45,81	42*	25	25	0,16
16	52,5	48,82	37	12	28	0,24

TIPO \*

Z	de	dp	dm	D1	A	Kg.
16	52,5	48,82	37	22	28	0,18
16	52,5	48,82	42*	24	28	0,21
16	52,5	48,82	42*	25	28	0,20
17	55,5	51,83	40	12	28	0,28
17	55,5	51,83	40	14	28	0,28
17	55,5	51,83	40	15	28	0,27
17	55,5	51,83	40	16	28	0,26
17	55,5	51,83	40	18	28	0,25
17	55,5	51,83	40	19	28	0,24
17	55,5	51,83	40	20	28	0,24
17	55,5	51,83	40	22	28	0,23
17	55,5	51,83	46*	24	28	0,26
17	55,5	51,83	46*	25	28	0,26
18	58,6	54,85	40	12	28	0,30
18	58,6	54,85	40	14	28	0,28
18	58,6	54,85	43	15	28	0,31
18	58,6	54,85	43	16	28	0,31
18	58,6	54,85	43	18	28	0,29
18	58,6	54,85	43	19	28	0,29
18	58,6	54,85	43	20	28	0,28
18	58,6	54,85	43	22	28	0,27
18	58,6	54,85	43	24	28	0,25
18	58,6	54,85	43	25	28	0,24
19	61,6	57,87	40	12	28	0,31
19	61,6	57,87	40	14	28	0,30
19	61,6	57,87	45	15	28	0,35
19	61,6	57,87	45	16	28	0,35
19	61,6	57,87	45	18	28	0,33
19	61,6	57,87	45	19	28	0,33
19	61,6	57,87	45	20	28	0,32
19	61,6	57,87	45	22	28	0,31
19	61,6	57,87	45	24	28	0,29
19	61,6	57,87	45	25	28	0,28
20	64,6	60,89	40	12	28	0,32
20	64,6	60,89	40	14	28	0,31
20	64,6	60,89	46	15	28	0,38
20	64,6	60,89	46	16	28	0,37

Anexo E-2. – Cadena de rodillos



# Cadenas tipo A serie Americana

**GENERALIDADES :**

Estas cadenas de rodillos destinadas a transmisiones mecánicas de potencia cumplen las normas internacionales ISO 606 (paso simple) y ISO 1275 (paso doble).

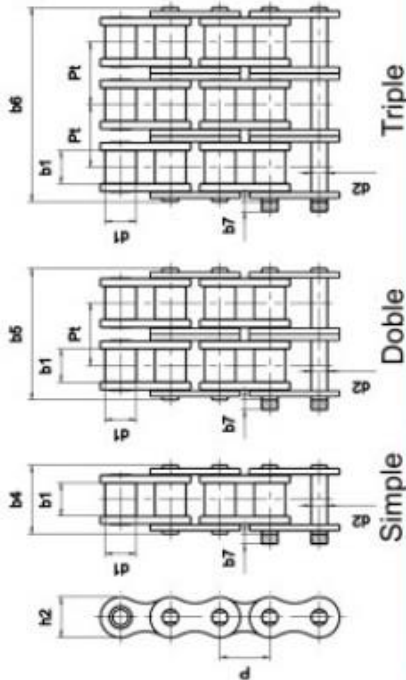
Estas cadenas corresponden a las principales normas nacionales siguientes :

- Americana ANSI B29-1,
- Alemana DIN 8188 (paso simple) y DIN 8181 (paso doble),

Además de las cadenas simples o múltiples que figuran en esta tabla, bajo pedido podemos fabricar cadenas con un número de filas superiores, por ejemplo, cuádruples, séxtuples, óctuples.

Los ejes remachados o con pasador.

