



**ESPE**  
**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**Diseño y Prototipo de una Máquina Medidora de Superficies de Cuero para la contabilización del Gasto del Material en la Empresa Calzado Javier.**

Pazmiño Palma, Hólguer Mauricio

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico

Ing. Torres Vásquez, Katya Mercedes.

19 de enero de 2022

Latacunga



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación “**Diseño y Prototipo de una Máquina Medidora de Superficies de Cuero para la contabilización del Gasto del Material en la Empresa Calzado Javier**”. fue realizado por el señor **Pazmiño Palma, Hólguer Mauricio**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 19 de enero del 2022**



Firmado electrónicamente por:  
**KATYA MERCEDES  
TORRES VASQUEZ**

---

**Ing. Torres Vásquez, Katya Mercedes**

**C.C.: 0501345615**

## Reporte de verificación de contenido.



TESIS PAZMIÑO 2022.pdf

Scanned on: 15:30 February 14, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	603
Words with Minor Changes	77
Paraphrased Words	133
Ommited Words	3261



TESIS PAZMIÑO 2022.pdf  
KATYA MERCEDES  
TORRES VASQUEZ



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

## RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Pazmiño Palma, Hólguer Mauricio**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño y Prototipo de una Máquina Medidora de Superficies de Cuero para a contabilización del Gasto del Material en la Empresa Calzado Javier”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 19 de enero del 2022

Una firma manuscrita en tinta azul que dice "Mauricio Pazmiño". La firma está escrita sobre una línea horizontal que se extiende a lo largo de la línea de la firma.

Pazmiño Palma, Hólguer Mauricio

C.C.:1804551289



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Pazmiño Palma, Hólguer Mauricio**, autorizo a la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diseño y Prototipo de una Máquina Medidora de Superficies de Cuero para a contabilización del Gasto del Material en la Empresa Calzado Javier”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 11 de enero del 2022

Una firma manuscrita en tinta azul que dice 'Mauricio Pazmiño' sobre una línea horizontal.

**Pazmiño Palma, Hólguer Mauricio**

**C.C.:1804551289**

### **Dedicatoria**

Este arduo trabajo está dedicado a mi familia y a mis amigos que supieron motivarme con cariño y confianza a tener la disciplina necesaria.

**Mauricio Pazmiño P.**

### **Agradecimiento**

Agradezco primero a Dios por darme la oportunidad de seguir el camino de la sabiduría. Agradezco también a mis propios errores por hacerme cada vez más fuerte, tener más experiencia y ser más precavido. Agradezco a mis padres por darme la oportunidad de estar unidos en esta terrible pandemia mundial que estamos atravesando.

**Mauricio Pazmiño P.**

**Tabla de contenidos**

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte de verificación de contenido.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Tabla de contenidos.....	8
Índice de tablas.....	12
Índice de figuras.....	13
Índice de ecuaciones.....	18
Resumen.....	20
Abstract.....	21
Metodología de la investigación.....	22
Planteamiento del problema.....	22
Antecedentes.....	22
Justificación.....	23
Objetivos.....	24
<i>Objetivo general</i> .....	24
<i>Objetivos específicos</i> .....	24
Marco teórico.....	25
Antecedentes investigativos.....	25
<i>Medición de la superficie de cuero sin equipos eléctricos</i> .....	25



<b>Conteo de cuero con máquinas</b> .....	26
<b>Fundamentación conceptual</b> .....	29
<b>Cuero</b> .....	29
<b>Múltiplos y submúltiplos en el sistema internacional</b> .....	30
<b>Magnitud básica.</b> .....	31
<b>Magnitud derivada</b> .....	31
<b>Valor verdadero convencional</b> .....	32
<b>Superficie</b> .....	32
<b>Medición</b> .....	32
<b>Resolución</b> .....	32
<b>Error</b> .....	32
<b>Tolerancia dimensional</b> .....	32
<b>Exactitud</b> .....	33
<b>Precisión</b> .....	33
<b>Media</b> .....	34
<b>Desviación estándar</b> .....	34
<b>Incertidumbre</b> .....	35
<b>Prototipo</b> .....	35
<b>Regla del 10</b> .....	35
<b>Patrón</b> .....	35
<b>Calibración</b> .....	35
<b>Piezoelectricidad</b> .....	35
<b>Voltaje</b> .....	35
<b>Corriente</b> .....	36
<b>Resistencia.</b> .....	36
<b>Ley de ohm</b> .....	36
<b>Diagrama de flujo</b> .....	37
<b>Fundamentación teórica</b> .....	37
<b>Vidrio templado</b> .....	37
<b>Esfuerzos</b> .....	40
<b>Análisis de vigas</b> .....	43

<i>Columnas</i> .....	45
<i>Distribución de cargas por el concepto de áreas tributarias</i> .....	49
<i>Soldadura</i> .....	50
<i>Sistemas de transmisión</i> .....	51
<i>Rodamientos</i> .....	56
<i>Divisor de voltaje</i> .....	56
<i>Arduino</i> .....	57
<i>Circuitos digitales de entrada y salida</i> .....	58
<i>Fotorresistencia</i> .....	59
<i>Diodo led</i> .....	61
<i>Sensor óptico</i> .....	63
<i>Finales de carrera</i> .....	64
<i>Actuadores eléctricos</i> .....	64
<i>Display de 7 segmentos</i> .....	69
<i>Accionamientos eléctricos</i> .....	70
Fundamentación metodológica .....	73
<i>Encuesta</i> .....	73
Sistemas de variables.....	74
<i>Variable independiente:</i> .....	74
<i>Variable dependiente:</i> .....	74
<i>Hipótesis</i> .....	74
Fundamentación metodológica .....	74
Diseño y desarrollo .....	76
Recopilación de información .....	76
Cuadro comparativo de alternativas para diseño del equipo .....	77
Análisis de información obtenida .....	78
Dimensionamiento de componentes mecánicos.....	83
<i>Vidrio templado</i> .....	84
<i>Vigas</i> .....	85
<i>Columnas</i> .....	100
<i>Dimensionamiento de rodamientos</i> .....	102

<i>Dimensionamiento de la cadena y piñón</i> .....	105
<b>Dimensionamiento de componentes eléctricos</b> .....	109
<i>Acondicionamiento de fotorresistencia</i> .....	109
<i>Acondicionamiento de diodos led</i> .....	111
<i>Motor eléctrico</i> .....	113
<i>Accionamiento eléctrico</i> .....	114
<b>Construcción del prototipo</b> .....	117
<i>Estructura</i> .....	117
<i>Electrónica</i> .....	119
<i>Programación de arduinos</i> .....	123
<b>Calibración</b> .....	127
<b>Análisis de resultados</b> .....	128
<b>Conclusiones y recomendaciones</b> .....	132
<b>Conclusiones</b> .....	132
<b>Recomendaciones</b> .....	133
<b>Bibliografía</b> .....	134
<b>Anexos</b> .....	138

**Índice de tablas**

<b>Tabla 1.</b> <i>Múltiplos y submúltiplos</i> .....	31
<b>Tabla 2.</b> <i>Magnitudes básicas, unidades y símbolos</i> .....	31
<b>Tabla 3.</b> <i>Características del acero</i> .....	44
<b>Tabla 4.</b> <i>Voltaje de umbral de diodos LED de diferentes colores</i> .....	61
<b>Tabla 5.</b> <i>Análisis de alternativas</i> .....	78
<b>Tabla 6.</b> <i>Cálculo del error</i> .....	128
<b>Tabla 7.</b> <i>Costo de la máquina medidora de superficies</i> .....	130

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Método de cuadro.</i> .....	26
<b>Figura 2.</b> <i>Máquina medidora de superficies con sensores estáticos.</i> .....	27
<b>Figura 3.</b> <i>Máquina medidora de superficies con sensores móviles.</i> .....	27
<b>Figura 4.</b> <i>Cuero vacuno raza Holstein.</i> .....	28
<b>Figura 5.</b> <i>Nombres de las partes de una pieza de cuero.</i> .....	29
<b>Figura 6.</b> <i>Corte del cuero con patrón de cartón corrugado</i> .....	30
<b>Figura 7.</b> <i>Representación de precisión y exactitud con el lanzamiento de dardos.</i> .....	33
<b>Figura 8.</b> <i>Símbolo de resistencia eléctrica</i> .....	36
<b>Figura 9.</b> <i>Símbolos de diagramas de flujo.</i> .....	37
<b>Figura 10</b> <i>Fragmentación del vidrio templado y del vidrio sin templar.</i> .....	38
<b>Figura 11.</b> <i>Vidrio templado.</i> .....	39
<b>Figura 12.</b> <i>Esfuerzo a tracción</i> .....	40
<b>Figura 13.</b> <i>Esfuerzo a compresión.</i> .....	41
<b>Figura 14.</b> <i>Esfuerzos cortantes.</i> .....	41
<b>Figura 15.</b> <i>Esfuerzo a flexión</i> .....	42
<b>Figura 16.</b> <i>Esfuerzo a torsión.</i> .....	42
<b>Figura 17.</b> <i>Diagrama esfuerzo deformación del acero al carbono.</i> .....	44
<b>Figura 18.</b> <i>Viga simplemente apoyada.</i> .....	45
<b>Figura 19.</b> <i>Tipos de columna según su empotramiento.</i> .....	46
<b>Figura 20.</b> <i>Distribución de áreas tributarias para superficies simplemente apoyadas.</i> ....	50

<b>Figura 21.</b> <i>Mecanismo de correas con poleas.</i> .....	52
<b>Figura 22.</b> <i>Transmisión por cadena y catarina.</i> .....	53
<b>Figura 23.</b> <i>Dimensiones de la catarina.</i> .....	53
<b>Figura 24.</b> <i>Mecanismo de engranajes.</i> .....	54
<b>Figura 25.</b> <i>Mecanismo piñón cremallera.</i> .....	55
<b>Figura 26.</b> <i>Sistema de tornillo de potencia con tuerca.</i> .....	55
<b>Figura 27.</b> <i>Configuración de un divisor de voltaje.</i> .....	57
<b>Figura 28.</b> <i>Arduino UNO y el cable USB.</i> .....	58
<b>Figura 29.</b> <i>Requerimientos para voltajes de entrada para 1 y 0 lógico.</i> .....	59
<b>Figura 30.</b> <i>Símbolo de fotorresistencia.</i> .....	60
<b>Figura 31.</b> <i>Luxes vs resistencia del sensor LDR</i> .....	60
<b>Figura 32.</b> <i>Símbolo de diodo LED</i> .....	61
<b>Figura 33.</b> <i>Sensor ultrasónico</i> .....	62
<b>Figura 34.</b> <i>Emisión y recepción de luz infrarroja en medidor de proximidad.</i> .....	63
<b>Figura 35.</b> <i>Sensor óptico 4235A.</i> .....	63
<b>Figura 36.</b> <i>Final de carrera.</i> .....	64
<b>Figura 37.</b> <i>Motor eléctrico elemental.</i> .....	65
<b>Figura 38.</b> <i>Circuito equivalente de un motor de corriente directa.</i> .....	66
<b>Figura 39.</b> <i>Torque vs. Velocidad, corriente de un motor c.d. de imanes permanentes.</i> .68	
<b>Figura 40.</b> <i>Configuración de un display de 4 dígitos de 7 segmentos con anodo</i> .....	70
<b>Figura 41.</b> <i>Chopper</i> .....	71

<b>Figura 42.</b> <i>Configuración electrónica de un puente H</i> .....	73
<b>Figura 43.</b> <i>Método científico</i> .....	75
<b>Figura 44.</b> <i>Medición de la masa de una pieza de cuero</i> .....	77
<b>Figura 45.</b> <i>Velocidad del puente a lo largo de su recorrido</i> .....	79
<b>Figura 46.</b> <i>Área medida y no medida</i> .....	82
<b>Figura 47.</b> <i>Estructura</i> .....	83
<b>Figura 48.</b> <i>Espesores de vidrio templado según su aplicación</i> .....	84
<b>Figura 49.</b> <i>Características de tubo estructural cuadrado</i> .....	85
<b>Figura 50.</b> <i>Diagrama de cuerpo libre de viga del puente de sensores</i> .....	86
<b>Figura 51.</b> <i>Momento flector en la mitad de la viga</i> .....	87
<b>Figura 52.</b> <i>Momento flector a lo largo de la viga del puente de sensores</i> .....	87
<b>Figura 53.</b> <i>Dimensiones de vidrio templado</i> .....	90
<b>Figura 54.</b> <i>Características de perfiles en "U"</i> .....	91
<b>Figura 55.</b> <i>Máquina medidora de superficies</i> .....	93
<b>Figura 56.</b> <i>Puente de sensores</i> .....	93
<b>Figura 57.</b> <i>Características de tubo estructural rectangular</i> .....	95
<b>Figura 58.</b> <i>Diagrama de cuerpo libre de viga larga</i> .....	96
<b>Figura 59.</b> <i>Momento flector en la mitad de la viga larga</i> .....	97
<b>Figura 60.</b> <i>Momento flector a lo largo de la viga larga de la estructura</i> .....	97
<b>Figura 61.</b> <i>Diagrama de cuerpo libre de la viga corta de la estructura</i> .....	98
<b>Figura 62.</b> <i>Momento flector de la viga corta</i> .....	99

<b>Figura 63.</b> <i>Momento flector a lo largo de la viga corta.</i> .....	100
<b>Figura 64.</b> <i>Configuración de riel y ruedas.</i> .....	103
<b>Figura 65.</b> <i>Fuerza radial resultante en cada rodamiento.</i> .....	103
<b>Figura 66.</b> <i>Datos para seleccionar rodamientos de una hilera de bola.</i> .....	105
<b>Figura 67.</b> <i>Sistema cadena piñón.</i> .....	106
<b>Figura 68.</b> <i>Diagrama de cuerpo libre del puente de sensores.</i> .....	107
<b>Figura 69.</b> <i>Dimensiones y características de cadenas.</i> .....	108
<b>Figura 70.</b> <i>Divisor de voltaje para cada fotorresistencia.</i> .....	110
<b>Figura 71.</b> <i>Circuito de diodos LED.</i> .....	112
<b>Figura 72.</b> <i>Arduino, puente H, motor, pulsadores, finales de carrera y fuente cd.</i> .....	116
<b>Figura 73.</b> <i>Conexión del sensor Herradura.</i> .....	116
<b>Figura 74.</b> <i>Estructura metálica.</i> .....	117
<b>Figura 75.</b> <i>Estructura y puente de sensores.</i> .....	117
<b>Figura 76.</b> <i>Sistema de transmisión cadena piñón.</i> .....	118
<b>Figura 77.</b> <i>Ruedas y riel.</i> .....	118
<b>Figura 78.</b> <i>Puente de sensores.</i> .....	119
<b>Figura 79.</b> <i>Acondicionamiento de sensores fotorresistivos.</i> .....	119
<b>Figura 80.</b> <i>Conexión de botoneras, display y puente H.</i> .....	120
<b>Figura 81.</b> <i>Conexión de puente H y arduino.</i> .....	120
<b>Figura 82.</b> <i>Conexión de display y arduino</i> .....	121
<b>Figura 83.</b> <i>Hilera de sensores fotorresistivos.</i> .....	121



<b>Figura 84.</b> <i>Hilera de Diodos LED.</i> .....	122
<b>Figura 85.</b> <i>Caja de control, botones y display.</i> .....	122
<b>Figura 86.</b> <i>Medición del patrón circular por tres ocasiones sin reiniciar el conteo. ....</i>	129

## Índice de ecuaciones

<b>Ecuación 1.</b> <i>Media</i> .....	34
<b>Ecuación 2.</b> <i>Desviación estándar</i> .....	34
<b>Ecuación 3.</b> <i>Ley de ohm</i> .....	36
<b>Ecuación 4.</b> <i>Módulo De Sección Mínimo</i> .....	43
<b>Ecuación 5.</b> <i>Esfuerzo máximo</i> .....	45
<b>Ecuación 6.</b> <i>Módulo de sección</i> .....	45
<b>Ecuación 7.</b> <i>Radio de giro en una columna</i> .....	46
<b>Ecuación 8.</b> <i>Longitud efectiva de una columna</i> .....	47
<b>Ecuación 9.</b> <i>Relación de esbeltez</i> .....	47
<b>Ecuación 10.</b> <i>Relación de esbeltez de transición</i> .....	47
<b>Ecuación 11.</b> <i>Ecuación de euler para carga crítica</i> .....	48
<b>Ecuación 12.</b> <i>Ecuación de j. B. Jhonson para carga crítica</i> .....	48
<b>Ecuación 13.</b> <i>Carga admisible</i> .....	48
<b>Ecuación 14.</b> <i>Carga líneal por el comcepto de áreas tributarias</i> .....	49
<b>Ecuación 15.</b> <i>Relación entre carga y duración del rodamiento</i> .....	56
<b>Ecuación 16.</b> <i>Divisor de voltaje</i> .....	56
<b>Ecuación 17.</b> <i>Tensión aplicada al inducido</i> .....	66
<b>Ecuación 18.</b> <i>F. C. E. M</i> .....	67
<b>Ecuación 19.</b> <i>Par electromagnético</i> .....	67
<b>Ecuación 20.</b> <i>Potencia mecánica</i> .....	67

<b>Ecuación 21.</b> <i>Imanación lineal</i> .....	67
<b>Ecuación 22.</b> <i>Voltaje de suministro</i> .....	71
<b>Ecuación 23.</b> <i>Ciclo de trabajo</i> .....	72
<b>Ecuación 24.</b> <i>Corriente de suministro</i> .....	72

## Resumen

La fábrica de calzado Calzado Javier usa una gran variedad de materiales para fabricar sus productos, entre ellos está el cuero vacuno que por su origen animal tiene un contorno irregular. La fábrica requiere conocer la cantidad de cuero, la cual se mide en decímetros cuadrados particularmente. Los métodos manuales usados son muy tediosos así que en el presente proyecto se propone el diseño de una máquina y su prototipo que realice la medición de esta materia prima que es el cuero. La máquina consiste en una estructura metálica que soporta un vidrio a forma de mesa de trabajo y un puente de sensores fotoresistivos que se mueve a lo largo de esta mesa detectando la presencia del cuero. Además tiene un tablero de control en el que se muestra en un display de 7 segmentos de 4 dígitos la cantidad de decímetros cuadrados que va sensando, en el tablero de control también se encuentran pulsadores con los que se puede empezar el movimiento hacia un lado u otro de la mesa; detener el movimiento y resetear el conteo de los decímetros cuadrados. La programación de la máquina así como el control del movimiento se lo realiza desde dos arduinos Mega. Para realizar el movimiento se usa una cadena y piñón y un motor de corriente continua. Esta máquina tiene un rango de error menor al 5%. Se realizaron pruebas de medición a un patrón circular de 7.4 decímetros de diámetro teniendo como resultado una medida con un error menor al 5%.

Palabras clave:

- **ERROR EN MEDICIÓN DE SUPERFICIES**
- **PROTOTIPO DE MEDIDORA DE SUPERFICIES**
- **AUTOMATIZACIÓN DE MEDIDORA DE SUPERFICIES**

## **Abstract**

The Calzado Javier shoe factory uses a wide variety of materials to manufacture its products, among them is cowhide which, due to its animal origin, has an irregular contour. The factory requires knowing the amount of leather, which is measured in square decimeters in particular. The manual methods used are very tedious, so in this project we propose the design of a machine and its prototype that performs the measurement of this raw material that is leather. The machine consists of a metallic structure that supports a glass in the form of a work table and a bridge of photoresistive sensors that moves along this table detecting the presence of leather. In addition, it has a control panel in which the number of square decimeters that it is sensing is shown on a 4-digit 7-segment display, on the control panel there are also buttons with which you can start the movement to one side or another of the table; stop the movement and reset the count of square decimetres. The programming of the machine as well as the movement control is carried out from two Mega Arduinos. To perform the movement, a chain and pinion and a DC motor are used. This machine has an error range of less than 5%. Measurement tests were performed on a circular pattern of 7.4 decimeters in diameter, resulting in a measurement with an error under 5%.

Key words:

- **MEASUREMENT OF SURFACES ERROR**
- **PROTOTYPE IN MEASUREMENT OF SURFACES**
- **MEASUREMENT OF SURFACES AUTOMATION**

## Capítulo I

### 1. Metodología de la investigación

#### 1.1. Planteamiento del problema

La empresa productora de calzado “Calzado Javier” no cuenta con un sistema que cuantifique el consumo de una de sus principales y más costosas materias primas, el cuero. La causa del problema radica en que el proceso de medición manual es tedioso, demorado o impreciso debido a la forma irregular del cuero y de las piezas cortadas. Esto imposibilita la medición de la cantidad de cuero existente en el producto final y por ende, afecta el precio de comercialización del calzado. La empresa puede verse perjudicada si es que el producto se comercializa a un precio menor que no incluya del costo real de producción, asimismo, si el precio es elevado se merma la competitividad de la empresa.

#### 1.2. Antecedentes

En curtiembres realizan la medición del cuero en una máquina llamada medidora, las bandas son extendidas en cuerdas plásticas acopladas a dos rodillos y mediante una palanca se mueven los rodillos para tener la medida exacta con la ayuda de un sistema automático, para luego ser clasificado de acuerdo al grosor y finalmente empacar en paquetes de 10 cueros. (Camacho, 2013). A principios de siglo, en tanto se realizaban investigaciones tecnológicas en el sector de curtidos se percibió la necesidad de poseer métodos para la medición de cualidades de la piel, tanto para valorar las transacciones comerciales como para la cuantificación. (Baiza Adriana, 2015). El cuero se comercializa por superficie, esta superficie se mide en pies cuadrados o en decímetros cuadrados. Debido a la forma irregular del cuero se usan métodos manuales y también mecanizados, la tecnología permite poner a disposición de máquinas electrónicas de gran precisión (Santana, 2015).