Dimensiones en mm



REFERENCIA	SEDIS	Paso P	GAMA SEDIS					DIMENSIONES GENERALES							RESISTENCIA A LA TRACCIÓN					Peso Por Metro			
			1	2	3	4	5	d1	b4	b5	b6	max	h2	Pt	b7	1		2	3		4	5	
			max.	min.	max.	max.	max.	min.	max.	min.	min.	min.	min.	min.	min.	min.	min.	med.	min.		min.	min.	min.
08A-1	40-1	12,7	•	•	•	•	•	7,93	7,85	16,30	3,98	11,50				1,5	13,9	16,5	19,2	18,0	18,0	10,3	0,60
10A-1	50-1	15,875	•	•	•	•	•	10,15	9,55	20,45	5,09	13,70				1,5	21,8	27,0	31,4	28,0	28,0	17,0	1,00
12A-1	60-1	19,05	•	•	•	•	•	11,91	12,65	25,40	5,96	16,20				4,0	31,3	38,0	43,8	38,0	38,0	23,3	1,36
16A-1	80-1	25,4	•	•	•	•	•	15,88	15,87	32,80	7,94	20,80				4,0	55,6	62,0	77,2	62,0	62,0	14,0	2,58
20A-1	100-1	31,75	•	•	•	•	•	19,05	19,05	39,60	9,53	25,40				6,1	87,0	99,0	110,0	99,0	99,0	14,0	3,88
24A-1	120-1	38,1	•	•	•	•	•	22,22	25,40	49,60	11,10	35,20				6,6	125,0	140,0	168,0	140,0	140,0	14,0	5,56
28A-1	140-1	44,45	•	•	•	•	•	25,40	25,40	53,50	12,70	42,00				7,0	170,0	178,0	203,0	178,0	178,0	17,0	7,44
32A-1	160-1	50,8	•	•	•	•	•	28,58	31,75	64,00	14,27	48,20				7,0	223,0	228,0	255,0	228,0	228,0	17,0	10,04
40A-1	200-1	63,5	•	•	•	•	•	39,67	38,10	77,90	19,85	58,00				9,0	347,0	380,0	416,0	380,0	380,0	17,0	16,70
48A-1	240-1	76,2	•	•	•	•	•	47,60	47,60	94,50	23,80	71,80				10,5	500,0	700,0	730,0	700,0	700,0	17,0	23,70

**ANEXO F**  
**ELEMENTOS DE AUTOMATIZACIÓN**

## Anexo F-1. Celda de carga

### 0-10Kg Electronic Weighing Scale Load Cell Sensor 80mmx12.7mmx12.7mm

by Amico

Be the first to review this item



Click to open expanded view



Only 4 left in stock.

Sold by uxcell and Fulfilled by Amazon. Gift-wrap available.

Want it tomorrow, Aug. 22? Order within **2 hrs 14 mins** and choose **One-Day Shipping** at checkout. [Details](#)

- Product Name : Weighing Load Cell, Rated Load : 0-10Kg, Rated Output : 1.0  $\pm$  10 %mV/V, Non-Linearity : 0.02%F.S., Hysteresis : 0.02%F.S., Repeatability : 0.02%F.S.
- Zero Balance :  $\pm$  2%F.S., Temp Effect on Zero : 0.025%F.S./10C; Temp Effect on Zero Output : 0.025%F.S./10C; Creep (30min) : 0.03%F.S.; Input Impedance : 410 $\pm$  30 Ohm; Output Impedance : 350 $\pm$  3 Ohm
- Insulation :  $>$  2000 Megohm / 50V DC ; Compensated Temperature Range : -10C-40C; Operating Temperature Range : -20C-60C; Safe Overload : 150%F.S., Ultimate Overload : 300%F.S., Input End : Red+, Black-
- Output End : Blue+, White-, Recommended Excitation : 10V, Maximum Excitation : 15V, Load Cell Size : 80 x 12.7 x 12.7mm / 3.1" x 0.5" x 0.3" (L\*W\*T), Thread Hole Diameter : 3mm / 0.11", Center Hole Size : 17 x 10 mm / 0.67" x 0.4" (L\*Max.W)
- Cable Length : 18cm / 7", Main Color : Silver Tone, Material : Aluminum, Weight : 31g, Package Content : 1 x Weighing Load Cell



## Anexo F-2. – Sensor de distancia infrarrojo

# SHARP

## GP2Y0A21YK Optoelectronic Device

### FEATURES

- Digital Output
- LED Pulse Cycle Duration: 32 ms
- Range: 10 to 80 cm
- Typical response time: 39 ms
- Typical start up delay: 44 ms
- Average Current Consumption: 30 mA
- Detection Area Diameter @ 80 cm: 12 cm

### DESCRIPTION

The GP2Y0A21YK is a wide-angle distance measuring sensor.

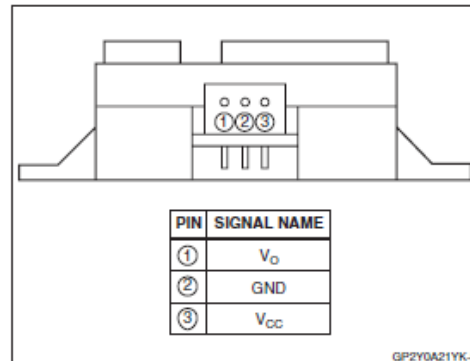


Figure 1. Pinout

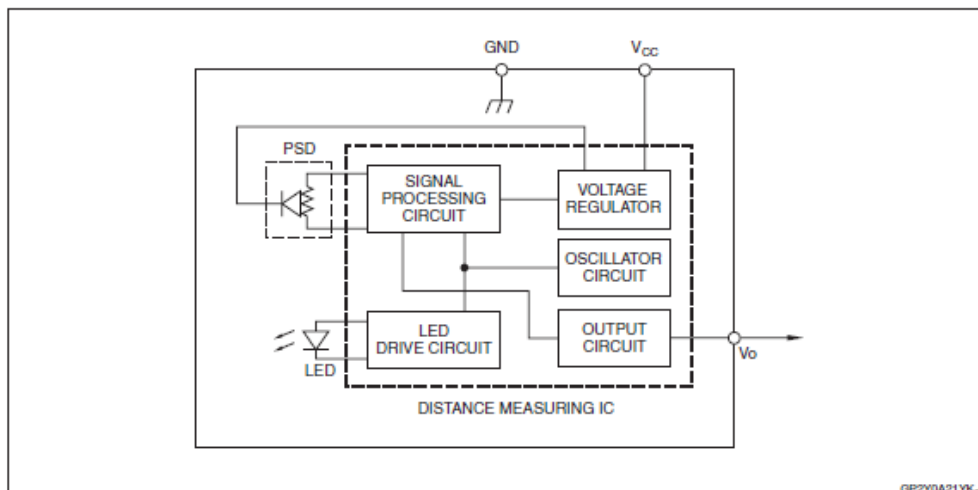


Figure 2. Block Diagram

## Anexo F-3. Tarjeta de adquisición de datos ARDUINO

### Features

- High Performance, Low Power AVR<sup>®</sup> 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
  - 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
  - 256/512/512/1K Bytes EEPROM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
  - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM (ATmega48PA/88PA/168PA/328P)
  - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
  - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C<sup>(1)</sup>
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    - In-System Programming by On-chip Boot Program
    - True Read-While-Write Operation
  - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Six PWM Channels
  - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
    - Temperature Measurement
  - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
    - Temperature Measurement
  - Programmable Serial USART
  - Master/Slave SPI Serial Interface
  - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I<sup>2</sup>C compatible)
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
  - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
  - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
  - Internal Calibrated Oscillator
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
  - 23 Programmable I/O Lines
  - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
  - 1.8 - 5.5V for ATmega48PA/88PA/168PA/328P
- Temperature Range:
  - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
  - 0 - 20 MHz @ 1.8 - 5.5V
- Low Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C for ATmega48PA/88PA/168PA/328P:
  - Active Mode: 0.2 mA
  - Power-down Mode: 0.1 µA
  - Power-save Mode: 0.75 µA (Including 32 kHz RTC)