Alberto Vladimir Paredes Castro en su tesis de grado “SISTEMA ELECTRÓNICO DE CORTE DE PIEZAS EN CUERO NUBUCK PARA LA CONFECCIÓN DE CALZADO” realiza una máquina de corte con dos ejes de libertad usando arduino, motores a pasos, drivers y una estructura hecha con acero, la cual se utiliza en la industria del cuero con un porcentaje de error menor al 5% en la comparación del perímetro de las piezas cortadas de cuero lo cual indica no hay repercusión en los procesos de fabricación del calzado.

Baiza Adriana en “IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO MECÁNICO PARA MEDIR LA RESISTENCIA A LA ROTURA DE LA FLOR DE CUERO (LASTÓMETRO)” concluye que dentro de los protocolos de determinación de características del cuero se implementa el prototipo de la máquina medidora de resistencia a la rotura con lo cual resulta competitiva para la industria nacional.

Hidalgo María concluye en “DISEÑO DE UN MODELO PARA MEDIR LA PRODUCTIVIDAD PARA UNA EMPRESA MANUFACTURERA DE CUEROS” que en la industria artesanal del calzado no cuentan con modelos de productividad que permitan medir claramente los insumos y el desperdicio de los diferentes procesos de la empresa.

### **1.3. Justificación**

En el Ecuador se busca un proceso de transformación productiva que permita avanzar hacia un mayor crecimiento y equidad, que son tareas que dependen del capital humano de los países, de la capacidad de las personas para resolver nuevos problemas mediante el ejercicio de conocimientos, competencias y habilidades adquiridas que elevan su productividad y su calidad de vida. En la industria de cuero y calzado de la provincia de Tungurahua se necesita elevar la efectividad organizacional de manera tal que contribuya al desarrollo de las estrategias en el cambio de la matriz

productiva (Erazo & Narváez , 2019), el cuero es el material más costoso del calzado es absolutamente importante manejar un sistema de cálculo del consumo del cuero (Sevilla , 2015) para lo que se plantea como objetivo el aporte de una solución electromecánica al problema de la empresa artesano-industrial Calzado Javier.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Diseñar y construir un prototipo de una máquina medidora de superficies de cuero para la contabilización del gasto del material en la empresa Calzado Javier.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Establecer la metodología, los lineamientos teóricos y de campo para desarrollar un prototipo de una máquina medidora de superficies de cuero.
- Diseñar el prototipo de la máquina medidora de superficies de cuero según datos obtenidos en el primer objetivo.
- Construir el prototipo de la maquina medidora de superficies.
- Verificar que el prototipo cumpla con las especificaciones requeridas por el usuario.



## Capítulo II

### 2. Marco teórico

#### 2.1. Antecedentes investigativos

##### 2.1.1. *Medición de la superficie de cuero sin equipos eléctricos*

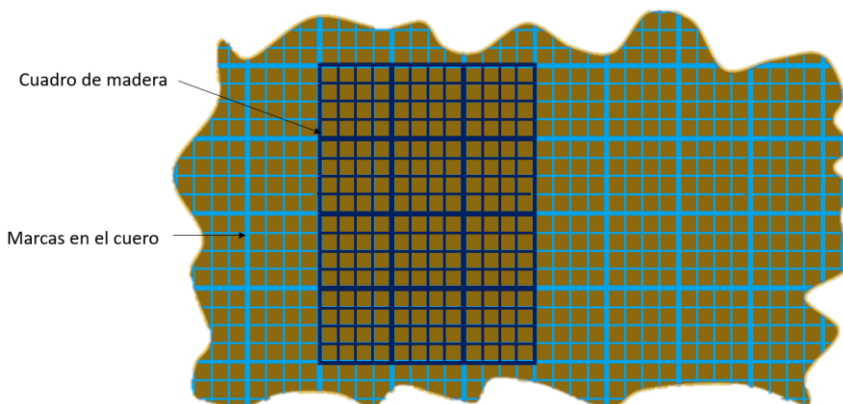
El cuero tiene formas y espesores irregulares a causa de su procedencia natural como consecuencia de las imperfecciones generadas durante el proceso de curtido. Para la determinación de la superficie se usan métodos manuales que se describen a continuación.

#### **Método de cuadro**

Consiste en un cuadro de madera de 3 x 4 pies con alambres que van separados 1 pie, y a 0.25 pies, se rayan cuadros sobre el cuero, se mueve el aparato y se suman los cuadros para obtener el área total del cuero. Los alambres dejan marcas en la pieza de cuero como se muestra en la figura 1, si no se realiza con cuidado pueden dejar marcas permanentes o roturas en el cuero, por lo cual se pueden generar desperdicios de material.

## Figura 1.

*Método de cuadro.*



## Recortado sobre papel.

Este método consiste en cortar una hoja de papel según el contorno del cuero que se quiere obtener el área, luego el papel con la forma del cuero es pesado en una balanza y con relación peso/área del papel se calcula el área total, no se puede realizar el cálculo pesando el cuero ya que éste cuenta con espesores irregulares (cueronet.com, 2009).

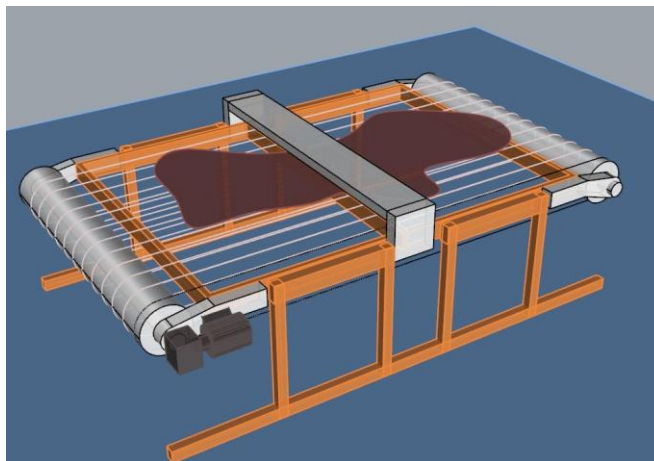
### 2.1.2. *Conteo de cuero con máquinas*

#### Máquina medidora con rodillos

El cuero es desplazado mediante un mecanismo de rodillos e hilos de nylon que hacen la función de una banda transportadora como se muestra en la figura 2, los sensores se encuentran estáticos y monitorean la presencia o no de la piel, esta información se contabiliza haciendo uso de un microcontrolador y se muestra el área en unidades de metros al cuadrado o pies al cuadrado en una pantalla gráfica, además tiene un error de 1% en superficies superiores a 0.6 metros cuadrados (Master equipamiento industrial, 2015).

**Figura 2.**

*Máquina medidora de superficies con sensores estáticos.*

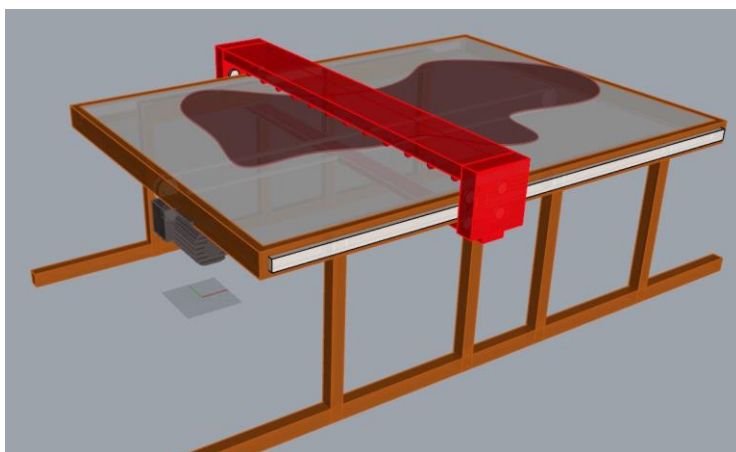


### **Máquina medidora sin rodillos**

Esta máquina mantiene el cuero estático mientras que los sensores se mueven a lo largo de una mesa como se muestra en la figura 3, los sensores monitorean la presencia o no de la piel lo que se contabiliza haciendo uso de un microcontrolador y se muestra el área en una pantalla gráfica en unidades de decímetros o pies cuadrados. Tiene una apreciación mínima de 0.01 pies cuadrados. (Muñoz Irlles, 2009)

**Figura 3.**

*Máquina medidora de superficies con sensores móviles.*



### Medición con visión artificial

En la universidad de Ricardo Palma de Perú se usa la aplicación de visión artificial para la obtención del área de una pieza de cuero vacuno, se usa procesamiento computarizado de imágenes. Es necesario tener una referencia del área de cualquier objeto en la fotografía y que el foco de la cámara siempre esté a la misma distancia y perpendicular al plano que se encuentra el cuero. Esta técnica muestra dificultad para tomar el área del cuero vacuno de la raza Holstein que tiene varios colores (Figura 4) entre ellos el color blanco que se confunde con el fondo, y hay que modificar parámetros de textura. (Huamaní Navarrete, 2017)

#### Figura 4.

*Cuero vacuno raza Holstein.*



*Nota.* El cuero holsten tiene dos o más colores. Tomado de (Thuret, 2021)

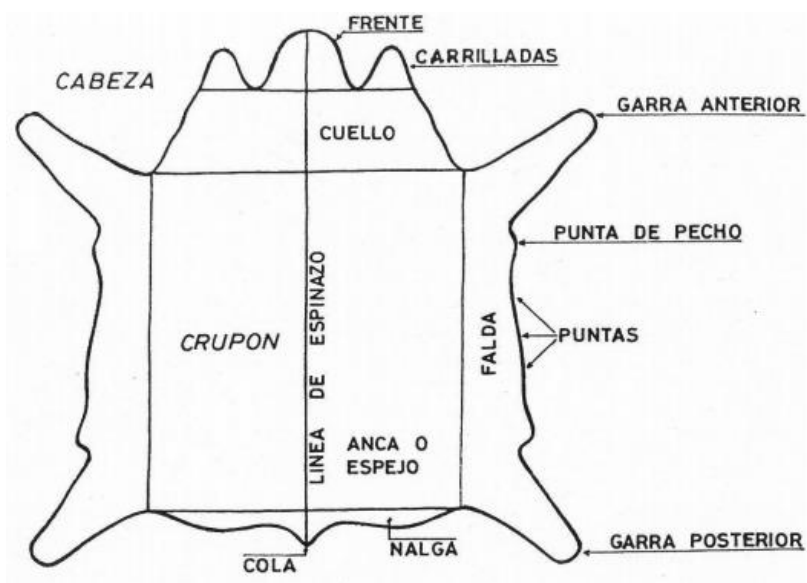
## 2.2. Fundamentación conceptual

### 2.2.1. Cuero

El cuero es el pellejo de los animales después de curtido y preparado para los diferentes usos que se aplica en la industria de la piel (RAE, 2021) . La piel es uno de los principales componentes en el calzado; el cuero tiene una forma irregular y es un factor que afecta su aprovechamiento. Una pieza de cuero vacuno tiene diferentes partes aprovechables de acuerdo a su calidad siendo la principal el crupón por la ausencia de arrugas y estrías. En la figura 5 se muestran las partes de una pieza de cuero.

**Figura 5.**

*Nombres de las partes de una pieza de cuero.*



*Nota.* Tomado de (Sevilla , 2015).

Los procesos que intervienen en la elaboración del calzado son el corte del cuero, aparado, plantado y terminado. El corte de cuero es un proceso que requiere de patrones de metal o cartón prensado con la forma de las piezas que constituyen el

calzado. El corte se lo realiza a mano con una cuchilla o con troqueles (Sevilla , 2015). En la figura 6 se muestra el corte manual con una cuchilla de la silueta del patrón sobre el cuero.

**Figura 6.**

*Corte del cuero con patrón de cartón corrugado*



**2.2.2. Múltiplos y submúltiplos en el sistema internacional**

Se denomina múltiplos de una unidad que se obtiene mediante el producto de esta unidad por determinadas potencias de 10 con exponente entero y positivo, si estos exponentes son negativos se determinan los submúltiplos de la unidad. En el Sistema Internacional se usa un prefijo que se aplica delante del nombre de la unidad de acuerdo a la tabla 1. (Sánchez Pérez & Vicente-Portera, 1996)

**Tabla 1.***Múltiplos y submúltiplos*

MÚLTIPLOS			SUBMÚLTIPLOS		
Prefijo	Símbolo	Factor	Prefijo	Símbolo	Factor
<b>deca</b>	da	10	deci	d	10 <sup>-1</sup>
<b>hecto</b>	h	10 <sup>2</sup>	centi	c	10 <sup>-2</sup>
<b>kilo</b>	k	10 <sup>3</sup>	mili	m	10 <sup>-3</sup>
<b>mega</b>	M	10 <sup>6</sup>	micro	μ	10 <sup>-6</sup>
<b>giga</b>	G	10 <sup>9</sup>	nano	n	10 <sup>-9</sup>
<b>tera</b>	T	10 <sup>12</sup>	<b>pico</b>	<b>p</b>	10 <sup>-12</sup>

**2.2.3. Magnitud básica.**

Magnitudes que son funcionalmente independientes definidas por convención en el Sistema Internacional según la tabla 2.

**Tabla 2.***Magnitudes básicas, unidades y símbolos*

MAGNITUD FÍSICA BÁSICA	UNIDAD	SÍMBOLO DE LA UNIDAD
<b>longitud</b>	metro	m
<b>masa</b>	kilogramo	kg
<b>tiempo</b>	segundo	s
<b>temperatura</b>	kelvin	kg
<b>intensidad de corriente eléctrica</b>	amperio	A
<b>cantidad de sustancia</b>	mol	mol
<b>intensidad luminosa</b>	candela	cd

**2.2.4. Magnitud derivada**

Todas las magnitudes que corresponden a un sistema de magnitudes pueden definirse por medio de magnitudes básicas. Ejemplo: la velocidad se mide con la relación de una longitud y una unidad de tiempo, siendo su unidad derivada m/s usando las magnitudes básicas metro [m] y segundos [s] (Jiménez Rodríguez, 2007).

### **2.2.5. Valor verdadero convencional**

Es el valor dado una magnitud aceptada como poseedora de una incertidumbre adecuada para un propósito dado. Ejemplo: Para medir la velocidad angular con un error de  $\pm 5\%$  se usa un instrumento que es verificado con otro instrumento con un error de  $\pm 1.5\%$  el cual es el patrón aceptado como verdadero para los fines propuestos. (Jiménez Rodríguez, 2007)

### **2.2.6. Superficie**

Magnitud que expresa la extensión en dos dimensiones, longitud y anchura, cuya unidad en el sistema internacional es el metro cuadrado. (RAE, 2021)

### **2.2.7. Medición**

Determina la existencia o magnitud de una variable. Los instrumentos de medición incluyen todos los dispositivos usados directa o indirectamente para este propósito. (Díaz Murillo , 2008)

### **2.2.8. Resolución**

Es la diferencia más pequeña entre las dimensiones que puede detectar un instrumento de medición (Kalpakjian & Schmid, 2014).

### **2.2.9. Error**

El error de un proceso se define como la diferencia entre la lectura leída y la dimensión especificada.

Error = Lectura – Dimensión Especificada (Díaz Murillo , 2008)

### **2.2.10. Tolerancia dimensional**

La tolerancia es la variación permisible de una dimensión, la tolerancia es inevitable ya que es prácticamente imposible e innecesario fabricar objetos con un error igual a cero. Mientras más demandante sea la tolerancia mayor costo tiene la fabricación o realización de un objeto de medidas con un error más pequeño. La



tolerancia se usa para estimar el grado de apriete que tienen dos piezas que van a ser encajadas pudiendo tener un ajuste con mayor o menor holgura o apriete entre las piezas que embonan. (Kalpakjian & Schmid, 2014)

### **2.2.11. Exactitud**

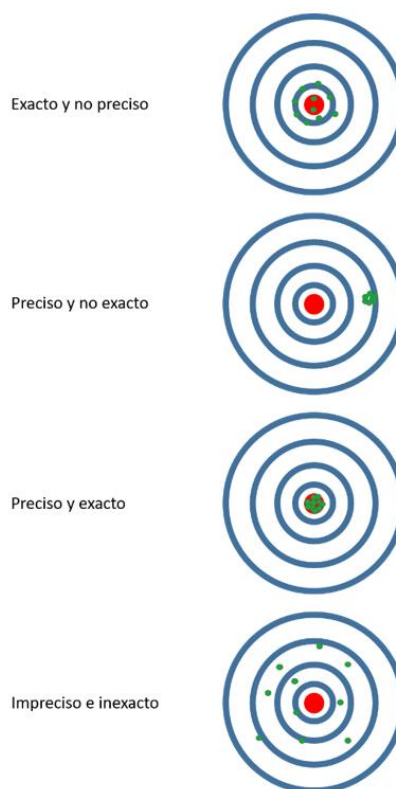
Nivel de coincidencia entre la medición y la magnitud real.

### **2.2.12. Precisión**

Grado en que un instrumento repite la medición del mismo patrón. Generalmente es expresada en términos numéricos mediante la varianza que indica una menor distancia entre cada uno de los resultados (Kalpakjian & Schmid, 2014). La figura 7 representa la exactitud y la precisión de los lanzamientos de dardos al blanco.

### **Figura 7.**

*Representación de precisión y exactitud con el lanzamiento de dardos.*



### 2.2.13. Media

Es el valor promedio de un conjunto de datos numéricos, se calcula con la siguiente expresión:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k$$

**Ecuación 1.**

*Media*

Nota. (Escamilla Esquivel, 2014)

Donde:

$\bar{q}$  es la media de las observaciones independientes

$q_k$  es las observaciones independientes

$n$  es la cantidad de observaciones (Escamilla Esquivel, 2014)

### 2.2.14. Desviación estándar

Caracterización de la variabilidad de los valores observados o la dispersión alrededor de la media. (Escamilla Esquivel, 2014)

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2$$

**Ecuación 2.**

*Desviación estándar.*

Nota. (Escamilla Esquivel, 2014)

Donde:

$s$  es la desviación estándar

$q_k$  es las observaciones independientes

$n$  es la cantidad de observaciones

$\bar{q}$  es la media de las observaciones independientes

### **2.2.15. Incertidumbre**

La incertidumbre o también conocido como inexactitud es el intervalo entre los valores mayor y menor que da un instrumento al medir una dimensión.

Incertidumbre = Valor Máximo – Valor mínimo (Díaz Murillo , 2008)

### **2.2.16. Prototipo**

Un prototipo puede ser un servicio, producto, modelo o máquina en pruebas o en proceso de idealización que tiene como objetivo la demostración de cualquier tipo.

(Jiménez Castro & Sarraipa , 2019)

### **2.2.17. Regla del 10**

Un instrumento, según esta regla, debe ser 10 veces más exacto que la tolerancia del objeto que se mide. (Kalpakjian & Schmid, 2014)

### **2.2.18. Patrón.**

Instrumento de referencia que se usa como estándar de medición. (RAE, 2021)

### **2.2.19. Calibración**

Es el procedimiento con el cual se prepara un instrumento para que de lecturas exactas contra un patrón de referencia. (Kalpakjian & Schmid, 2014)

### **2.2.20. Piezoelectricidad**

Capacidad de un material para producir voltaje a partir de una fuerza aplicada a dicho material, también se presenta de manera inversa, es decir, se presenta una deformación en el material al aplicar un voltaje. (Corona Ramírez, Abarca Jiménez, & Mares Carreño, 2014)

### **2.2.21. Voltaje**

Fuerza que empuja a los electrones a través de un conductor, su unidad es el Voltio [V].

### 2.2.22. Corriente

Movimiento continuo de electrones a través de un conductor, su unidad es el Amperio [A]

### 2.2.23. Resistencia.

Oposición al paso de los electrones en un circuito eléctrico, su unidad es el ohmio [ $\Omega$ ]. Y su símbolo se representa como en la figura 8.

#### Figura 8.

*Símbolo de resistencia eléctrica*



### 2.2.24. Ley de ohm

La intensidad de corriente que circula por un conductor es directamente proporcional al voltaje que lo origina e inversamente proporcional a la resistencia.

(Villaseñor Gómez & Hernández Aguirre, 2013)

$$I = \frac{V}{R}$$

**Ecuación 3.**

*Ley de ohm.*

*Nota.* (Villaseñor Gómez & Hernández Aguirre, 2013)

Donde:

$I$  es la intensidad [A]

$V$  es el voltaje [V]

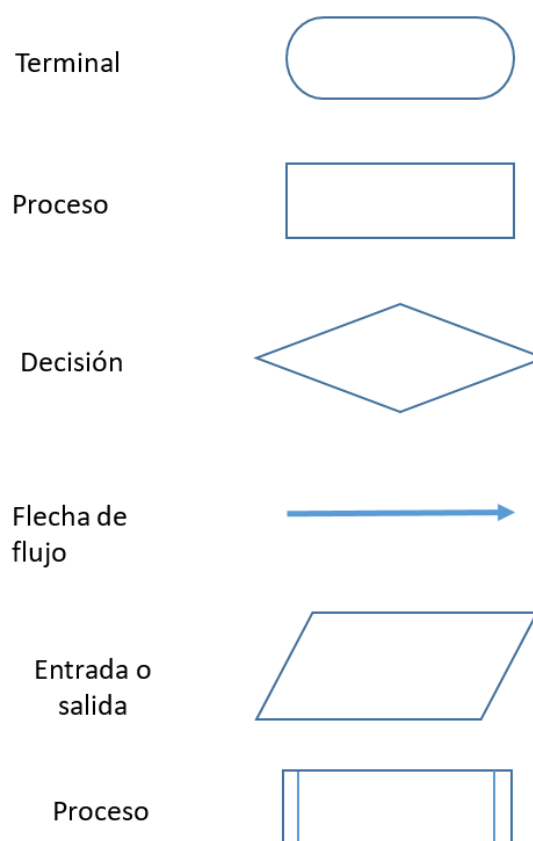
$R$  es la resistencia [ $\Omega$ ]

### 2.2.25. Diagrama de flujo

Es una herramienta metodológica usada para especificar un algoritmo de solución de un problema cualquiera, sea de ingeniería, matemático o segmentos de programa o módulos que ejecutan tareas específicas. En la figura 9 se muestran los símbolos empleados en diagramas de flujo (Manchaca García, 2002).

#### Figura 9.

*Símbolos de diagramas de flujo.*



## 2.3. Fundamentación teórica

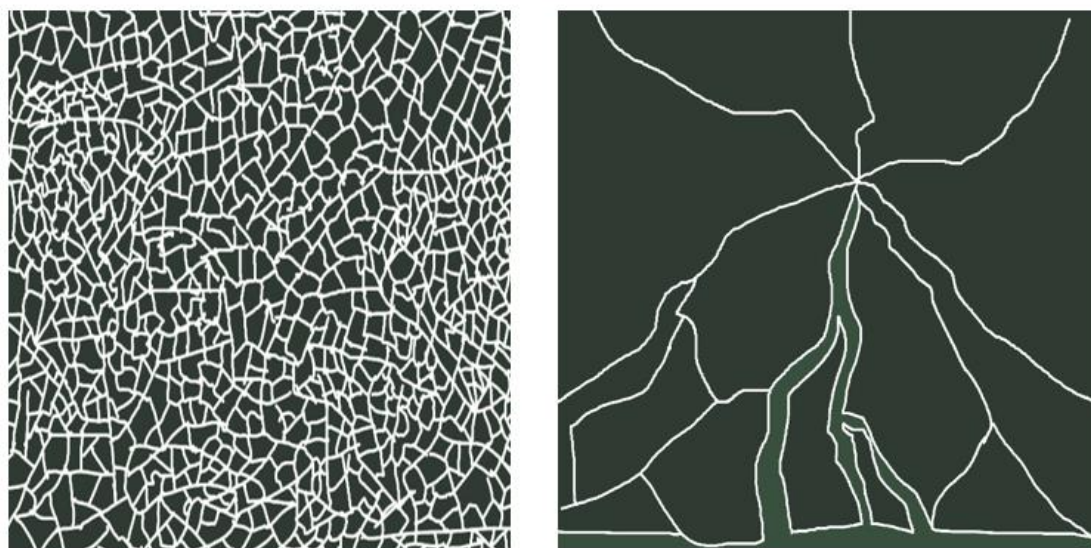
### 2.3.1. Vidrio templado

Vidrio templado se denomina al vidrio inducido a una tensión permanente de compresión por un proceso de calentamiento y luego un enfriamiento para dar una mayor resistencia térmica y mecánica y cuya fragmentación consiste en muchos

pedazos siendo incapaz de hacer heridas profundas. (Cerezo Miguel, 2015). En la figura 10 muestra a fragmentación del vidrio templado en comparación de la fragmentación del vidrio no templado. La densidad del vidrio es de  $2500 \text{ kg/m}^3$ .

**Figura 10.**

*Fragmentación del vidrio templado y del vidrio sin templar.*



La norma técnica Ecuatoriana INEN 2 067:1996 (Anexo 1) muestra los usos generales para el uso del vidrio templado plano, así como la determinación del espesor de acuerdo a las dimensiones de largo y longitud.

Con una carga distribuida en una superficie de  $2.5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$  y teniendo un apoyo simple en los cuatro lados restringiendo el movimiento solamente en dirección perpendicular a la placa de vidrio. Para cargas de  $655 \text{ Pa}$  en vidrios recocidos se estima que deben utilizarse vidrios con espesores de al menos  $4 \text{ mm}$ . (Martínez González, 2019)

Los procedimientos de tratar el vidrio son:

En el recocido se trata de eliminar el conjunto de tensiones que se han formado en el vidrio durante el proceso de fabricación, eliminándose las tensiones como se efectúa por medio de variaciones de temperatura lentas y controladas (Bulbuena, 2018). En el templado, es al contrario, se trata de crear fuertes tensiones 'inteligentes' para darle al vidrio mayor resistencia para su utilización (Bulbuena, 2018).

### **Figura 11.**

*Vidrio templado.*



*Nota.* Tomado de (Bulbuena, 2018).

Los tipos de templado son:

Químico, el cual se da mediante el sumergimiento en una solución salina del vidrio a temperaturas elevadas, los cuales tienen altas concentraciones de iones de potasio, esta clase de materiales son empleados en laboratorios donde se exige una gran capacidad mecánica del vidrio (Bulbuena, 2018).

Térmico, consiste en recalentar los vidrios cortados, tratados con capas especiales hasta temperaturas aproximadas a los 700 °C (Bulbuena, 2018).

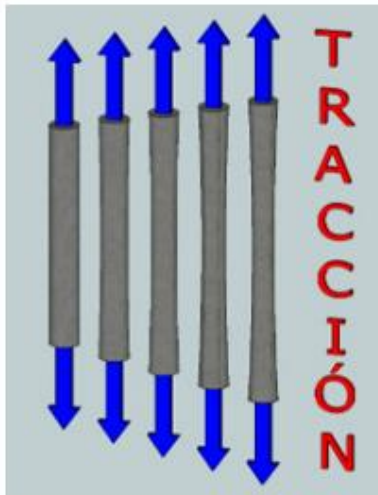
### 2.3.2. Esfuerzos

Esfuerzo es la resistencia interna que ofrece un área o sección del material del que está hecho, al haberle aplicado una fuerza externa. Si la estructura soporta sin tener deformación excesiva o sin romperse, decimos que es una estructura resistente al esfuerzo. En general un esfuerzo es el resultado de la división entre la fuerza aplicada y el área en donde se aplica dicha Fuerza. (Durand Porrás, Morales Herrera, López Carbajal, & Rubio Aldave, 2015) A continuación se describen los tipos de esfuerzo.

**Tracción.** - Es un esfuerzo en el sentido del eje. Tiende a alargar las fibras.

#### Figura 12.

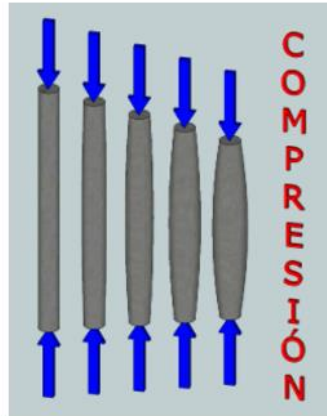
*Esfuerzo a tracción*



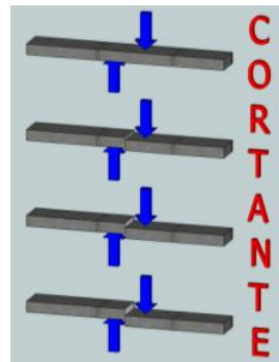
*Nota.* Tomado de (López Morte, 2020)

**Compresión.** Es un esfuerzo en el sentido del eje, es una tracción negativa. Las fibras se acortan.



**Figura 13.***Esfuerzo a compresión.**Nota.* Tomado de (López Morte, 2020)

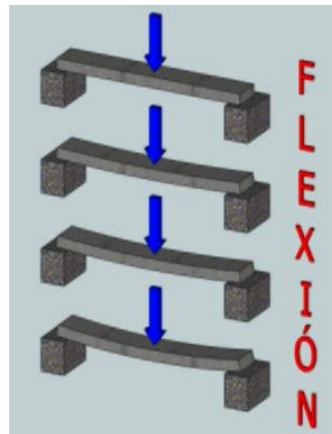
**Cortadura.** La fuerza es normal al plano que contiene el eje longitudinal y tiende a cortar las piezas mediante desplazamiento de las secciones afectadas.

**Figura 14.***Esfuerzos cortantes.**Nota.* Tomado de (López Morte, 2020)

**Flexión.** La fuerza es normal al plano que contiene el eje longitudinal y el cuerpo se fleja, alargándose unas fibras y acortándose otras.

**Figura 15.**

*Esfuerzo a flexión*

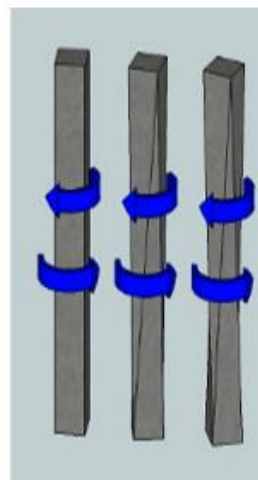


*Nota.* Tomado de (López Morte, 2020)

**Torsión.** Las cargas tienden a retorcer las piezas.

**Figura 16.**

*Esfuerzo a torsión.*



*Nota.* Tomado de (López Morte, 2020)

### 2.3.3. Análisis de vigas

Las vigas son elementos primaticos largos y rectos que generalmente soportan cargas transversales. Estas vigas que pueden ser de diferentes tipos según la forma en que estén apoyadas se someten a cargas puntuales o distribuidas, en la figura 18 se muestra una viga simplemente apoyada soportando una carga distribuida. Estas cargas producen un esfuerzo cortante y un momento flexor en la viga, siendo éste último el criterio dominante para el diseño de una viga. Debido a que se considera el peso de la misma viga como una carga, primero se selecciona la viga y para un diseño seguro se comprueba que el módulo de sección de la viga sea mayor al módulo de sección requerido por  $S_{mín}$  donde:

$$S_{mín} = \frac{|M|_{máx}}{\sigma_{perm}}$$

#### **Ecuación 4.**

*Módulo de sección mínimo.*

*Nota. (Beer & Jhonston, 2010)*

$|M|_{máx}$  es el Momento flexor máximo en la viga

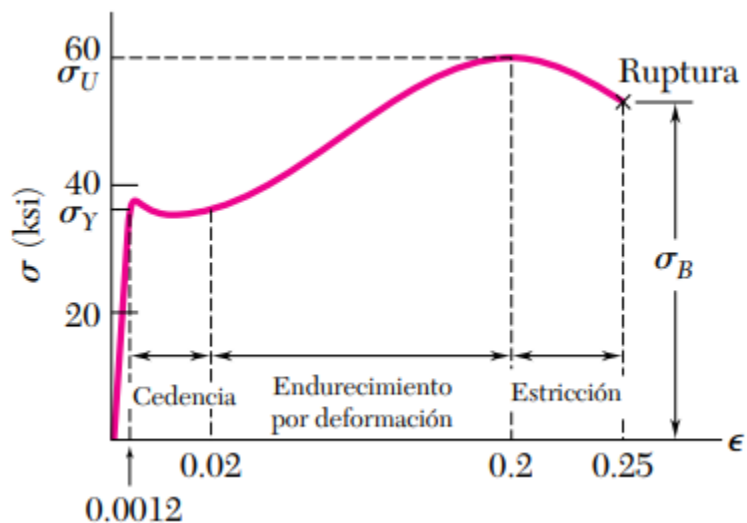
$\sigma_{perm}$  es el esfuerzo permisible del material de la viga

$S_{mín}$  es el módulo de sección mínimo

El esfuerzo permitido de un material, se considera el punto en que el que su elasticidad termina, a este punto se lo llama punto de fluencia. En la figura 17 se muestra el diagrama deformación y esfuerzo del acero.

**Figura 17.**

Diagrama esfuerzo deformación del acero al carbono.



Nota. Tomado de (Beer & Jhonston, 2010)

**Tabla 3.**

Características del acero.

Material	Cedencia a tensión, MPa	Módulo de elasticidad, GPa
<b>ASTM A36</b>	250	200
<b>ASTM A709</b>	345	200
<b>ASTM A913</b>	450	200
<b>ASTM A992</b>	345	200
<b>ASTM A709</b>	690	200

Nota. Tomado de (Beer & Jhonston, 2010)

Para determinar el momento flexor máximo se realiza un corte en puntos selectos de ésta y se realiza un diagrama de cuerpo libre en las porciones determinadas para encontrar el momento flector  $M$  y el esfuerzo cortante  $V$  a lo largo de la viga.

Se determina el esfuerzo máximo  $\sigma_m$  con las cargas muertas y vivas que afectan a la viga, lo cual depende de la geometría de sección y del momento flector.

$$\sigma_m = \frac{|M|_{\text{máx}} c}{I} = \frac{|M|_{\text{máx}}}{S}$$

**Ecuación 5.***Esfuerzo máximo.**Nota.* (Beer & Jhonston, 2010)

$|M|$  es el Momento flexor en la viga

$c$  es la distancia desde el centroide hasta el punto más alejado.

$I$  es el momento de inercia alrededor del eje centroide perpendicular al plano del par.

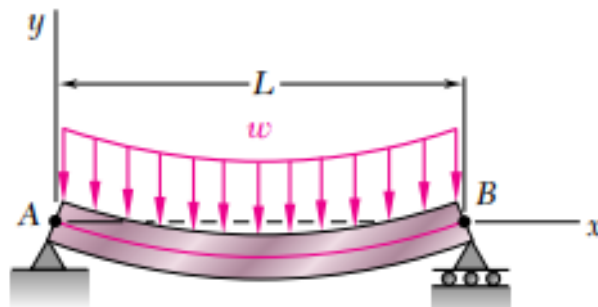
$S$  es el módulo de sección.

Donde:

$$S = \frac{I}{c}$$

**Ecuación 6.***Módulo de sección.**Nota.* (Beer & Jhonston, 2010)**Figura 18.**

*Viga simplemente apoyada.*



*Nota.* Tomado de (Beer & Jhonston, 2010)

**2.3.4. Columnas**

Las columnas son partes usadas en estructuras y elementos de máquinas que resisten cargas axiales a compresión, estos elementos tienden a fallar por inestabilidad

elástica que es una falla donde la columna no tiene la rigidez para mantenerse erguida debajo de la carga y colapsa. Eso es lo que se debe evitar en el diseño de columnas. Las propiedades de la sección transversal de una columna son la sección transversal  $A$ , el momento de inercia  $I$  y el radio de giro de la sección transversal  $r$ . Siendo:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

### Ecuación 7.

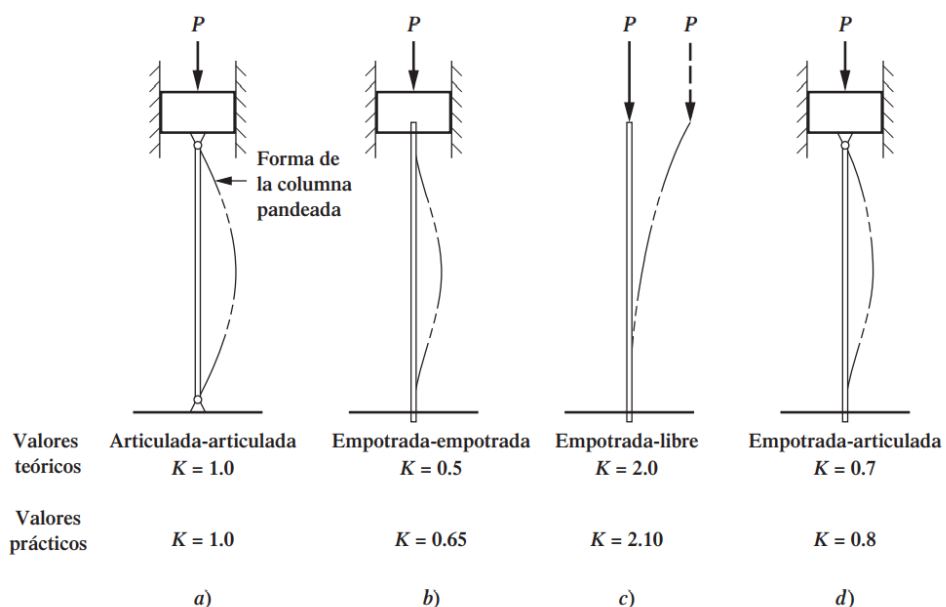
*Radio de giro en una columna.*

*Nota. (Mott R. L., 2009).*

La columna se pandea respecto al eje para el cual el momento de inercia y el radio de giro son mínimos. Existen varios tipos de columnas según el tipo de empotramiento en sus extremos.

### Figura 19.

*Tipos de columna según su empotramiento.*



*Nota.* En la figura a) una columna articulada-articulada, en b) empotrada-empotrada, c) empotrada-libre, d) empotrada-articulada. Tomado de (Mott R. L., 2009).

La longitud efectiva se describe con la siguiente ecuación:

$$L_e = KL$$

**Ecuación 8.**

*Longitud efectiva de una columna.*

*Nota.* (Mott R. L., 2009).

Donde:

$L_e$  es la longitud efectiva de la columna.

$K$  es la constante que depende del extremo fijo.

$L$  es la longitud real de la columna entre los soportes.

La relación de esbeltez se define a continuación:

$$\text{Relación de esbeltez} = \frac{L_e}{r_{\min}} = \frac{KL}{r_{\min}}$$

**Ecuación 9.**

*Relación de esbeltez.*

*Nota.* (Mott R. L., 2009).

Se pueden realizar dos análisis, un análisis para columnas cortas o columnas largas. Para saber si es una u otra se debe estimar con la relación de esbeltez de transición  $C_c$ .

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}}$$

**Ecuación 10.**

*Relación de esbeltez de transición.*

*Nota.* (Mott R. L., 2009).

Donde:

$S_y$  es el límite a la fluencia o cedencia del material.

$E$  es el módulo de elasticidad del material.

Si  $\frac{KL}{r_{\min}} > C_c$  es una columna larga y se usa la ecuación de Euler.

Si  $\frac{KL}{r_{\min}} < C_c$  es una columna corta y se usa la ecuación de J. B. Jhonson.

Para columnas largas la ecuación de Euler calcula la carga crítica  $P_{cr}$ .

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

**Ecuación 11.**

*Ecuación de Euler para carga crítica.*

*Nota.* (Mott R. L., 2009).

Para columnas cortas la ecuación de J. B. Jhonson calcula la carga crítica  $P_{cr}$ .

$$P_{cr} = \hat{A}S_y \left[ 1 - \frac{S_y \left( \frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

**Ecuación 12.**

*Ecuación de J. B. Jhonson para carga crítica.*

*Nota.* (Mott R. L., 2009).

Un diseño admisible es cuando:

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N}$$

**Ecuación 13.**

*Carga admisible.*

*Nota.* (Mott R. L., 2009).

Donde:

$P_a$  es la carga admisible

$N$  es el factor de seguridad

$\hat{A}$  es el área transversal.

Para aplicaciones en elementos de máquinas se recomienda que el factor de seguridad sea de 3. (Mott R. , Diseño de Elementos de Máquinas, 2006)



### **2.3.5. Distribución de cargas por el concepto de áreas tributarias.**

El área tributaria es la superficie de carga en una estructura, La carga se extiende la mitad a una porción de la viga y la otra mitad a la viga más próxima, por lo tanto la frontera del área tributaria está en un ángulo de 45° como se muestra en la figura 20. Se usa este tipo de método para superficies planas apoyadas en todo su contorno para el cálculo de vigas que la soportan. (MCCORMAC, 2016). La carga distribuida a lo largo de una viga es la carga gravitacional que produce la superficie adyacente a la viga, ya sea calculando el área del trapecio o del triángulo con métodos convencionales de geometría.

$$w_l = \frac{w_s \cdot A_t}{l}$$

#### **Ecuación 14.**

*Carga lineal por el concepto de áreas tributarias.*

*Nota. (MCCORMAC, 2016).*

Donde:

$w_l$  es la carga distribuida por metro lineal

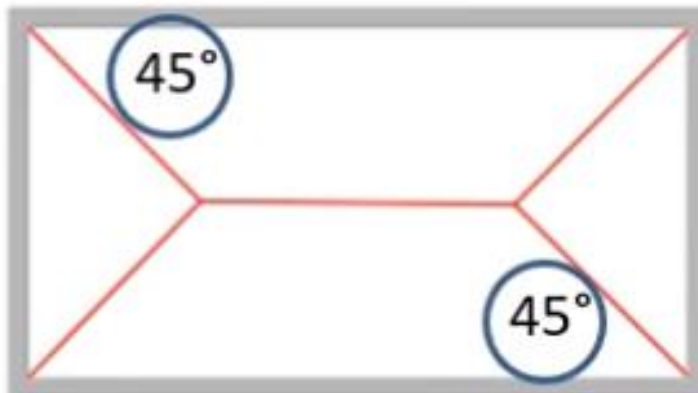
$w_s$  es la carga por metro cuadrado

$A_t$  es el área del trapecio o triángulo adyacente a la viga

$l$  es la longitud de la viga

**Figura 20.**

*Distribución de áreas tributarias para superficies simplemente apoyadas.*



*Nota.* Tomado de (Navarrete, 2018).

### **2.3.6. Soldadura**

Es un proceso de fijación en el cual se realiza la unión de dos o más piezas de un material generalmente metales o termoplásticos, usualmente logrado a través de la coalescencia (fusión)

#### **Soldadura MIG (Metal Inert Gas)**

Es un método de soldadura donde la fusión se produce por calentamiento con arco entre un electrodo de metal de aporte continuo y la pieza. Utiliza gas inerte como envolvente de los metales a soldar para evitar que se oxiden. El acabado, por lo general, es relativamente estético. (Paredes, 2005).

#### **Soldadura de gas tungsteno inerte (TIG)**

Conocido también como GTAW, este tipo de soldadura el cual requiere de un procedimiento con electrodo refractario bajo una atmósfera gaseosa, la cual puede utilizarse con o sin metal de aportación; donde el gas inerte considerado como argón, aísla el material fundido de la atmosfera el cual es útil para evitar su contaminación (Paredes, 2005).

### **Soldadura por arco**

Es conocido como SMAW, se conceptualiza como el proceso en que se unen dos metales mediante una fusión localizada, producida por un arco eléctrico entre un electrodo metálico y el metal base que se desea unir.

Las funciones de este tipo de soldadura son:

- Producir gases protectores para evitar la contaminación atmosférica y gases ionizantes para dirigir y mantener el arco
- Producir escoria para proteger el metal ya depositado hasta su solidificación
- Suministrar materiales desoxidantes, elementos de aleación y hierro en polvo. (Paredes, 2005).