8-bit **AVR<sup>®</sup>**  
Microcontroller  
with 4/8/16/32K  
Bytes In-System  
Programmable  
Flash

ATmega48PA  
ATmega88PA  
ATmega168PA  
ATmega328P

**ANEXO G**  
**GUÍA DE OPERACIÓN**  
**Y**  
**MANUAL DEL USUARIO**

GUÍA DE OPERACIÓN  
Y  
MANUAL DEL USUARIO

MÁQUINA PARA ENSAYO DE  
DEFLEXIONES DE VIGAS

## **INSTALACIÓN DEL SOFTWARE**

Es necesario primeramente instalar todo el software adjunto en el CD antes de operar el equipo.

1. Instalar LabView 2011, y validar con su respectiva licencia.
2. Ejecutar el archivo “vipm Windows”. (Es necesario que el computador se encuentre conectado a una red de internet)
3. Buscar el complemento “LabView for Arduino” y descargarlo.
4. Ejecutar el archivo “Arduino 1.0.6 windows”
5. Instalar los drivers “run503full” de la carpeta “Visa 2011 drivers”
6. Reiniciar el computador.

## **CONEXIÓN DEL EQUIPO AL ORDENADOR**

Es importante seguir el procedimiento detallado para prevenir cualquier mal funcionamiento y evitar daños.

1. Conectar el cable de poder al tomacorriente (110V)
2. Conectar la extensión del cable USB de la caja al puerto USB del ordenador previamente instalado.
3. Girar el switch de la caja a la posición ON.
4. Ejecutar el programa elaborado en LabView 2011 “ENSAYO DE DEFLEXIONES DE VIGAS”
5. Correr el programa

## **DESCONEXIÓN DEL EQUIPO**

Es importante seguir el procedimiento detallado para prevenir cualquier mal funcionamiento y evitar daños.

1. Cerrar el programa
2. Girar el switch de la caja a la posición OFF.
3. Desconectar la extensión del cable USB de la caja al puerto USB del ordenador.
4. Desconectar el cable de poder del tomacorriente.

## RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

PROBLEMA	POSIBLE SOLUCIÓN
EL computador no reconoce al equipo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Verificar las conexiones</li><li>• Reinstalar drivers</li></ul>
¿Qué puerto USB está configurado en la PC?	Panel de Control > Administrador de dispositivos > Ports (COM)
El transportador no se encuentra en su posición inicial.	Se lo puede llevar manualmente a su posición inicial.
Los sensores infrarrojos se encuentran desalineados	Ajustar la posición de los sensores hacia las guías ubicadas en la máquina.
La celda de carga no mide correctamente las reacciones	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ubicar correctamente la viga</li><li>• Verificar su nivel y alineación</li></ul>

## ESPECIFICACIONES GENERALES

Alimentación	AC 110 – 240 V ~50/60 Hz
Peso	25 Kg
Dimensiones	1543 x 550 x 310 mm
Tolerancia térmica	5 – 35 °C
Tolerancia a la humedad	10% a 70%

## GUÍA DE PRÁCTICAS

La máquina de ensayos para deflexión de vigas, permite realizar una práctica entre apoyos y una práctica en voladizo.

Cada práctica se debe empezar determinando las reacciones, y el procedimiento para cada práctica se explica a continuación:

### ***DETERMINAR LAS REACCIONES***

1. Tomar la medida de L (longitud) entre los puntos de apoyo.
2. Colocar la probeta entre los puntos de apoyo.
3. Colocar la carga a la distancia requerida, verificar en el software.
4. Correr el programa elaborado en Labview.
5. Verificar las medidas de las reacciones en la PC.
6. Anotar las medidas en la hoja de datos.