#### **2.3.7. Sistemas de transmisión**

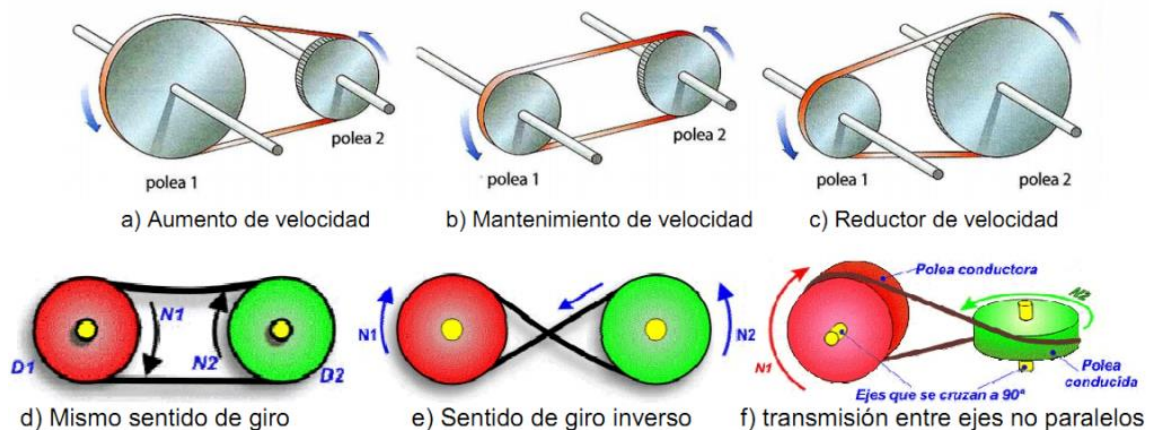
Son aquellos en los que el elemento motriz (o de entrada) y el elemento conducido (o de salida) tienen el mismo o distinto tipo de movimiento.

#### **Sistemas de poleas con correa**

Es un mecanismo compuesto por un conjunto de poleas acopladas por medio de correa con el fin de transmitir fuerza entre las poleas (Montalvo, 2012). En la figura 21 se muestra las diferentes configuraciones que pueden adoptarse para transmitir movimiento.

**Figura 21.**

*Mecanismo de correas con poleas.*



*Nota.* Tomado de (Montalvo, 2012).

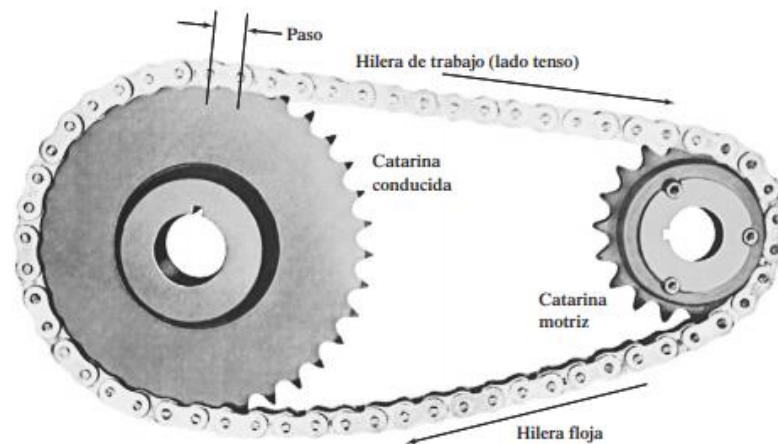
### Cadena piñón

Una cadena es un componente que permite transmitir fuerzas de tensión. Al transmitir fuerza entre ejes la cadena entra en la Catarina. La cadena cuenta con rodillos, por lo que se le conoce también como cadena de rodillos, lo que permite que tenga un coeficiente de fricción muy bajo entre la catarina y la cadena. (Mott, 2009). Consiste en dos ruedas dentadas de ejes paralelos, ubicadas a cierta distancia la una de la otra, las cuales giran simultáneamente por efecto de una cadena metálica o correa dentada engranada a ambas. (Montalvo, 2012)

La longitud de cadena debe ser un múltiplo entero del paso, se recomienda tener un número par de pasos, debe evitarse un colgamiento excesivo por lo que se recomienda que la distancia entre los extremos sea ajustable. En la figura 23 muestra las dimensiones de la catarina.

**Figura 22.**

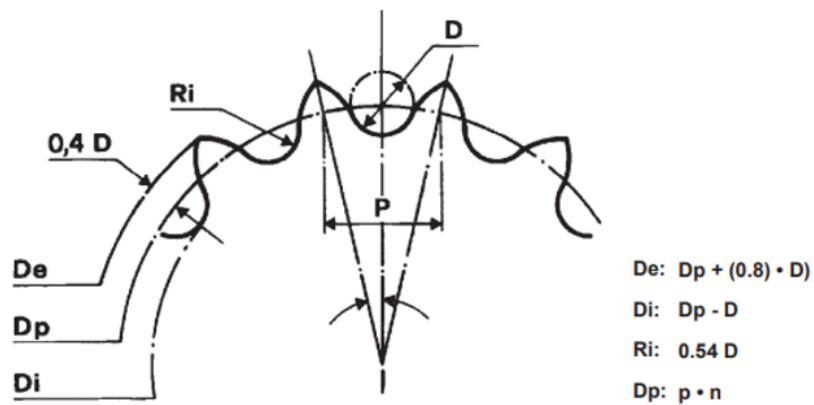
*Transmisión por cadena y catarina.*



*Nota.* Tomado de (Mott, 2009).

**Figura 23.**

*Dimensiones de la catarina.*



- Z:** N. dientes rueda.
- p:** Paso de la cadena.
- D:** Diámetro rodillo.
- Ri:** Rayo cavidad.
- De:** Diámetro externo.
- Dp:** Diámetro primitivo.
- Di:** Diámetro interno.

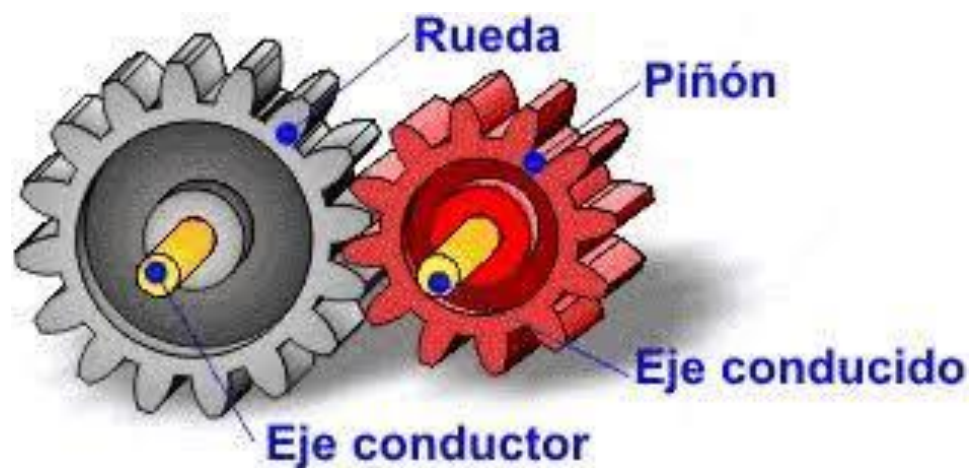
*Nota.* Tomado de (TransLink, 2006).

### Sistema de engranes

Son sistemas de transmisión del movimiento circular constituidos por un acoplamiento, diente a diente, de dos ruedas dentadas, una motriz la cual es, por lo general, de menor tamaño y otra conducida llamada corona o rueda como se muestra en la figura 24 (Huatay, 2011).

#### Figura 24.

*Mecanismo de engranajes.*



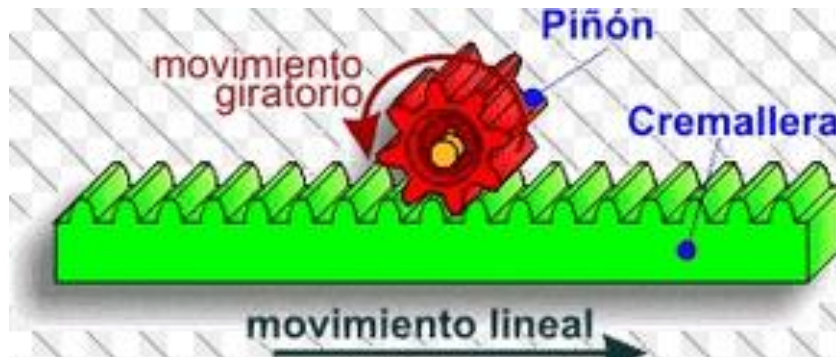
*Nota.* Tomado de (Huatay, 2011)

### Sistemas de engranaje y cremallera

Son sistema constituido por un piñón, que describe un movimiento rotacional y una cremallera la cual describe un movimiento lineal (Duato, 2019)

**Figura 25.**

*Mecanismo piñón cremallera.*



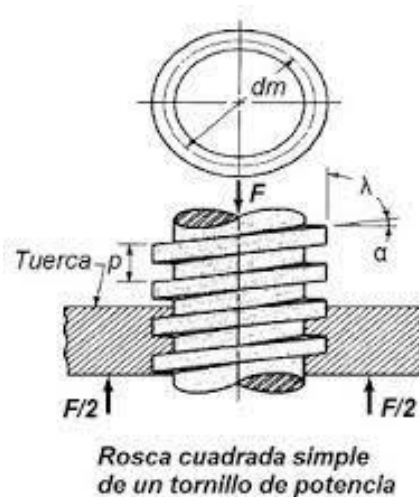
*Nota.* Tomado de (Duato, 2019)

### **Sistema de tornillo de potencia y tuerca**

Son una de las formas de materializar un par cinemático helicoidal o de tornillo, constando de dos piezas, entre las cuales existe un movimiento relativo de traslación y rotación simultáneas respecto al mismo eje (Duato, 2019)

**Figura 26.**

*Sistema de tornillo de potencia con tuerca.*



*Nota.* Tomado de (Duato, 2019)

### 2.3.8. Rodamientos.

El objetivo de un rodamiento es soportar una carga y al mismo tiempo dejar mover un elemento con respecto a otro, unos usan esferas y otros rodillos entre el elemento móvil y el fijo. El más conocido es el de movimiento rotativo que acopla un eje y resiste cargas radiales y axiales. El coeficiente de rozamiento va entre 0.001 y 0.005 (Mott R. L., 2009). Aún cuando los aceros tienen alta resistencia, todos los rodamientos tienen una duración finita y eventualmente fallan debido a la fatiga. Cuando menor sea la carga mayor será la duración, se relaciona la carga  $P$  y la duración  $L$ .  $k = 3$  para rodamientos de bolas y  $k = 3.33$  para rodamientos de rodillos.

$$\frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^k$$

#### **Ecuación 15.**

*Relación entre carga y duración del rodamiento.*

*Nota.* (Mott R. L., 2009).

### 2.3.9. Divisor de Voltaje

Es una combinación de resistencias que parten y distribuyen un voltaje de entrada para obtener un voltaje de salida paralelo a la resistencia de abajo como se muestra en la figura 27. El voltaje de salida es igual al voltaje de entrada escalado por la razón de los resistores: la resistencia inferior (de donde se obtiene el voltaje de salida) dividido entre la suma de las resistencias como indica la siguiente expresión (Abreu & Marquez, 2014).

$$V_{sal} = V_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

#### **Ecuación 16.**

*Divisor de voltaje.*

*Nota.* (Abreu & Marquez, 2014).



Donde:

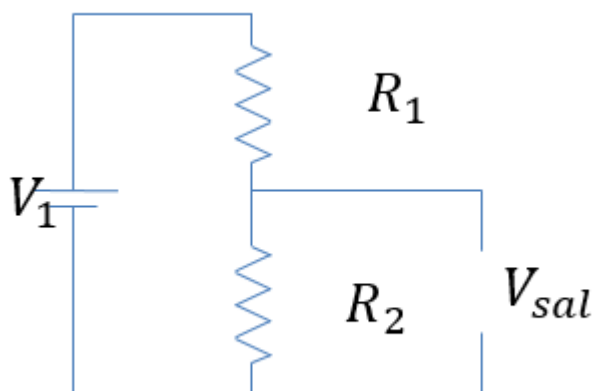
$V_{sal}$  es el voltaje de salida

$V_1$  es el voltaje de entrada

$R_1$  y  $R_2$  son resistencias en serie

**Figura 27.**

*Configuración de un divisor de voltaje.*



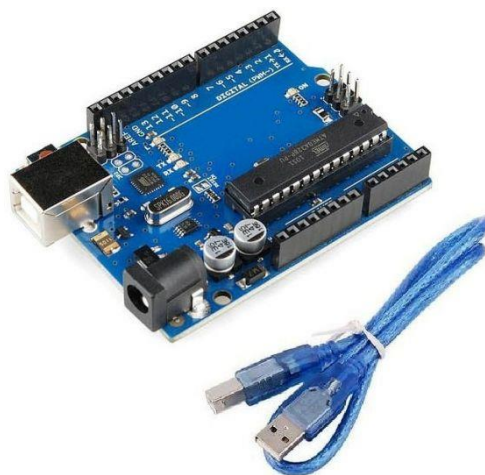
**2.3.10. Arduino**

Arduino es una plataforma de creación de electrónica basada en hardware y software libre, creando placas electrónicas con capacidad de procesamiento de un microcontrolador en el que se pueden grabar instrucciones en él. Cuenta con pines digitales de entrada y salida, entradas analógicas, pines de tierra y 5 V, conexión serial con otros periféricos y conexión serial para realizar la programación y comunicación con un computador. (Shiloh & Fitzgerald, 2013). En la figura 28 se muestra un Arduino y el cable USB. “I2C es un puerto y protocolo de comunicación serial, define la trama de datos y las conexiones físicas para transferir bits entre 2 dispositivos digitales. El puerto incluye dos cables de comunicación, SDA y SCL. Además el protocolo permite conectar hasta 127 dispositivos esclavos con esas dos líneas, con hasta velocidades de 100, 400

y 1000 kbits/s. También es conocido como IIC ó TWI – Two Wire Interface”. (integrated, 2015)

**Figura 28.**

*Arduino UNO y el cable USB.*



*Nota.* Tomado de (Arduino, 2020).

**2.3.11. Circuitos digitales de entrada y salida**

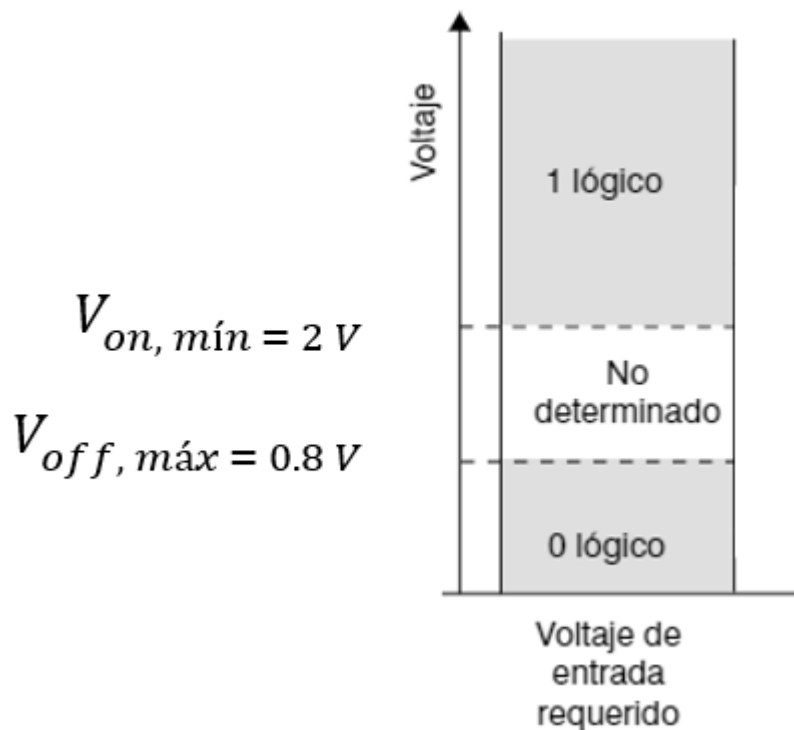
Un término digital deriva del uso de los dígitos 0 y 1 en sistemas electrónicos, los cuales usan dos variables estrictas, apagado para 0 y encendido para 1, verdadero para 1 y falso para 0 o alto para 1 y bajo para 0.

La posibilidad de comunicar digitalmente dos circuitos depende de las características de sus entradas y salidas para producir una señal de encendido o apagado. Arduino tiene especificaciones de voltaje y corriente con las que puede obtener señales correctas o ambiguas. En la figura 29 se describen los voltajes de este dispositivo.

(Villaseñor Gómez & Hernández Aguirre, 2013). El Arduino tiene una salida de corriente máxima de 40 mA en los pines digitales de salida (Arduino, 2020)

**Figura 29.**

Requerimientos para voltajes de entrada para 1 y 0 lógico.



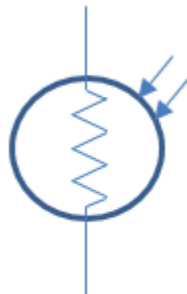
*Nota.* Tomado de (Corona Ramírez, Abarca Jiménez, & Mares Carreño, 2014).

### 2.3.12. Fotorresistencia

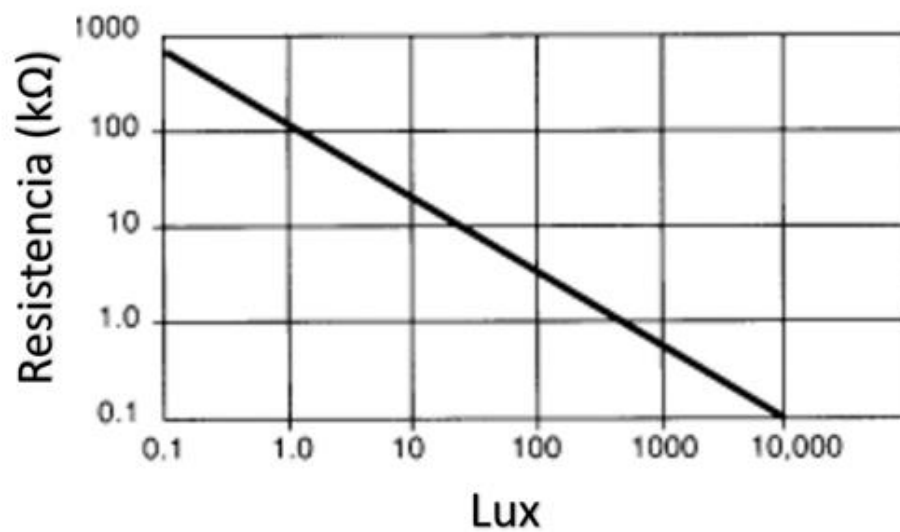
Los sensores LDR (light dependent resistors) son resistencias dependientes de la luz, tienen dos células fotoconductoras de sulfuro de cadmio con respuestas espectrales similares a las del ojo humano. La resistencia de este sensor disminuye al aumentar la intensidad de la luz según la figura 31. Las aplicaciones incluyen detección de humo, control automático de iluminación, conteo de lotes y sistemas de alarma antirrobo. El símbolo de la fotorresistencia se indica en la figura 30. (Corona Ramírez, Abarca Jiménez, & Mares Carreño, 2014).

**Figura 30.**

*Símbolo de fotorresistencia*

**Figura 31.**

*Luxes vs resistencia del sensor LDR*



*Nota.* Tomado de (RS components, 1997)

### 2.3.13. Diodo LED

**Figura 32.**

*Símbolo de diodo LED*



Diodo LED por sus siglas en inglés Light Emitting Diode (diodo emisor de luz) tiene la propiedad de emitir luz cuando una corriente eléctrica lo atraviesa. Tiene gran eficiencia energética por lo que su uso está aumentando en los últimos años. Para que el diodo emita luz se debe polarizar positivamente, debe superar una tensión umbral y no exceder la corriente máxima. Su símbolo se muestra en la figura 32.

En la tabla 4 se muestra las caídas de voltaje en diodos encapsulados de 5mm de diámetro de diferentes colores, estos diodos LED tienen una intensidad máxima de 20 mA. (tallerdeelectronica.com, 2020)

**Tabla 4.**

*Voltaje de umbral de diodos LED de diferentes colores*

Color	Tensión Umbral (Voltios)
Rojo	1,63 – 2,03
Amarillo	2,1 – 2,18
Naranja	2,03 – 2,1
Azul	2,48 – 3,7
Verde	1,9 – 4
Violeta	2,76 – 4
Ultravioleta	3,1 – 4,4
Blanco	3,2 – 3,6

## Sensores ultrasónicos

Son sensores que se usan para determinar la distancia entre el emisor y un objeto dado, son sensores no invasivos, no requiere tener contacto con el objeto, este objeto puede ser líquido o sólido, es útil para ambientes hostiles, la señal ultrasónica puede ser generada por piezoelectricidad, de forma capacitiva óptica o electromagnética. Se usan ondas que no están dentro del rango de frecuencia audible, frecuencias mayores a 20 kHz. La onda ultrasónica que emite es reflejada por el objeto a medir y mediante el tiempo que tarda en regresar o la intensidad de la onda que es percibida por el receptor se puede medir la magnitud física de distancia. Cuando se usa el tiempo recorrido para el cálculo de la distancia el ruido no afecta a la medición, en cambio cuando se usa la intensidad de la onda que es reflejada el sistema es sensitivo al ruido de fondo. Una de las ventajas que presenta este tipo de sensores es que permite detectar un material independientemente del color o textura. Estos sensores permiten medir distancias entre 20mm hasta 10m (Corona Ramírez, Abarca Jiménez, & Mares Carreño, 2014). Un sensor ultrasónico es mostrado en la figura 33.