### **DETERMINAR LA DEFLEXIÓN ENTRE APOYOS**

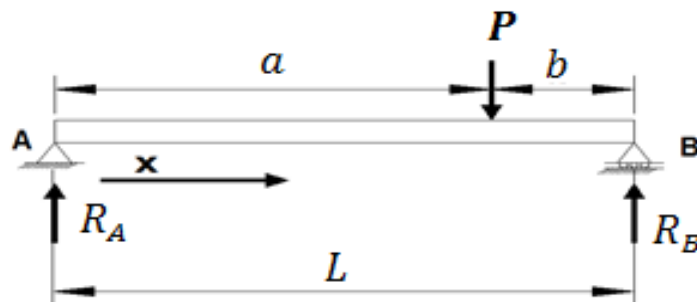
1. Determinar las reacciones.
2. Verificar el tipo de material y las dimensiones de la probeta.
3. Desplazarse en el programa a la pestaña “Deflexión”
4. Comprobar la deflexión máxima, o la deflexión en cualquier punto desplazando el cursor.
5. Adicional a la práctica se puede conocer los diagramas de corte y momento dirigiéndose dentro del software a la pestaña necesitada.
6. Anotar las medidas en la hoja de datos.

### **DETERMINAR LA DEFLEXIÓN EN VOLADIZO**

1. Determinar las reacciones.
2. Verificar el tipo de material y las dimensiones de la probeta.
3. Desplazarse en el programa a la pestaña “Deflexión”
4. Comprobar la deflexión máxima, o la deflexión en cualquier punto desplazando el cursor.
5. Adicional a la práctica se puede conocer los diagramas de corte y momento dirigiéndose dentro del software a la pestaña necesitada.
6. Anotar las medidas en la hoja de datos.

### **MODELO DE LA HOJA DE DATOS**

PRÁCTICA								
Material	a (cm)	b (cm)	X (cm)	I (cm <sup>4</sup> )	E (GPa)	L (cm)	P (Kg)	V (cm)
A-36					200			
Aluminio					75			
Cobre B2					117,2			



**ANEXO H**  
**PRUEBAS Y ENSAYOS**



## PRUEBAS Y ENSAYOS

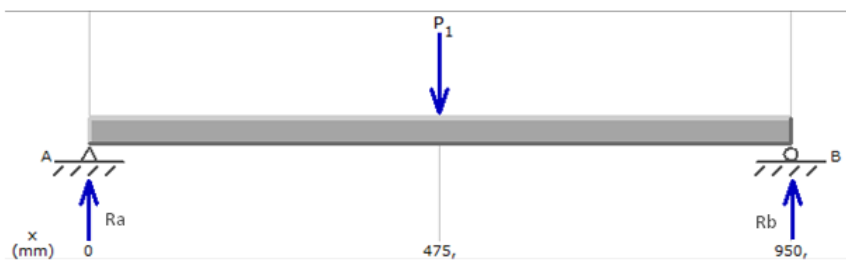
### PRÁCTICAS CON LA MÁQUINA ORIGINAL

#### Datos de las probetas

- **Acero A304:** L=95 cm    b=19,5 mm    h=5 mm    E=2100 ton/cm<sup>2</sup>
- **Aluminio:**    L=95 cm    b=23,5 mm    h=4 mm    E=705 ton/cm<sup>2</sup>
- **Cobre B2:**    L=95 cm    b=30 mm    h=4 mm    E=1125 ton/cm<sup>2</sup>

#### PRÁCTICA 1: Reacciones

La primera práctica se realizaba con la carga en el centro de la viga y consistía en tomar los datos de las reacciones.



#### Resultados teóricos:

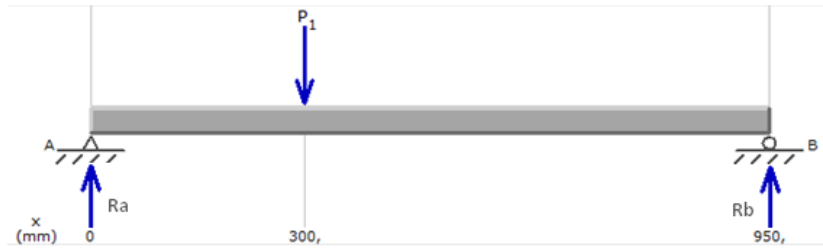
Probeta	P [Kg]	Ra [kg]	Rb [Kg]
Acero	0,8	0,4	0,4
Aluminio	0,8	0,4	0,4
Cobre	0,8	0,4	0,4

#### Resultados prácticos:

Probeta	P [Kg]	Ra [kg]	Rb [Kg]
Acero	0,8	0,41	0,45
Aluminio	0,8	0,36	0,36
Cobre	0,8	0,5	0,45

#### PRÁCTICA 2: Deflexión entre apoyos

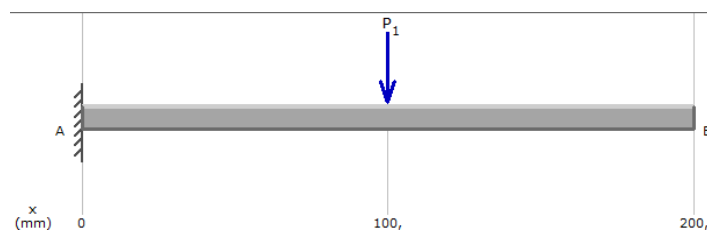
En este caso se coloca la carga a una distancia de 30 cm del punto A y se toma los datos de reacciones y la deflexión en el punto donde está aplicada la carga.



Probeta	P [Kg]	Práctico		Teórico		Práctico	Teórico
		Ra [lb]	Rb [lb]	Ra [lb]	Rb [lb]	V <sub>30</sub> [mm]	V <sub>30</sub> [mm]
Acero	0,8	0,9	0,5	1,20	0,56	3,57	2,49
Acero	1,2	1,7	0,7	1,81	0,83	4,41	3,75
Aluminio	0,4	0,5	0,3	0,6	0,28	6,68	5,67
Aluminio	0,6	0,9	0,4	0,9	0,42	9,20	8,50
Cobre	0,8	0,9	0,6	1,20	0,56	6,77	5,92
Cobre	1	1,1	0,7	1,51	0,69	7,89	7,40

### PRÁCTICA 3: Deflexión en voladizo

Esta práctica se realiza con una probeta de acero A304 de una longitud de 200 mm, y se aplica la carga en el centro de la probeta, donde también se medirá la deflexión.



Probeta	P [Kg]	Práctico	Teórico	Práctico	Teórico
		V <sub>20</sub> [mm]	V <sub>20</sub> [mm]	V <sub>10</sub> [mm]	V <sub>10</sub> [mm]
Acero	0,8	0,11	0,15	0,04	0,062

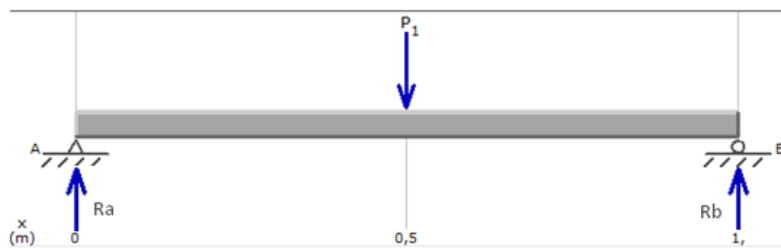
## PRÁCTICAS CON LA MÁQUINA REDISEÑADA

### Datos de las probetas

- **Acero A304:** L=100 cm    b=25 mm    h=6,35 mm    E=200 GPa
- **Aluminio:**    L=100 cm    b=23,5 mm    h=4 mm    E=75 GPa
- **Cobre B2:**    L=100 cm    b=25,4 mm    h=9,5 mm    E=117 GPa

### PRÁCTICA 1: Reacciones y deflexión máxima

La primera práctica se realizaba con la carga en el centro de la viga y consiste en tomar los datos de las reacciones.