### Figura 33.

*Sensor ultrasónico*



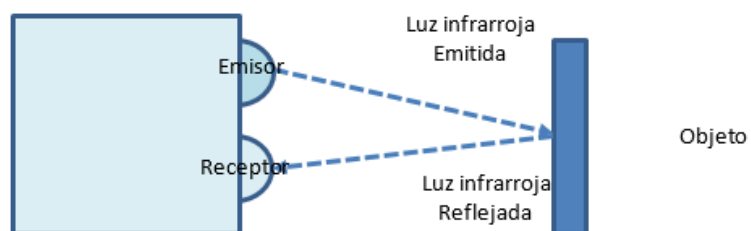
*Nota.* Tomado de (arduibitronics, 2020)

### 2.3.14. Sensor óptico

Los medidores de proximidad ópticos constan de un emisor de luz infrarroja y un elemento fotosensible conocido como receptor, es usado para la detección de proximidad de objetos. El receptor es un fotodiodo que es un dispositivo óptico semiconductor que genera pares electrón-hueco dependiendo de la energía en los fotones percibidos. (Corona Ramírez, Abarca Jiménez, & Mares Carreño, 2014)

#### Figura 34.

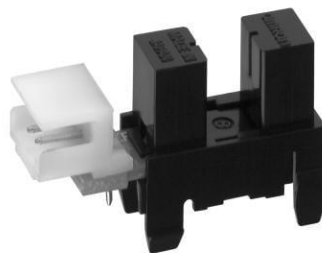
*Emisión y recepción de luz infrarroja en medidor de proximidad.*



El sensores transmisivos emiten luz infrarroja que es detectada por un receptor para detectar la interrupción de la luz emitida, se usa para usos en automatización, proporcionando una detección rápida de un objeto que pasa entre el emisor y receptor. (Wagner, 2019)

#### Figura 35.

*Sensor óptico 4235A.*



*Nota.* Tomado de (Omron electronic, 2020)

### 2.3.15. Finales de carrera

Es un interruptor mecánico que abre o cierra un contacto eléctrico, se utilizan para detectar por contacto físico el término del recorrido de un objeto en una máquina, para automatizar el parado de dicho objeto mediante la interrupción de la alimentación de energía, también para generar una señal eléctrica a partir de un movimiento mecánico, son útiles para una amplia gama de aplicaciones como cintas transportadoras, detección de piezas , apertura y cierre de puertas, así como parar o continuar una secuencia operativa. Se debe colocar de forma rígida en lugares de acceso rápido. (Abreu & Marquez, 2014)

#### Figura 36.

*Final de carrera.*



*Nota.* Tomado de (iberobotics, 2020).

### 2.3.16. Actuadores eléctricos.

Los actuadores eléctricos son aparatos de consumo que transforman la energía eléctrica en energía mecánica, el tipo de movimiento puede ser rotacional o lineal. Su fuente de energía es la más común y la que se encuentra a disposición con mayor facilidad.



Los actuadores eléctricos se basan en que cuando un conductor eléctrico con corriente pasa a través de un campo magnético dicho conductor experimenta una fuerza electromagnética perpendicular a las líneas de acción de dicho campo magnético. Para cuantificar la fuerza se usan varios filamentos que conducen corriente. (Corona Ramírez, Abarca Jiménez, & Mares Carreño, 2014)

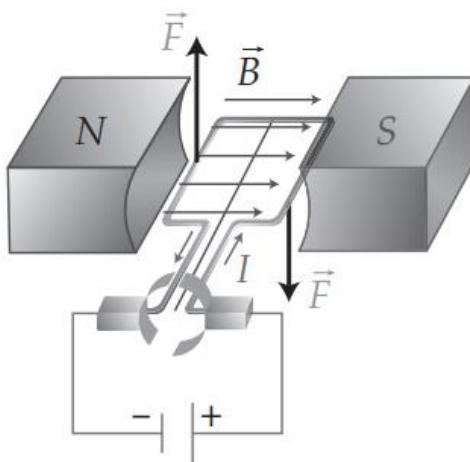
### **Actuadores eléctricos de corriente directa**

Para que un sistema conformado por un motor conectado a una carga tenga un equilibrio en determinada velocidad de mantener una igualdad entre par mecánico que ejerce el motor y par resistente que ofrece la carga. (Fraile Mora, 2006)

Este tipo de actuadores requieren un flujo de corriente en una solo sentido, además está constituido por dos partes fundamentales, el rotor, que es la parte móvil del actuado; y el estator, que es la parte fija y provee el campo magnético para inducir la fuerza electromotriz. La velocidad es directamente proporcional al voltaje de alimentación y el par es proporcional a la corriente que circula por su bobinado. (Corona Ramírez, Abarca Jiménez, & Mares Carreño, 2014)

### **Figura 37.**

*Motor eléctrico elemental.*



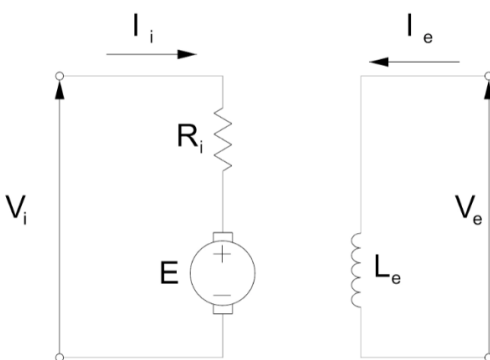
*Nota.* Tomado de (Corona Ramírez, Abarca Jiménez, & Mares Carreño, 2014)

Los motores de corriente continua presentan un mejor control de velocidad que los motores de corriente alterna además de su alto par de arranque, aunque necesitan mantenimiento de las escobillas debido al chispeo que se genera en el colector de delgas. (Fraile Mora, 2006)

El circuito equivalente de un motor de corriente directa se determina como en la figura 38. El circuito del inducido se representa con la fuerza contra electromotriz (F.c.e.m.) como una caída de voltaje  $E$  en serie con una resistencia del inducido, lo cual es un equivalente a todo el devanado del rotor, mientras que la excitatriz o campo se representa con una inductancia que produce un campo magnético al rotor. (Chapman, 2012)

**Figura 38.**

*Circuito equivalente de un motor de corriente directa.*



Las fórmulas principales que gobiernan el comportamiento de los motores de corriente directa son:

$$V_i = E + R_i I_i$$

**Ecuación 17.**

*Tensión aplicada al inducido.*

*Nota. (Fraile Mora, 2006).*

$$E = k_E n \Phi$$

**Ecuación 18.***F. c. e. m.**Nota.* (Fraile Mora, 2006).

$$T = k_T \Phi I_i$$

**Ecuación 19.***Par electromagnético.**Nota.* (Fraile Mora, 2006).

$$P = T\omega = EI_i$$

**Ecuación 20.***Potencia mecánica.**Nota.* (Fraile Mora, 2006).

$$\Phi = k_I I_e$$

**Ecuación 21.***Imanación lineal.**Nota.* (Fraile Mora, 2006).

Donde:

$R_i$  es la resistencia del inducido.

$I_i$  es la intensidad de corriente eléctrica del inducido.

$E$  es la fuerza contra electromotriz.

$k_E$  es la constante electromecánica del motor.

$k_T$  es la constante electromagnética del motor.

$\Omega$  es la velocidad angular.

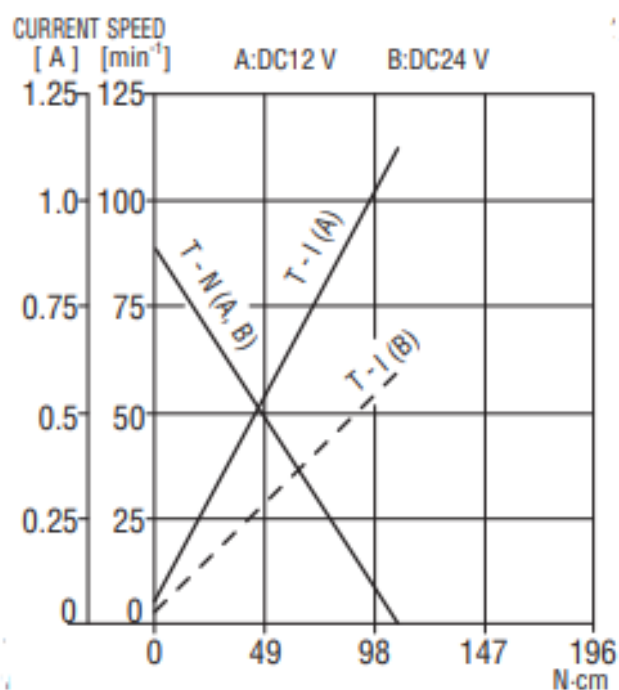
$n$  es la cantidad de revoluciones por minuto.

### Motor de corriente directa con imanes permanentes.

Este tipo de motores tienen imanes permanentes en sus polos para producir el campo magnético inductor, tienen un campo inducido constante, tienen la ventaja de no presentar pérdidas en el cobre en el circuito de campo ya que no se necesita un circuito de campo externo. Por lo general se encuentran en tamaños de caballaje fraccional, se usan donde no se puede justificar el costo o el tamaño de un circuito de campo por separado. Sin embargo presenta un menor par inducido por amperio que un motor de corriente directa con devanado de campo en derivación. (Fraile Mora, 2006) En la figura 39 se muestra la curvas torque-velocidad y torque corriente en un motor de corriente directa de imanes permanentes.

**Figura 39.**

*Torque vs. Velocidad, corriente de un motor c.d. de imanes permanentes.*



Nota. Tomado de (DC geared motors, 2018).

### **Actuadores de corriente alterna**

Estos actuadores usan corriente que cambia de dirección periódicamente. Para cambiar la velocidad de giro se debe cambiar la frecuencia de la corriente de alimentación, sin embargo para el torque sea constante se requiere mantener la misma relación de voltaje y frecuencia.

### **Motores paso a paso de imanes permanentes**

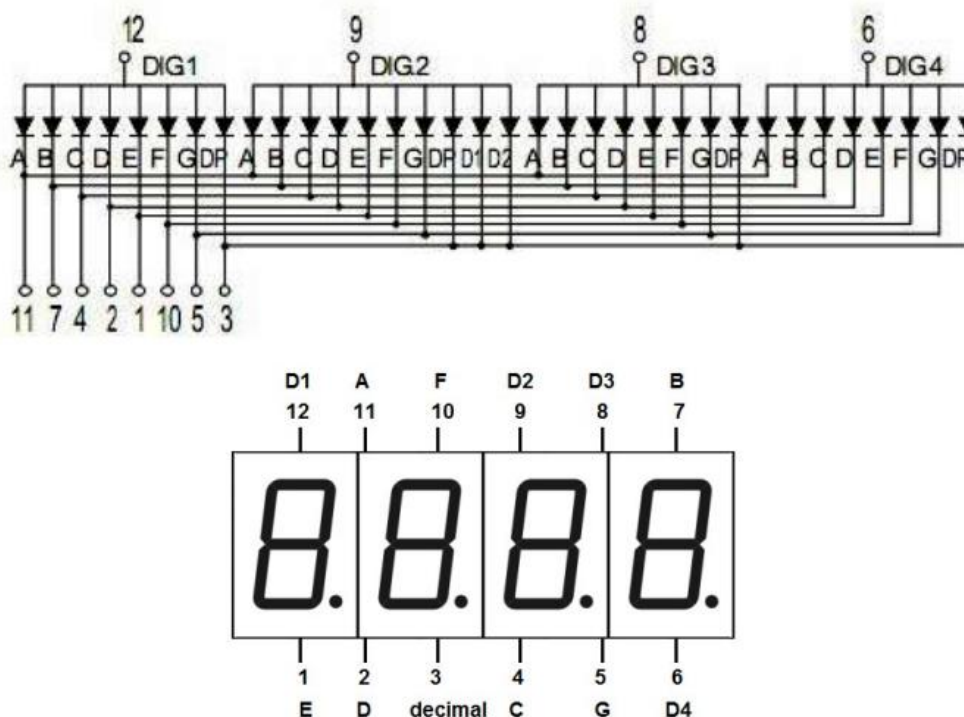
Este tipo de actuador eléctrico convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares concretos. Este motor no tienen devanados en el rotor, en lugar de ello poseen una rueda dispuesta de imanes permanentes, en general se fabrican con 6 y cuatro polos en el estator y para realizar la conmutación se requiere de tarjetas electrónicas, como el arduino, la cual emite una secuencia de pulsos de corriente que permiten que un controlador alimente los devanados. (Chapman, 2012)

#### ***2.3.17. Display de 7 segmentos***

El display de 7 segmentos es un dispositivo que permite ver caracteres en equipos electrónicos, dispone de 7 segmentos de líneas que pueden encenderse o apagarse individualmente, cada línea de segmento es un diodo emisor de luz. Las dos disposiciones de los diodos LED son en ánodo común y cátodo común. Por otra parte un display de 4 dígitos de 7 segmentos tienen la de ánodo común y cátodo común. En la figura 40 se muestra la configuración de ánodo común.

**Figura 40.**

Configuración de un display de 4 dígitos de 7 segmentos con anodo común



Nota. Tomado de (NYNGBO FORYARD OPTO Electronics., 2021)

### 2.3.18. Accionamientos eléctricos

Debido a la eficiencia y al desarrollo de interruptores de estado sólido en los últimos años, los principales convertidores de potencia usan convertidores de potencia para el control de velocidad de motores. Están basados en dispositivos semiconductores que trabajan en conmutación pudiendo estar abiertos o cerrados, comportándose como interruptores estáticos. Frente a los sistemas clásicos basados en ajustar la tensión de una carga introduciendo una resistencia en serie con la carga para tener una caída de tensión intermedia, los accionamientos eléctricos tienen mayor ventaja por la ausencia de la potencia disipada. Los principales tipos de convertidores de potencia son:

- Regladores de alterna (AC/AC)

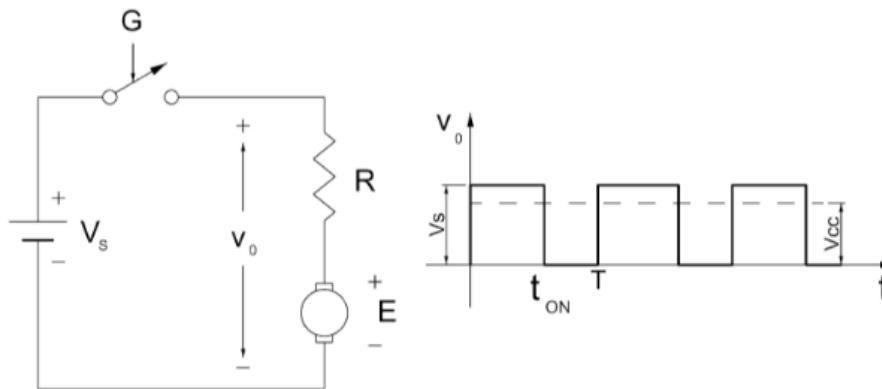
- Cicloconvertidores (AC/AC)
- Rectificadores (AC/DC)
- Inversores (DC/AC)
- Choppers (DC/DC) (Seguí Chilet, Gimeno Sales, Sánchez Díaz, & Ortiz Grau, 2004)

### Chopper

Son accionamientos eléctricos que se usan cuando se tiene una fuente de corriente directa constante y se requiere una tensión de corriente directa variable. También conocidos como troceadores, usan interruptores de estado sólido para trocear la tensión de voltaje y conseguir un control del valor medio de tensión.

**Figura 41.**

*Chopper*



Los valores medios de la tensión y la corriente suministrada por el chopper son los señalados a continuación:

$$V_{cc} = \frac{t_{ON}}{T} V_s = kV_s$$

**Ecuación 22.**

*Voltaje de suministro.*

*Nota:* (Fraile Mora, 2006).

$$k = \frac{t_{ON}}{T}$$

**Ecuación 23.***Ciclo de trabajo.**Nota: (Fraile Mora, 2006).*

$$I_{cc} = \frac{V_{cc} - E}{R}$$

**Ecuación 24.***Corriente de suministro.**Nota: (Fraile Mora, 2006).*

Donde:

$t_{ON}$  es el tiempo de cierre del interruptor estático G.

$T$  comprende el tiempo de un ciclo.

$V_{cc}$  es el voltaje medio.

$V_s$  es el voltaje de suministro.

$k$  es el ciclo de trabajo.

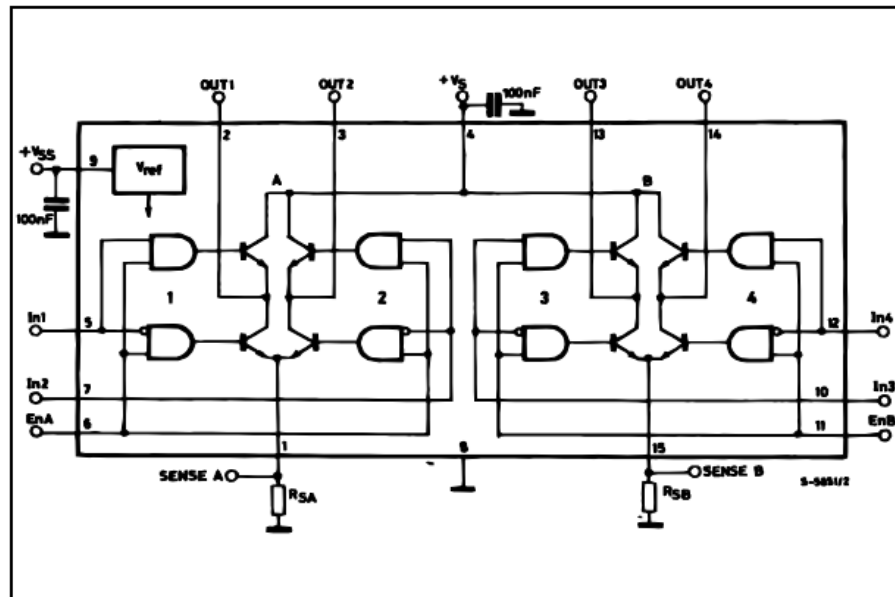
El chopper tiene un periodo constante, al variar el tiempo  $t_{ON}$  se puede variar el voltaje medio por lo tanto la velocidad del motor de corriente directa.

Inversión de giro con puente H es la configuración electrónica que permite realizar el cambio de giro en un motor de corriente directa, la cual se muestra en la figura 42.



**Figura 42.**

*Configuración electrónica de un puente H*



*Nota.* Tomado de (STMicroelectronics, 2000)

## 2.4. Fundamentación metodológica

### 2.4.1. Encuesta

La investigación mediante encuesta requiere una fase de programación y planteamiento de la misma y luego un desarrollo o aplicación de dicha programación siguiendo una serie de pasos. (Alvira Martín, 2011)

- Planeamiento o diseño del cuestionario
- Selección de la muestra
- Desarrollo del trabajo de campo
- Preparación de la información
- Análisis de la calidad de la información

## **2.5. Sistemas de variables**

### **2.5.1. Variable independiente:**

Diseño y construcción de un prototipo de máquina de medición de superficies de cuero

### **2.5.2. Variable dependiente:**

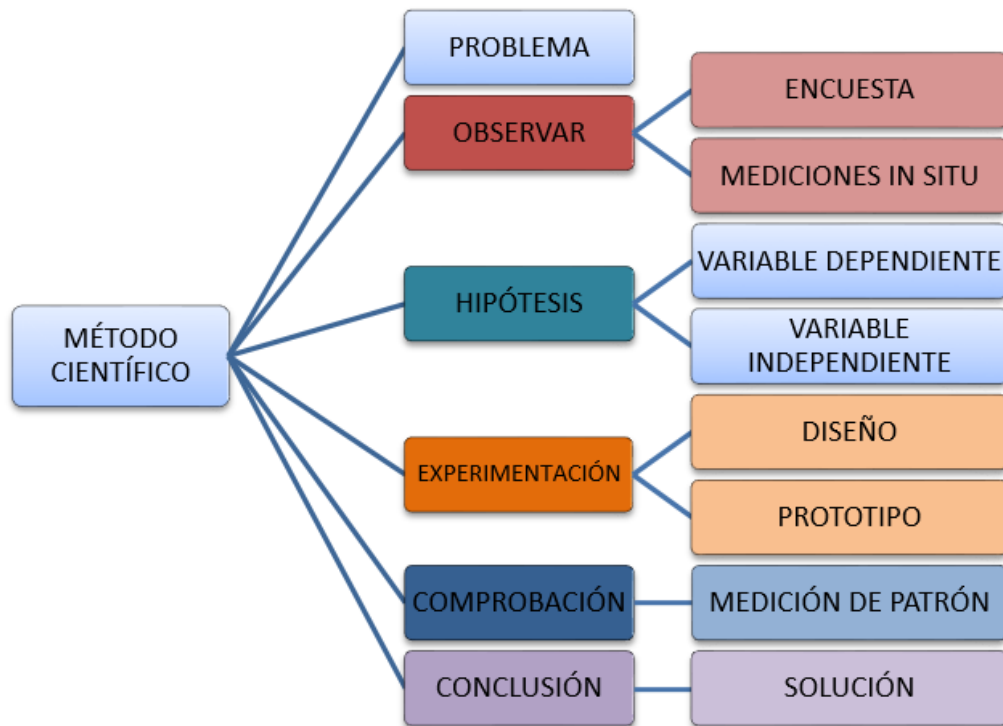
Medir superficies planas de cuero en la empresa Calzado Javier con un error del 5%.

### **2.5.3. Hipótesis**

El diseño y construcción de un prototipo de medición de superficies de cuero permite determinar con precisión la superficie de cuero en la empresa Calzado Javier.

## **2.6. Fundamentación metodológica**

“El método científico es el conjunto de estrategias y procedimientos metódicamente secuenciales que tiene como objetivo la comprobación empírica de un planteamiento (hipótesis) y que permitirá la interpretación de la realidad; sin embargo sus conclusiones no pueden tomarse como una verdad absoluta” (Borja Suárez, 2016). El método científico consta de los grandes pasos que se muestran en la figura 43, parte de un problema o pregunta que deberá ser solucionada, la observación se realiza para entender el contexto del caso a investigar, de acuerdo a la información obtenida in situ y el conocimiento de hechos pasados se propone una hipótesis que pueda solucionar el problema, luego se realiza la experimentación de la hipótesis, si se llega a una solución del problema se concluye dando como válida la hipótesis.