#### Resultados teóricos:

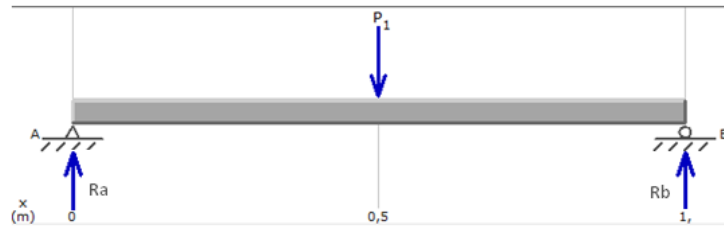
Probeta	P [Kg]	Ra [kg]	Rb [Kg]
Acero	5	2,5	2,5
Cobre	5	2,5	2,5

#### Resultados prácticos:

Probeta	P [Kg]	Ra [kg]	Rb [Kg]
Acero	5	2,41	2,42
Cobre	5	2,43	2,46

### PRÁCTICA 2: Deflexión entre apoyos

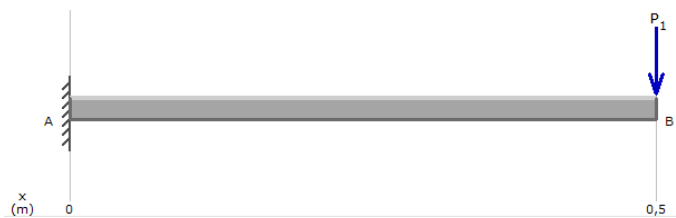
En este caso se coloca la carga en el centro de la viga y se toma los datos de reacciones y la deflexión en el punto donde está aplicada la carga.



Probeta	P [Kg]	Práctico		Teórico		Práctico	Teórico
		Ra [kg]	Rb [kg]	Ra [kg]	Rb [kg]	V <sub>50</sub> [mm]	V <sub>50</sub> [mm]
Acero	5	2,41	2,42	2,5	2,5	9,58	9,56
Acero	6	2,91	2,93	3,0	3,0	12,15	11,46
Cobre	5	2,43	2,46	2,5	2,5	5,05	4,79
Cobre	7	3,41	3,42	3,5	3,5	6,95	6,71

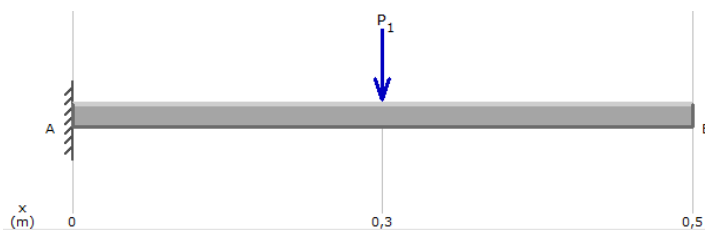
### PRÁCTICA 3: Deflexión en voladizo

Esta práctica se realiza con una probeta de cobre ASTM B2 de una longitud de 500 mm, y se aplica la carga en el extremo de la probeta, donde también se medirá la deflexión.



Probeta	P [Kg]	Práctico	Teórico	Práctico	Teórico
		V <sub>25</sub> [mm]	V <sub>25</sub> [mm]	V <sub>50</sub> [mm]	V <sub>50</sub> [mm]
Cobre	5	3,21	3,0	9,24	9,58

Otra práctica se puede realizar con la misma probeta de cobre ASTM B2 de 500mm de longitud, donde se aplica la carga en el centro de la probeta.



Probeta	P [Kg]	Práctico	Teórico	Práctico	Teórico
		V <sub>25</sub> [mm]	V <sub>25</sub> [mm]	V <sub>50</sub> [mm]	V <sub>50</sub> [mm]
Cobre	5	1,4	1,2	3,5	3,0