**Figura 43.***Método científico.*

## Capítulo III

### 3. Diseño y desarrollo

#### 3.1. Recopilación de información

El cuestionario del Anexo 2 se realiza con el objeto de identificar las funciones de la máquina medidora de superficies y los parámetros que requiere el usuario, para lo cual se encuesta al supervisor de la planta quien mantiene la información de la planta y conoce sobre el procedimiento en el entorno donde se realiza el corte y selección del material.

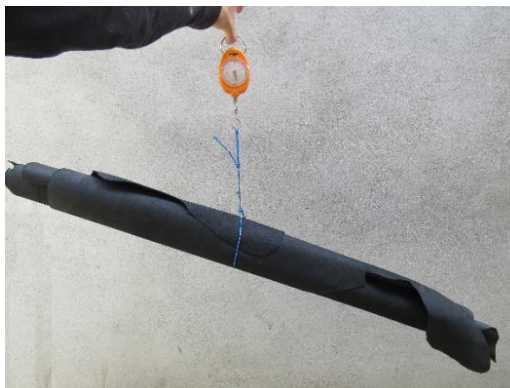
De la encuesta realizada al supervisor se obtiene que, el cuero tiene una superficie de  $222 \text{ dm}^2$  o menos, la medición de cada pieza de cuero debe tardar menos de 1 minuto, el valor de la medida de la superficie de cuero debe mostrarse de manera visual; en este caso el error debe ser menor de 5% para piezas de cuero que tienen colores variados, abarcando gamas de café, negro, blanco, azul y rojo incluso piezas de dos colores. Las dimensiones máximas de una pieza de cuero son de 1.5 m de ancho, 2.2 m de largo y un espesor de hasta 3 mm.

Las medidas de la resistencia del el fotorresistor se realizan con un óhmetro en entorno donde estará la máquina, en dos situaciones, cuando el sensor está descubierto y cuando el sensor está cubierto por el cuero.

La masa de una pieza de cuero promedio se obtuvo con una báscula como se muestra en la figura 44, la masa de la pieza de cuero es de 2.3 Kg.

**Figura 44.**

*Medición de la masa de una pieza de cuero.*

**3.2. Cuadro comparativo de alternativas para diseño del equipo**

Para la selección del equipo más adecuado se presenta la tabla 5 que compara de los tres sistemas que se pueden utilizar.

Los criterios que se consideran son importantes para la solución del problema dentro de las necesidades y capacidades de la empresa, así como para la factibilidad de realización de la solución.

Se considera el factor económico porque uno de los objetivos de la empresa es generar rentabilidad económica así que un método económico para la solución del problema se encuentra dentro de los criterios a considerarse. Se considera como factor el montaje de la máquina ya que puede requerirse personal calificado que haga esta tarea de manera específica. La construcción de la máquina implica el gasto de recursos si ésta es muy compleja o requiere procesos de manufactura especializados. El desempeño es el cumplimiento de las funciones que requiere el usuario ya sea la medición de cuero de diferentes colores o el tiempo requerido para este proceso. La accesibilidad de los materiales para la construcción de la máquina es importante ya que la dificultad y el costo de importación de los materiales puede ralentizar el proceso de fabricación del prototipo o de la máquina.

Las ponderaciones de cada criterio varían desde 5 como muy accesible a 1 como poco accesible. Con la misma ponderación para todos los criterios, el sistema con mayor puntuación se considera para la solución del problema tratado.

**Tabla 5.**

*Análisis de alternativas.*

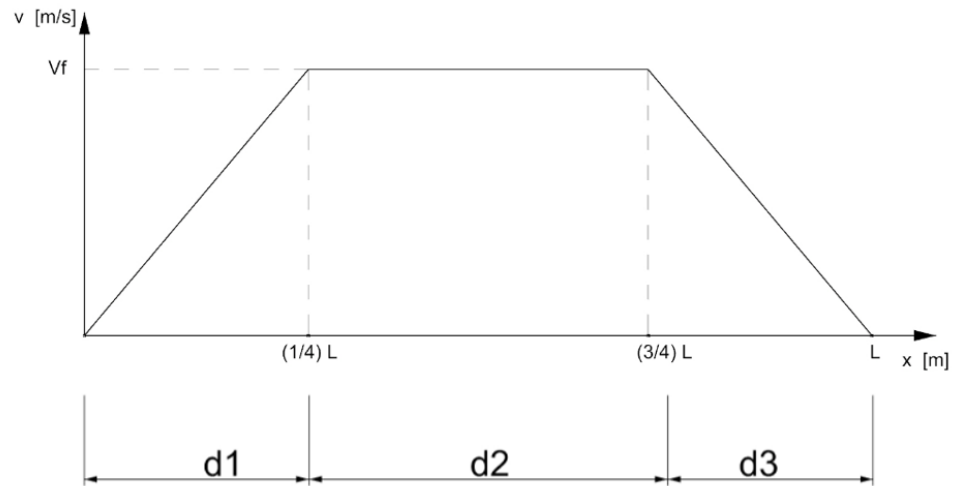
Criterios	VISIÓN ARTIFICIAL	SENSORES FIJOS	SENSORES MÓVILES
<b>Económico</b>	4	2	3
<b>Montaje</b>	2	3	4
<b>Desempeño</b>	2	4	4
<b>Accesibilidad de materiales</b>	3	2	3
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>14</b>

### 3.3. Análisis de información obtenida

El tiempo máximo para la medición de una pieza de cuero es de 60 segundos, la longitud que debe recorrer la hilera de sensores es de 2.2 m, en la figura 45 muestra la relación entre la velocidad y el recorrido del puente de sensores. La aceleración del puente se calcula a continuación:

**Figura 45.**

Velocidad del puente a lo largo de su recorrido.



$$V_0 = 0$$

$$L = 2.2 \text{ m}$$

$$t_T = 40 \text{ s}$$

$$d_1 = \frac{L}{4}$$

$$d_1 = \frac{2.2 \text{ m}}{4}$$

$$d_1 = 0.55 \text{ m}$$

$$t_1 = \frac{40 \text{ s}}{4}$$

$$t = 10 \text{ s}$$

$$d_1 = V_0 t + \frac{1}{2} a t_1^2$$

$$a = \frac{2 d_1}{t_1^2}$$

$$a = \frac{2 * 0.55 \text{ m}}{(10 \text{ s})^2}$$

$$a = 0.011 \frac{m}{s^2}$$

Donde:

$V_0$  es la velocidad inicial.

$L$  es el largo del recorrido.

$t_T$  es el tiempo total del recorrido.

$t_1$  es la cuarta parte del tiempo total del recorrido.

$d_1$  es la cuarta parte del largo del recorrido.

$a$  es la aceleración del puente.

$V_f$  es la velocidad constante.

La velocidad final se calcula a continuación.

$$V_f^2 = V_0^2 + 2ad_1$$

$$V_f^2 = 2 * 0.011 \frac{m}{s^2} * 0.55 m$$

$$V_f = 0.11 \frac{m}{s}$$

A continuación se calcula el tiempo que tarda el puente en recorrer la distancia con velocidad constante:

$$V_f = \frac{d_2}{t_2}$$

$$t_2 = \frac{d_2}{V_f}$$

$$d_2 = \frac{L}{2}$$

$$d_2 = \frac{2.2 m}{2}$$

$$d_2 = 1.1 m$$

$$t_2 = \frac{1.1 m}{0.11 \frac{m}{s}}$$



$$t_2 = 10 \text{ s}$$

El error máximo es de 5% para una pieza de cuero de 222 decímetros cuadrados por lo que el error decímetros cuadrados se calcula a continuación:

$$\begin{aligned} error_{m\acute{a}x} &= 222 \text{ dm}^2 \cdot \frac{5}{100} \\ error_{m\acute{a}x} &= 11.1 \text{ dm}^2 \left( \frac{1 \text{ m}^2}{(10 \text{ dm})^2} \right) = 0.111 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

El área de las zonas de cuero que no es detectado depende de la distancia entre los sensores. El caso crítico es cuando la piel llega justo antes del sensor sin ser detectada y todo el largo de los laterales del cuero queda fuera del campo de detección de los sensores como indica en la figura 46, tanto a lo largo como a lo ancho, por esta razón el área no medida en los dos laterales se determina por:

$$\acute{A}_{nm1} = 2 l_{nm1} d_s$$

$$\acute{A}_{nm2} = 2 l_{nm2} d_m$$

$$\acute{A}_{nm1} + \acute{A}_{nm2} < error_{m\acute{a}x}$$

$$2 l_{nm1} d_s + 2 l_{nm2} d_m < error_{m\acute{a}x}$$

Donde:

$\acute{A}_{nm1}$  es el área no medida crítica debido a la separación de los sensores.

$\acute{A}_{nm2}$  es el área no medida crítica debido a la separación las perforaciones.

$l_{nm1}$  es la longitud no medida en el caso crítico.

$l_{nm2}$  es el ancho no medido en el caso crítico.

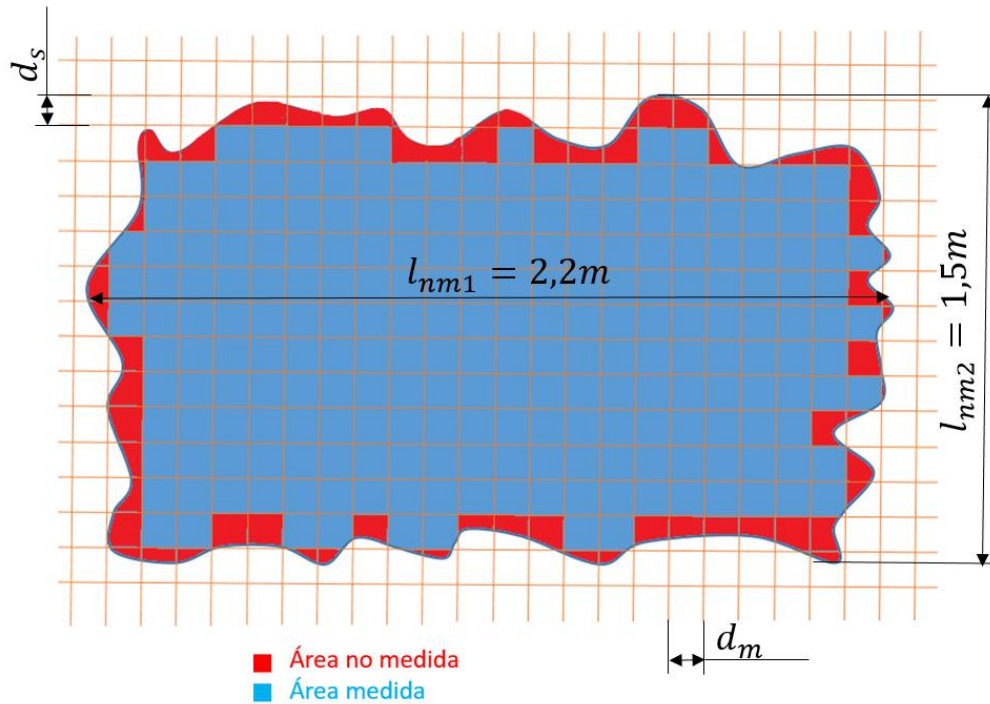
$d_s$  es la distancia entre sensores.

$d_m$  es la distancia de muestreo.

$n_d$  es el número de divisiones.

Figura 46.

Área medida y no medida.



La distancia de muestreo se realiza a 5 mm por conveniencia de la elaboración de la cinta dentada. La longitud no medida 1 es el largo total de la medidora que es igual a 2.2 m, la longitud no medida 2 es el ancho total de la medidora que es 1.5 m con lo que se consigue la distancia entre los sensores:

$$2 * 2.2 m * d_s + 2 * 1.5 m * 0.005 m < 0.111 m^2$$

$$d_s < 0.0218 m$$

$$n_d = \frac{\text{ancho total}}{\text{distancia entre sensores}}$$

$$n_d = \frac{1.5 m}{0.0218}$$

$$n_d = 68.75$$

Se requiere una cantidad de 69 divisiones como mínimo

$$d_s = \frac{\text{ancho total}}{\text{número de divisiones}}$$

$$d_s = \frac{1.5 \text{ m}}{69}$$

$$d_s = 0.0217 \text{ m}$$

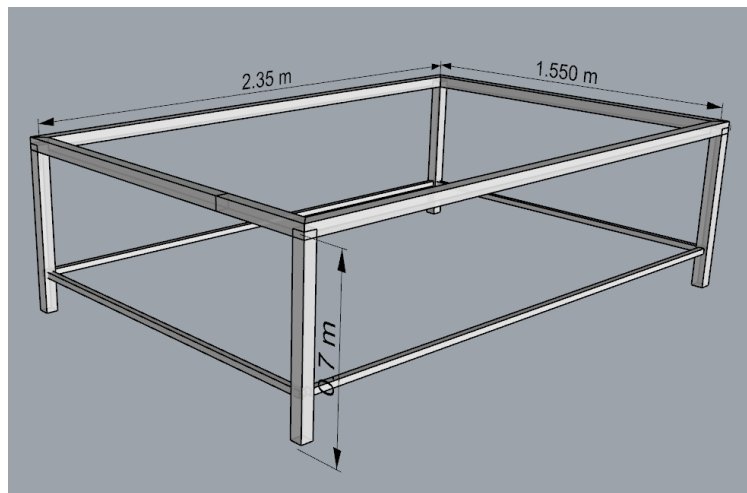
La cantidad de sensores es la del número de divisiones menos uno. Por lo tanto se requieren 68 sensores.

### 3.4. Dimensionamiento de componentes mecánicos

Los perfiles de acero A36 30x50x3 se selecciona para que geoméricamente tenga espacio para colocar los rieles. La configuración de la estructura consta de 4 vigas y 4 columnas como se muestra en la figura 47.

**Figura 47.**

*Estructura*



A continuación se verifica su resistencia calculando el módulo de sección y comparándolo con el catálogo del perfil.

Se priorizan los materiales con alta densidad para mantener la máquina firme y evitar vibraciones, también se considera el aspecto económico y de fácil adquisición.

### 3.4.1. Vidrio Templado

Para que los sensores puedan detectar la luz se usa vidrio templado que es un material transparente. La deformación máxima vertical que indica la norma técnica Ecuatoriana INEN 2 067:1996 en un vidrio templado de un largo de hasta 2.5 m es de 4.8 mm.

**Figura 48.**

*Espesores de vidrio templado según su aplicación.*

ESPEORES (mm)									Medida Máxima (mm)	Lugar de uso*
3	4	5	6	8	10	12	15	19		
	x		x						1 000x800 1 100x1 000 1 200x1 500 1 400x1 800 1 600x2 200	Claraboyas
	x		x						1 200x2 200 1 400x2 400 1 700x2 600 1 800x2 800 2 000x3 300	Fachadas de edificios
	x		x						1 200x2 200 1 400x2 400 1 700x2 600	Casas
	x		x						900x2 000 1 000x2 400 1 200x2 400 1 400x2 600 1 700x3 000 2 000x3 300	Divisiones de ambiente
x	x								600x600 700x700 800x800 1 000x1 400 1 400x2 000	Mesas y tableros
					x				1 800x2 500	
						x			2 000x2 000 2 100x3 000 2 400x3 300	
	x		x						800x800 1 200x1 200 1 400x1 400 1 500x2 000	Protector de pisos
					x		x		800x800 1 100x1 100 1 400x1 400	Pisos de vidrio
x	x								700x2 000 850x2 000 900x2 100 950x2 200 850x2 100 1 000x2 200 1 200x2 300 1 200x2 500 1 200x3 000	Puertas
	x		x						800x1 700 900x1 800 1 000x1 900 1 000x220 1 300x2 400	Cortinas de baño para puertas y módulos fijos

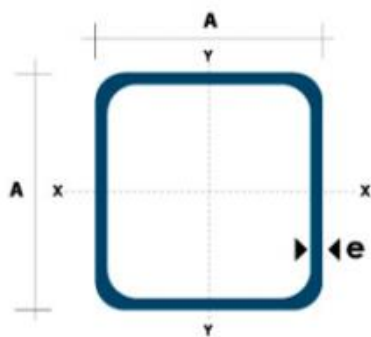
*Nota.* \*Se recomienda consultar con los fabricantes. Tomado de (INEN 2 067, 1996)

### 3.4.2. Vigas

La viga del puente de sensores debe soportar las cargas efectuadas por la los foto sensores, los conductores y el porta sensores de 600g, la carga más grande que debe soportar es la de su propio peso que se determina según el catálogo del productor del tubo cuadrado estructural. Se selecciona un tubo estructural cuadrado de 30 milímetros de ancho para que se puedan sujetar los sensores. Las características del tubo cuadrado se muestran en la figura 49.

**Figura 49.**

*Características de tubo estructural cuadrado.*



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	I cm <sup>3</sup>
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	4.48	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

*Nota.* Tomado de (DIPAC, 2021).

Esta viga debe soportar la carga que genera el propio peso de la viga y el peso de la regleta de sensores como una carga distribuida lineal. El peso lineal se calcula a partir de la masa por metro lineal de la figura 49. La masa de la regleta de sensores es de 1 Kg:

$$w_{l,1} = \left( m_{l,1} + \frac{m_r}{l_r} \right) * g$$

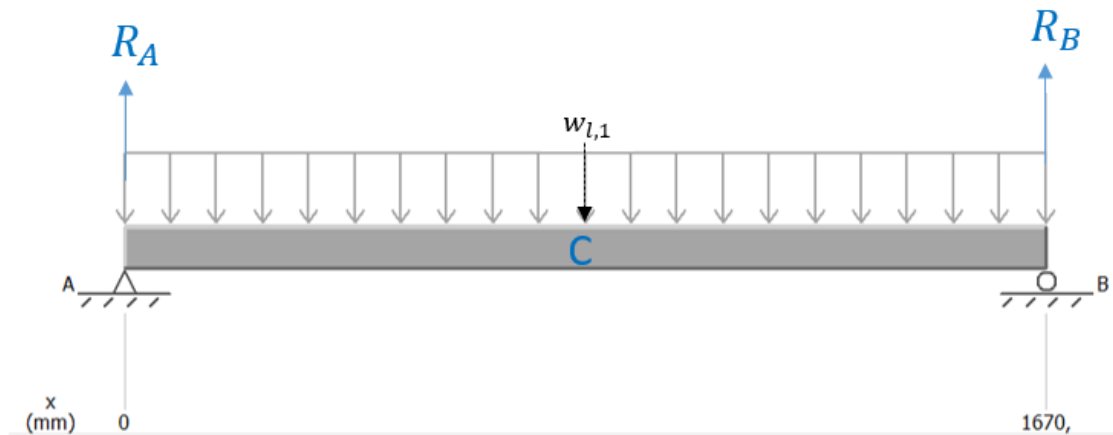
$$w_{l,1} = \left( 1.78 \frac{Kg}{m} + \frac{1 Kg}{1.5 m} \right) * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$w_{l,1} = 23.97 \frac{N}{m}$$

Se obtiene la reacción en A:

**Figura 50.**

*Diagrama de cuerpo libre de viga del puente de sensores.*



$$\sum M_B = 0$$

$$-1.67m R_A + w_{l,1} * 1.67m * \frac{1.67m}{2} = 0$$

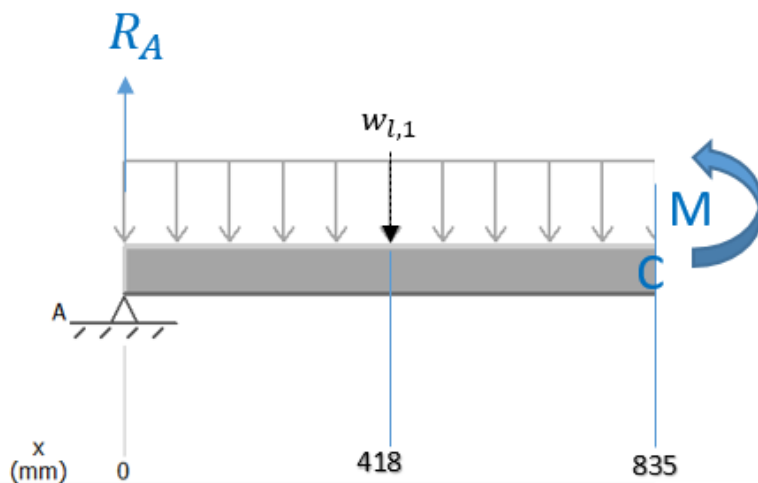
$$-1.67 m * R_A + 23.97 \frac{N}{m} * 1.67 m * \frac{1.67 m}{2} = 0$$

$$R_A = 20.01 N$$

El momento flexor máximo del puente se calcula a continuación con una porción de la viga:

**Figura 51.**

*Momento flector en la mitad de la viga.*



$$\sum M_C = 0$$

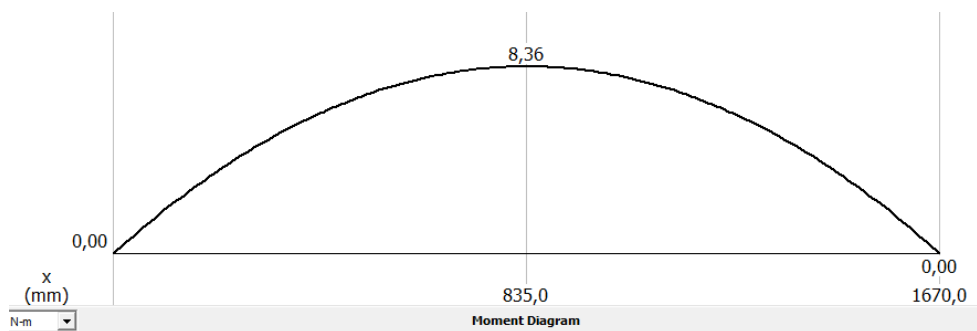
$$-0.84m * R_A + w_{l,1} * 0.84m * \frac{0.84m}{2} + M = 0$$

$$-20.01N * 0.84m + 23.97 \frac{N}{m} * 0.84m * \frac{0.84m}{2} + M = 0$$

$$M = 8.36 Nm$$

**Figura 52.**

*Momento flector a lo largo de la viga del puente de sensores.*



Se obtiene el módulo de sección mínimo:

$$S_{\min} = \frac{|M|_{\max}}{\sigma_{perm}}$$

$$S_{\min} = \frac{8.36 Nm}{250 * 10^6 \frac{N}{m^2}} = 3.34 * 10^{-8} m^3$$

El módulo de sección de la viga es de 1.81 cm<sup>3</sup> según la figura 49.

$$S_{\min} < S$$

$$3.34 * 10^{-8} m^3 \left| \frac{(100cm)^3}{(1m)^3} \right| < 1.81 cm^3$$

$$0.033 cm^3 < 1.81 cm^3$$

Por lo que la viga resiste la carga.

La estructura debe soportar las cargas distribuidas a lo largo de la viga, el peso del vidrio templado, del cuero, de la propia viga y del riel, así como dos cargas puntuales que produce el puente de sensores

- Vidrio templado
- Cuero.
- Puente

Para determinar el peso del vidrio templado usamos su densidad:

$$\rho_v = \frac{m_v}{V_v}$$

$$m_v = \rho_v * V_v$$

$$m_v = 2500 \frac{kg}{m^3} * 2.4 m * 1.6 m * 0.01 m$$

$$m_v = 96 kg$$

$$p_v = m_v * g$$

$$p_v = 96 kg * 9.8 \frac{m}{s^2}$$



$$p_v = 940.8 N$$

Donde:

$m_v$  es la masa del vidrio.

$\rho_v$  es la densidad del vidrio.

$V_v$  es el volumen del vidrio.

$p_v$  es el peso del vidrio.

$g$  es el valor de la gravedad.

$\hat{A}_v$  es el área del vidrio

$p_s$  es el peso superficial del vidrio

La masa del cuero se obtuvo mediante una báscula:

$$m_c = 2.3 kg$$

$$p_c = m_c * g$$

$$p_c = 2.3 kg * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$p_c = 22.54 N$$

Donde:

$m_c$  es la masa del cuero

$p_c$  es el peso del cuero

Se determina el peso lineal que soportan las vigas de la mesa de trabajo usando el método de áreas tributarias, el peso por cada metro cuadrado del vidrio templado más el cuero es  $p_s$ .

$$p_s = \frac{p_v + p_c}{\hat{A}_v}$$

$$\hat{A}_v = 1.6m * 2.4m$$

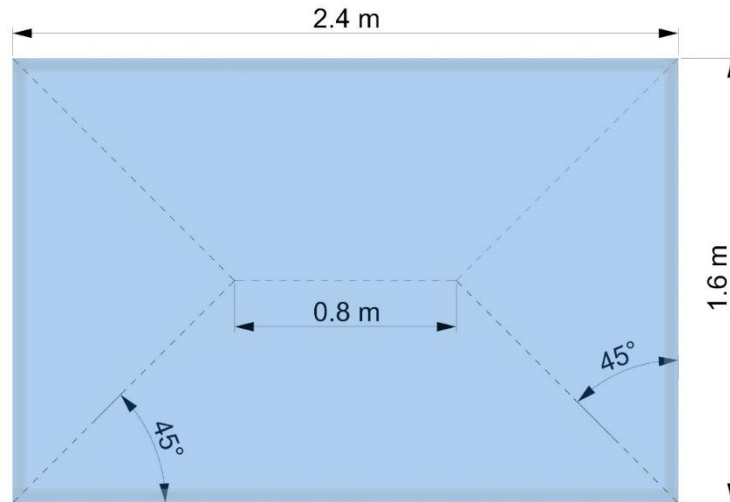
$$\hat{A}_v = 3.84 m^2$$

$$p_s = \frac{940.8 \text{ N} + 22.54 \text{ N}}{3.84 \text{ m}^2}$$

$$p_s = 250.87 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

**Figura 53.**

*Dimensiones de vidrio templado.*

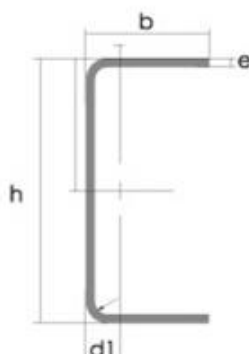


La carga lineal que soporta la viga más larga es  $w_{l,2}$  se obtiene con la suma la carga de área tributaria del trapecio más la carga distribuida del riel. En la figura 54 se muestra el perfil en "U" que se ha seleccionado para el riel.

Figura 54.

Características de perfiles en "U".

Designación	Dimensiones (mm)			Masa Kg/m	A cm <sup>2</sup>	d1 cm	Momento de inercia		Módulo resistente		Radio de giro	
	h	b	e				lx	ly	Wx	Wy	ix	iy
	mm	mm	mm				cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
C 50 x 25 x 2	50	25	2	1,45	1,87	0,72	7,06	1,13	2,83	0,63	1,94	0,72
C 50 x 25 x 3	50	25	3	2,09	2,7	0,77	9,7	1,57	3,88	0,91	1,89	0,76
C 60 x 30 x 2	60	30	2	1,77	2,26	0,85	12,5	2,00	4,16	0,93	2,35	0,94
C 60 x 30 x 3	60	30	3	2,56	3,3	0,89	17,5	2,84	5,85	1,34	2,31	0,93
C 60 x 30 x 4	60	30	4	3,30	4,2	0,95	21,1	3,51	7,03	1,72	2,24	0,91
C 80 x 40 x 2	80	40	2	2,40	3,07	1,09	30,8	4,89	7,71	1,68	3,17	1,26
C 80 x 40 x 3	80	40	3	3,51	4,5	1,14	43,9	7,01	11	2,45	3,12	1,25
C 80 x 40 x 4	80	40	4	4,56	5,87	1,19	55,4	8,92	13,9	3,17	3,07	1,23
C 80 x 40 x 5	80	40	5	5,55	7,18	1,23	65,49	10,62	16,37	3,83	3,02	1,21
C 80 x 40 x 6	80	40	6	6,49	8,42	1,28	74,18	12,1	18,54	4,44	2,96	1,19
C 100 x 50 x 2	100	50	2	3,02	3,87	1,34	61,5	9,72	12,3	2,66	3,99	1,58
C 100 x 50 x 3	100	50	3	4,45	5,7	1,39	88,5	14,1	17,7	3,89	3,94	1,57
C 100 x 50 x 4	100	50	4	5,81	7,47	1,44	113	18,1	22,6	5,07	3,89	1,56
C 100 x 50 x 5	100	50	5	7,12	9,18	1,48	135	21,8	27,1	6,19	3,84	1,54
C 100 x 50 x 6	100	5	6	8,37	10,82	1,53	115,3	25,14	31,05	7,24	3,79	1,52
C 100 x 60 x 4	100	60	4	6,44	8,13	1,86	128	29,7	25,6	7,17	3,97	1,91
C 100 x 50 x 5	100	50	5	7,91	9,95	1,92	152	35,7	30,5	8,76	3,91	1,9
C 100 x 60 x 6	100	60	6	9,31	12,02	1,93	181,8	42,25	36,36	10,38	3,89	1,87
C 100 x 60 x 8	100	60	8	11,95	15,5	2,06	222,6	52,47	44,52	13,32	3,78	1,83
C 125 x 50 x 2	125	50	2	3,42	4,37	1,2	103	10,4	16,5	2,74	4,86	1,54
C 125 x 50 x 3	125	50	3	5,04	6,45	1,24	149	15,1	23,9	4,02	4,81	1,53
C 125 x 50 x 4	125	50	4	6,60	8,47	1,29	192	19,4	30,7	5,24	4,76	1,51
C 125 x 50 x 5	125	50	5	8,10	10,4	1,34	231	23,4	37	6,4	4,71	1,5



Nota. Tomado de (DIPAC, 2021).

$$w_{l,2} = w_{l,trapecio} + w_{l,tr} + w_{l,riel}$$

$$w_{l,2} = \frac{w_s * \hat{A}_{trapecio}}{l} + l * m_{l,tr} * g + l * m_{l,riel} * g$$

$$\hat{A}_{trapecio} = \frac{B + b}{2} h_{trapecio}$$

$$\hat{A}_{\text{trapecio}} = \frac{2.4m + 0.8m}{2} 0.8m$$

$$\hat{A}_{\text{trapecio}} = 1.28 m^2$$

$$w_{l,2} = \frac{250.87 \frac{N}{m^2} * 1.28 m^2}{2.4 m} + 2.4 m * 3.3 \frac{kg}{m} * 9.8 \frac{m}{s^2} + 2.4 m * 2.09 \frac{kg}{m} * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$w_{l,2} = 133.80 \frac{N}{m} + 77.62 \frac{N}{m} + 49.16 \frac{N}{m}$$

$$w_{l,2} = 260.58 \frac{N}{m}$$

Seguidamente se calcula la carga lineal  $w_{l,3}$  que soporta la viga más corta que es generada por el peso tributario del triángulo de vidrio.

$$w_{l,3} = w_{l,\text{triángulo}} + w_{l, \text{tr}}$$

$$w_{l,3} = \frac{p_s * \hat{A}_{\text{triángulo}}}{a} + m_{l, \text{tr}} * a * g$$

$$\hat{A}_{\text{triángulo}} = \frac{b * h_{\text{triángulo}}}{2}$$

$$\hat{A}_{\text{triángulo}} = \frac{1.6 m * 0.8 m}{2}$$

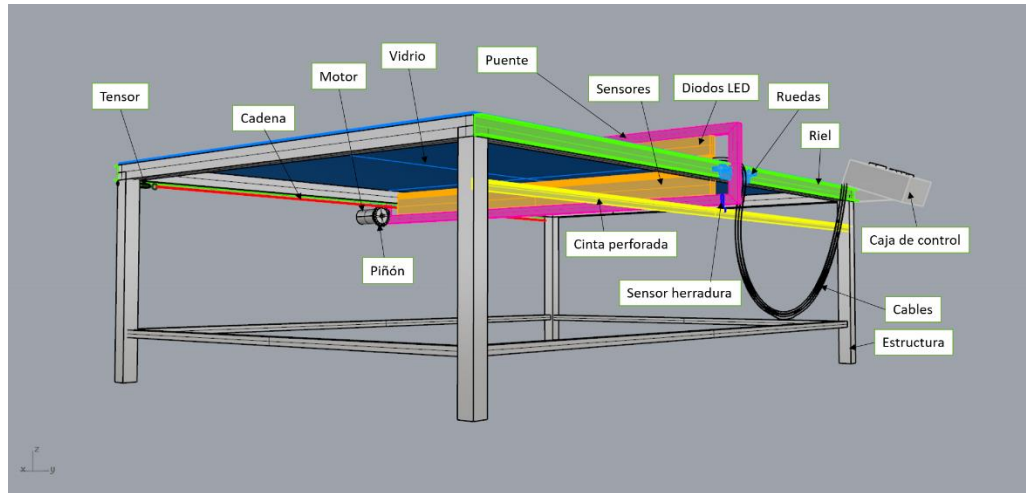
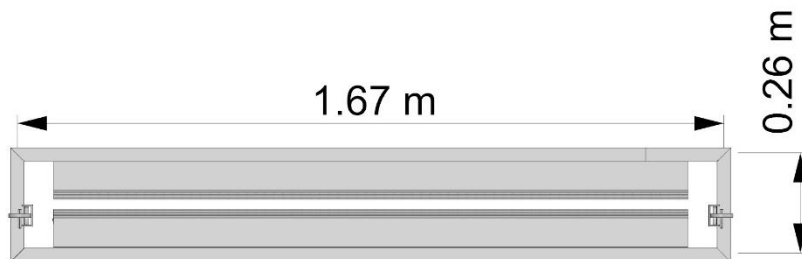
$$\hat{A}_{\text{triángulo}} = 0.64 m^2$$

$$w_{l,3} = \frac{250.87 \frac{N}{m^2} * 0.64 m^2}{1.6 m} + 3.3 \frac{kg}{m} * 1.6 m * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$w_{l,3} = 100.35 N + 51.74 N$$

$$w_{l,3} = 152.09 \frac{N}{m}$$

Para obtener el peso del puente se considera el peso lineal del tubo cuadrado, el peso de los rieles de sensores, diodos LED, el motor, los rodamientos y el riel.

**Figura 55.***Máquina medidora de superficies.***Figura 56.***Puente de sensores*

$$m_{tc} = l_{tc} * wl$$

$$m_{tc} = (2 * 1.67 + 2 * 0.26)m * 1.78 \frac{kg}{m}$$

$$m_{tc} = 6.87 kg$$

$$m_{sensores} = 1 kg$$

$$m_{LED} = 1 kg$$

$$m_{motor} = 0.6 kg$$

$$m_{cables} = 0.4 kg$$

$$m_{ruedas} = 0.7 kg$$

$$m_{\text{puente}} = m_{tc} + m_{\text{sensores}} + m_{LED} + m_{\text{motor}} + m_{\text{cables}} + m_{\text{ruedas}}$$

$$m_{\text{puente}} = (6.87 + 1 + 1 + 0.6 + 0.4 + 0.7)kg$$

$$m_{\text{puente}} = 10.57kg$$

$$p_{\text{puente}} = m_{\text{puente}} * g$$

$$p_{\text{puente}} = 10.57kg * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$p_{\text{puente}} = 103.59 N$$

El peso del puente se distribuye sobre 4 puntos de apoyo, 2 a cada lado de la mesa por lo que se tienen dos cargas puntuales en la viga:

$$w_p = \frac{p_{\text{puente}}}{4}$$

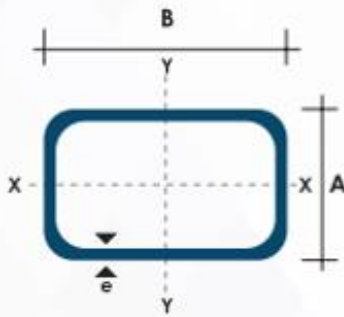
$$w_p = \frac{103.59 N}{4}$$

$$w_p = 25.90 N$$

Se selecciona el tubo rectangular que se muestra en la figura 57.

Figura 57.

Características de tubo estructural rectangular.



El diagrama muestra un tubo estructural rectangular con un espesor 'e'. Las dimensiones A y B representan el alto y el ancho del tubo, respectivamente. Los ejes X-X e Y-Y indican los ejes principales de inercia. El eje Y-Y es vertical y el eje X-X es horizontal.

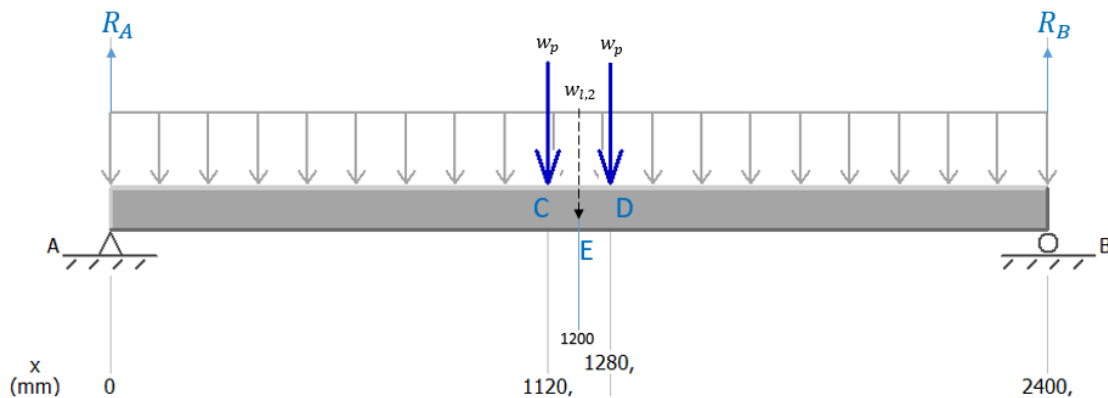
Dimensiones				Área	Ejes Y-Y			Ejes X - X		
A mm	B mm	Espesor (e) mm	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm <sup>3</sup>
20	40	1,2	1,09	1,32	2,61	1,30	1,12	0,88	0,88	0,83
20	40	1,5	1,35	1,65	3,26	1,63	1,40	1,09	1,09	0,81
20	40	2,0	1,78	2,14	4,04	2,02	1,37	1,33	1,33	0,79
25	50	1,5	1,71	2,10	6,39	2,56	1,74	2,19	1,75	1,02
25	50	2,0	2,25	2,74	8,37	3,35	1,75	2,80	2,24	1,01
25	50	3,0	3,30	4,14	12,56	5,02	1,74	3,99	3,19	0,99
30	50	1,5	1,88	2,25	7,27	2,91	1,80	3,32	2,21	1,21
30	50	2,0	2,41	2,94	9,52	3,81	1,80	4,28	2,85	1,21
30	50	3,0	3,30	4,21	12,78	5,11	1,74	5,66	3,77	1,16
30	70	2,0	3,03	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,48	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	60	1,5	2,29	2,91	14,90	4,97	2,26	7,94	3,97	1,65
40	60	2,0	3,03	3,74	18,08	6,13	2,22	9,81	4,90	1,62
40	60	3,0	4,48	5,41	25,31	8,44	2,16	13,37	6,69	1,57
30	70	1,5	2,34	2,91	18,08	5,17	2,49	4,76	3,17	1,28
30	70	2,0	2,93	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,25	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	80	1,5	2,76	3,74	31,75	7,94	2,91	10,77	5,39	1,70
40	80	2,0	3,66	4,54	37,32	9,33	2,87	12,70	6,35	1,67
40	80	3,0	5,42	6,61	52,16	13,04	2,81	17,49	8,75	1,63
50	100	2,0	4,52	5,74	74,94	14,99	3,61	25,65	10,26	2,11
50	100	3,0	6,71	8,41	106,34	21,27	3,56	35,97	14,39	2,07
50	150	2,0	6,17	7,74	207,45	27,66	5,18	37,17	14,87	2,19
50	150	3,0	9,17	11,41	298,35	39,78	5,11	52,54	21,02	2,15

Nota. Tomado de (DIPAC, 2021).

Se calcula el momento flector máximo cuando el puente está en la mitad del recorrido considerando una carga distribuida y dos cargas puntuales.

**Figura 58.**

Diagrama de cuerpo libre de viga larga



Se obtiene la reacción en A:

$$\sum M_B = 0$$

$$-2.4m R_A + 1.28m w_p + w_{l,2} * 2.4m * 1.2m + 1.12m w_p = 0$$

$$-2.4m R_A + 1.28 m * 25.9 N + 260.58 \frac{N}{m} * 2.4m * 1.2m + 1.12m 25.9 N = 0$$

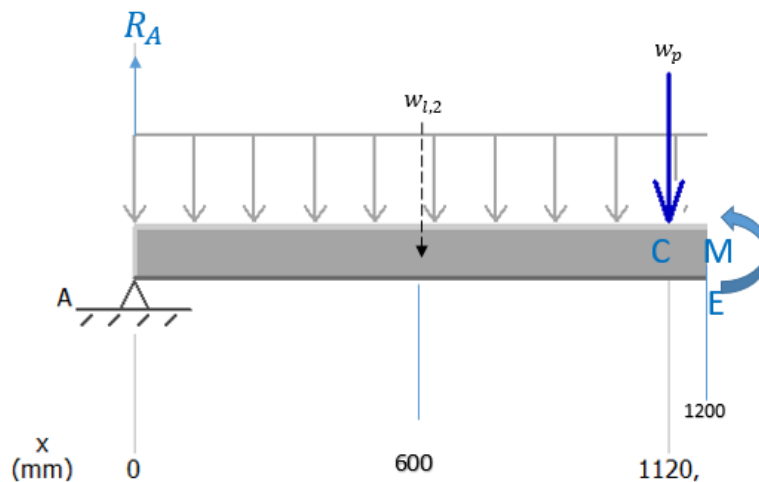
$$R_A = 338.60 N$$

El momento flexor máximo del puente se calcula a continuación con una porción de la viga:



**Figura 59.**

Momento flector en la mitad de la viga larga.



$$\sum M_E = 0$$

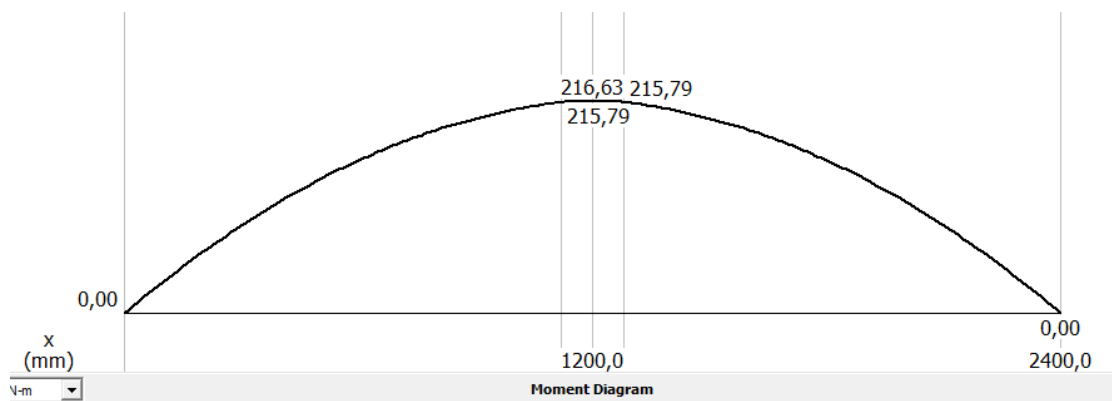
$$-1.2m R_A + w_{l,2} * 1.2m * 0.6m + 0.8m w_p + M = 0$$

$$-1.2m * 338.6 N + 260.58 \frac{N}{m} * 1.2m * 0.6m + 0.8m 25.9 N + M = 0$$

$$M = 216.63Nm$$

**Figura 60.**

Momento flector a lo largo de la viga larga de la estructura.



Se obtiene el módulo de sección mínimo, siendo  $\sigma_{perm}$  el esfuerzo permisible del acero:

$$S_{mín} = \frac{|M|_{máx}}{\sigma_{perm}}$$

$$S_{mín} = \frac{216.63 \text{ Nm}}{250 * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 8.67 * 10^{-7} \text{ m}^3$$

El módulo de sección de la viga es de  $5.11 \text{ cm}^3$  según la figura 57.

$$S_{mín} < S$$

$$8.67 * 10^{-7} \text{ m}^3 \left| \frac{(100\text{cm})^3}{(1\text{m})^3} \right| < 5.11 \text{ cm}^3$$

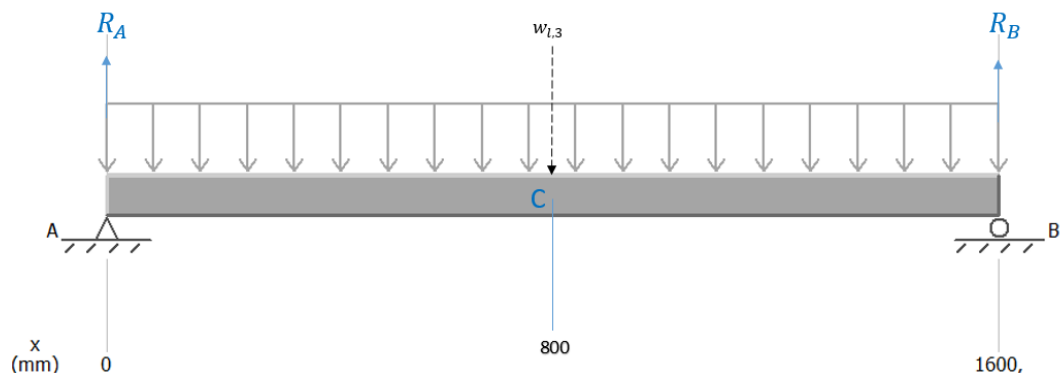
$$0.87 \text{ cm}^3 < 5.11 \text{ cm}^3$$

Por lo que la viga seleccionada resiste la carga.

A continuación se calcula el momento flector máximo de la viga corta y se verifica que su módulo de sección sea mayor al módulo de sección mínimo requerido.

### Figura 61.

Diagrama de cuerpo libre de la viga corta de la estructura.



$$\sum M_B = 0$$

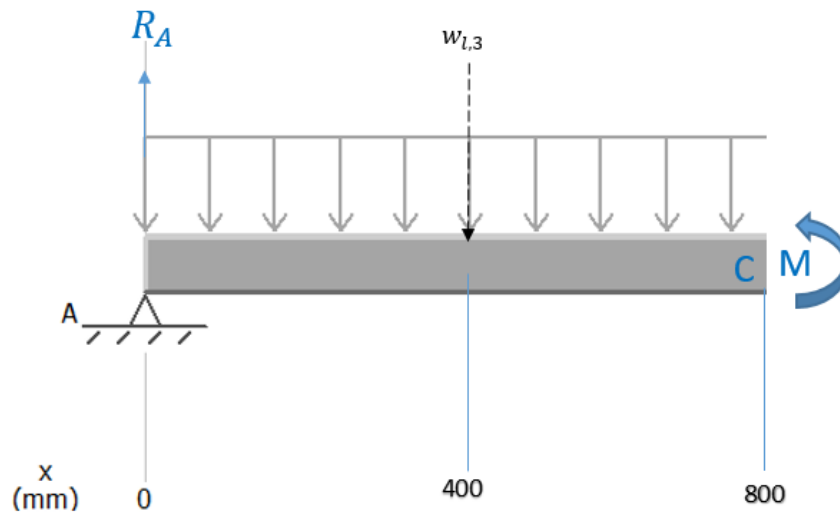
$$-1.6 m R_A + w_{l,3} * 1.6m * 0.8m = 0$$

$$-1.6 m R_A + 152.09 \frac{N}{m} * 1.6m * 0.8m = 0$$

$$R_A = 121.67 N$$

**Figura 62.**

*Momento flector de la viga corta.*



$$\sum M_C = 0$$

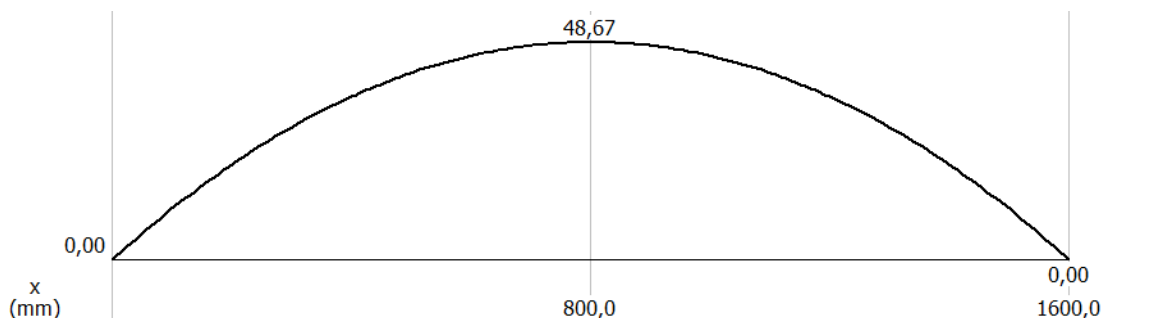
$$-0.8 m R_A + w_{l,3} * 0.8m * 0.4m + M = 0$$

$$-0.8 m * 121.67 N + 152.09 \frac{N}{m} * 0.8m * 0.4m + M = 0$$

$$M = 48.67 Nm$$

**Figura 63.**

Momento flector a lo largo de la viga corta.



Se obtiene el módulo de sección mínimo, siendo  $\sigma_{perm}$  el esfuerzo permisible del acero:

$$S_{mín} = \frac{|M|_{máx}}{\sigma_{perm}}$$

$$S_{mín} = \frac{48.67 \text{ Nm}}{250 * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 1.94 * 10^{-7} \text{ m}^3$$

El módulo de sección de la viga es de  $5.11 \text{ cm}^3$  según la figura 57.

$$S_{mín} < S$$

$$1.94 * 10^{-7} \text{ m}^3 \left| \frac{(100\text{cm})^3}{(1\text{m})^3} \right| < 5.11 \text{ cm}^3$$

$$0.19 \text{ cm}^3 < 5.11 \text{ cm}^3$$

Por lo que la viga seleccionada resiste la carga.

### 3.4.3. Columnas

$$L = 0.67 \text{ m}$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$\dot{A} = 4.21 \text{ cm}^2 = 4.21 * 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ (Figura 57)}$$

$$I_{x-x} = 5.66 \text{ cm}^4 \text{ (Figura 57)}$$

$$S_y = 250 \text{ MPa} \text{ (Tabla 3)}$$

Al ser una columna empotrada en sus dos extremos se considera el siguiente factor de fijación en extremos .

$$K = 0.65 \text{ (Figura 19)}$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{\bar{A}}}$$

$$r = \sqrt{\frac{5.66 \text{ cm}^4}{4.21 \text{ cm}^2}}$$

$$r = 1.16 \text{ cm} \left| \frac{1m}{100cm} \right|$$

$$r = 0.0116m$$

$$\frac{KL}{r_{\min}} = \frac{0.65 * 0.67m}{0.0116m}$$

$$\frac{KL}{r_{\min}} = 37.58$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 * 200GPa}{250 MPa}}$$

$$C_c = 125.66$$

$$\frac{KL}{r_{\min}} < C_c$$

$$37.58 < 125.66$$

Por lo que se considera una columna corta y se usa la ecuación de J. B.

Jhonson para determinar el peso crítico.

$$P_{cr} = AS_y \left[ 1 - \frac{S_y \left( \frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

$$P_{cr} = 4.21 \times 10^{-4} m^2 * 250 MPa \left[ 1 - \frac{250 MPa \left( \frac{0.65 * 0.67 m}{0.0116 m} \right)^2}{4\pi^2 * 200 GPa} \right]$$

$$P_{cr} = 105250 N \left[ 1 - \frac{250 MPa (1409.48)^2}{4\pi^2 * 200 GPa} \right]$$

$$P_{cr} = 105250 N[1 - 0.04463]$$

$$P_{cr} = 100552.87 N$$

Para elementos de máquinas se usa un factor de seguridad  $N=3$  y se calcula el peso admisible.

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N}$$

$$P_a = \frac{100552.87 N}{3}$$

$$P_a = 33517.62 N$$

El peso que soportan las columnas es el peso de toda la máquina repartido entre las 4 columnas que la soportan:

$$P = \left[ \frac{m_{\text{vidrio}} + m_{\text{estructura}} + m_{\text{cuero}} + m_{\text{puente}}}{4} \right] * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$P = \left[ \frac{96kg + 3.3 \frac{kg}{m} * (1.6m + 2.4m) * 2 + 2.3 kg + 10.57kg}{4} \right] * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$P = 331.41N$$

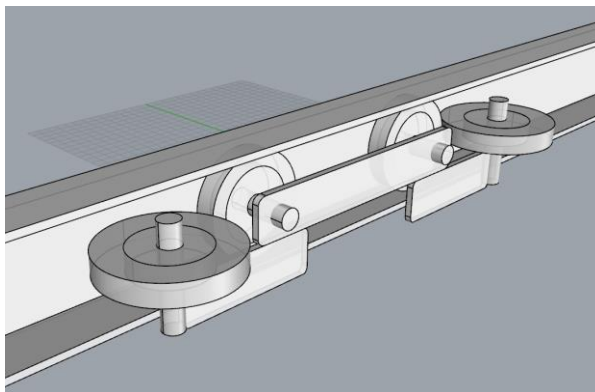
Por lo que el peso admisible es suficiente para el peso que se aplica a las columnas.

#### **3.4.4. Dimensionamiento de rodamientos**

Se genera un sistema de ruedas que pasan entre un riel que se encuentra a lo largo de la máquina de medir superficies, dos rodamientos verticales y dos rodamientos horizontales como se muestra en la figura 64. Las ruedas se colocan de tal manera que restrinjan el movimiento vertical y a lo ancho, se usan rodamientos verticales que soportan el peso como una fuerza radial.

**Figura 64.**

*Configuración de riel y ruedas.*

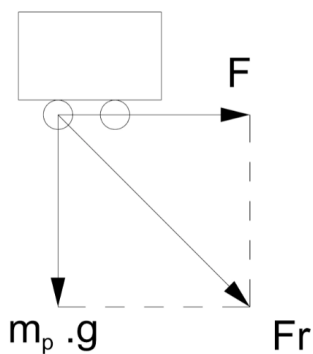


Cuatro ruedas soportan el total del peso del puente y la fuerza resultante aplicada al puente se calcula a continuación. Según el diagrama de la figura 65 a continuación se calcula la fuerza radial resultante para cada rodamiento vertical. La duración del rodamiento en revoluciones es de  $10^6$  revoluciones a una capacidad de carga dinámica de 885 lb, la carga de diseño es de 5.82 lb, un coeficiente k de 3 para rodamientos de bolas y la duración en revoluciones se calcula a continuación:

$$L_2 = L_d = L_1 \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^k = 10^6 \left( \frac{885}{5.82} \right)^3 = 3.52 * 10^{12} rev$$

**Figura 65.**

*Fuerza radial resultante en cada rodamiento.*



$$4\vec{F}_r = -m_p g \vec{j} + F \vec{i}$$

$$4\vec{F}_r = -m_p g \vec{j} + m_p a \vec{i}$$

$$4\vec{F}_r = -10.57 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \vec{j}$$

$$\vec{F}_r = \frac{0.116 \vec{i} - 103.586 \vec{j}}{4} \text{ N}$$

$$F_r = 25.90 \text{ N} ; -89.94^\circ$$

$$F_r = 25.90 \text{ N} ; -89.94^\circ$$

$$F_r = 5.82 \text{ lb}$$

Donde:

$m_p$  es la masa del puente de sensores.

$F$  es la fuerza horizontal ejercida sobre el rodamiento.

$F_r$  es la fuerza resultante ejercida sobre el rodamiento.

Los rodamientos se dimensionan de acuerdo a la figura 66 y de acuerdo a la carga aplicada.



Figura 66.

Datos para seleccionar rodamientos de una hilera de bola.

A. Series 6200												
Número de rodamiento	Dimensiones nominales del rodamiento						Diámetro de escalón preferido		Peso del rodamiento	Capacidad básica de carga estática $C_o$	Capacidad básica de carga dinámica $C$	
	$d$		$D$		$B$		$r^*$	Eje				Caja
	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	pulg	pulg	pulg	lb	lb	lb
6200	10	0.3937	30	1.1811	9	0.3543	0.024	0.500	0.984	0.07	520	885
6201	12	0.4724	32	1.2598	10	0.3937	0.024	0.578	1.063	0.08	675	1180
6202	15	0.5906	35	1.3780	11	0.4331	0.024	0.703	1.181	0.10	790	1320
6203	17	0.6693	40	1.5748	12	0.4724	0.024	0.787	1.380	0.14	1010	1660
6204	20	0.7874	47	1.8504	14	0.5512	0.039	0.969	1.614	0.23	1400	2210
6205	25	0.9843	52	2.0472	15	0.5906	0.039	1.172	1.811	0.29	1610	2430
6206	30	1.1811	62	2.4409	16	0.6299	0.039	1.406	2.205	0.44	2320	3350
6207	35	1.3780	72	2.8346	17	0.6693	0.039	1.614	2.559	0.64	3150	4450
6208	40	1.5748	80	3.1496	18	0.7087	0.039	1.811	2.874	0.82	3650	5050
6209	45	1.7717	85	3.3465	19	0.7480	0.039	2.008	3.071	0.89	4150	5650
6210	50	1.9685	90	3.5433	20	0.7874	0.039	2.205	3.268	1.02	4650	6050
6211	55	2.1654	100	3.9370	21	0.8268	0.059	2.441	3.602	1.36	5850	7500
6212	60	2.3622	110	4.3307	22	0.8661	0.059	2.717	3.996	1.73	7250	9050
6213	65	2.5591	120	4.7244	23	0.9055	0.059	2.913	4.390	2.18	8000	9900
6214	70	2.7559	125	4.9213	24	0.9449	0.059	3.110	4.587	2.31	8800	10 800
6215	75	2.9528	130	5.1181	25	0.9843	0.059	3.307	4.783	2.64	9700	11 400
6216	80	3.1496	140	5.5118	26	1.0236	0.079	3.504	5.118	3.09	10 500	12 600
6217	85	3.3465	150	5.9055	28	1.1024	0.079	3.740	5.512	3.97	12 300	14 600
6218	90	3.5433	160	6.2992	30	1.1811	0.079	3.937	5.906	4.74	14 200	16 600
6219	95	3.7402	170	6.6929	32	1.2598	0.079	4.213	6.220	5.73	16 300	18 800
6220	100	3.9370	180	7.0866	34	1.3386	0.079	4.409	6.614	6.94	18 600	21 100
6221	105	4.1339	190	7.4803	36	1.4173	0.079	4.606	7.008	8.15	20 900	23 000
6222	110	4.3307	200	7.8740	38	1.4961	0.079	4.803	7.402	9.59	23 400	24 900
6224	120	4.7244	215	8.4646	40	1.5748	0.079	5.197	7.992	11.4	26 200	26 900

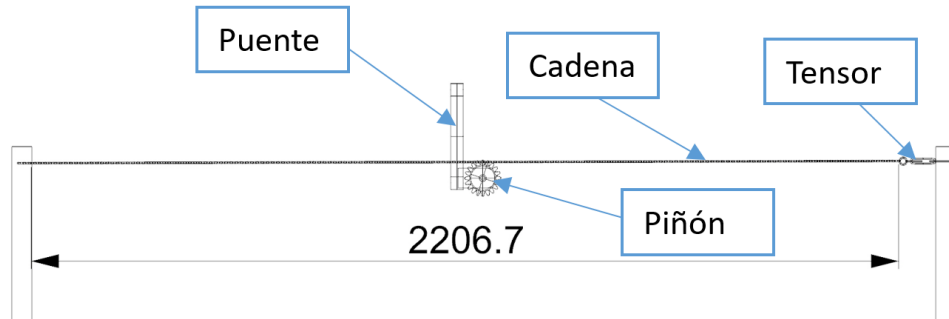
Nota: Tomado de (Mott R. , Diseño de Elementos de Máquinas, 2006)

### 3.4.5. Dimensionamiento de la cadena y piñón.

El uso de la cadena permite tener una longitud relativamente grande debido a que se pueden unir una con otra para obtener una longitud determinada. La disposición de la cadena y piñón se establece en la figura 67 donde un piñón es girado por el motor haciendo que el puente se mueva de forma lineal.

**Figura 67.**

*Sistema cadena piñón.*



Se parte de un diámetro de 69.85 mm para para los requerimientos de cuantificación de la velocidad y torque. Por lo que se calcula el número de dientes según el paso de la caden.

$$D_p = Np$$

$$N = \frac{D_p}{p}$$

$$N = \frac{69.85 \text{ mm}}{6.35 \text{ mm}}$$

$$N = 11 \text{ dientes}$$

Donde:

$N$  es el número de dientes del piñón.

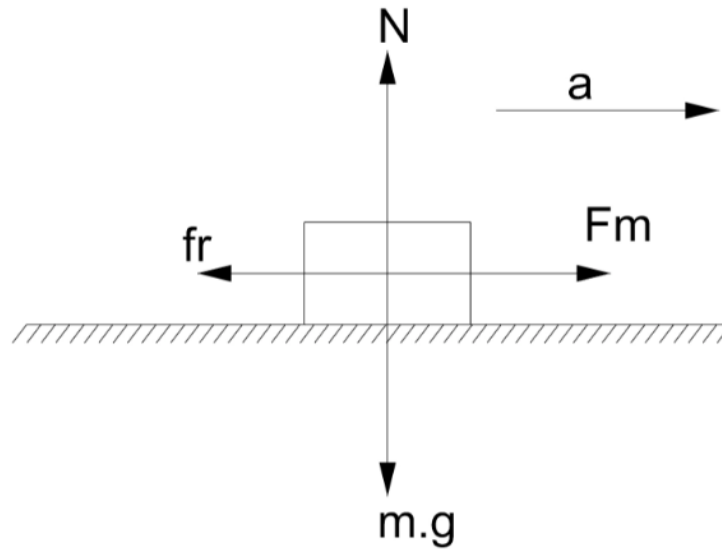
$D_p$  es el diámetro primitivo.

$p$  es el paso del piñón.

Se selecciona la cadena que pueda resistir la tensión necesaria para tirar del puente desde el motor. De acuerdo a la aceleración requerida del puente se calcula la tensión que soportar la cadena y se realiza el diagrama de cuerpo libre de la figura 68.

**Figura 68.**

*Diagrama de cuerpo libre del puente de sensores.*



$$\sum F_y = 0$$

$$N = m_p g$$

$$\sum F_x = m_p a$$

$$F_m - f_r = m_p a$$

$$F_m - \mu_k * N = m_p a$$

$$F_m - \mu_k * m_p g = m_p a$$

$$F_m - 0.004 * 10.57 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 10.57 \text{ kg} * 0.011 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_m - 0.41 \text{ N} = 0.12 \text{ N}$$

$$F_m = 0.53 \text{ N} = 0.12 \text{ lbs}$$

Figura 69.

Dimensiones y características de cadenas.

Número de ASME/ANSI	Paso	Ancho del rodillo	Diámetro del rodillo	Diámetro del pasador	Espesor de la placa de estriación	C	R	K	E**	H**	Peso promedio	Promedio resistencia a la tracción	Tabla de caballos de fuerza
	in mm	in mm	in mm	in mm	in mm	in mm	in mm	in mm	in mm	in mm	lb/pie kg/m	lbf kN	página
25	0,250. 6,35.	0,125. 3,18.	*0,130 3,30.	0,090. 2,29.	0,030. 0,76.	0,370. 9,40.	0,340. 8,64.	-	0,205. 5,21.	0,238. 6,05.	0,084. 0,13.	875. 3,89.	57.
25-2	0,250. 6,35.	0,125. 3,18.	*0,130 3,30.	0,090. 2,29.	0,030. 0,76.	0,630. 16,00.	0,590. 14,99.	0,252. 6,40.	0,205. 5,21.	0,238. 6,05.	0,163. 0,24.	1.750. 7,78.	57.
25-3	0,250. 6,35.	0,125. 3,18.	*0,130 3,30.	0,090. 2,29.	0,030. 0,76.	0,880. 22,35.	0,840. 21,34.	0,252. 6,40.	0,205. 5,21.	0,238. 6,05.	0,246. 0,37.	2625. 11,68.	57.
35.	0,375. 9,53.	0,188. 4,76.	*200 5,08.	0,141. 3,58.	0,050. 1,27.	0,560. 14,22.	0,500. 12,70.	-	0,308. 7,82.	0,356. 9,04.	0,210. 0,31.	2.100. 9,34.	58.
35-2	0,375. 9,53.	0,188. 4,76.	*200 5,08.	0,141. 3,58.	0,050. 1,27.	0,960. 24,38.	0,900. 22,86.	0,399. 10,13.	0,308. 7,82.	0,356. 9,04.	0,450. 0,67.	4.200. 18,68.	58.
35-3	0,375. 9,53.	0,188. 4,76.	*200 5,08.	0,141. 3,58.	0,050. 1,27.	1,360. 34,54.	1,310. 33,27.	0,399. 10,13.	0,308. 7,82.	0,356. 9,04.	0,680. 1,01.	6.300. 28,02.	58.
35-4	0,375. 9,53.	0,188. 4,76.	*200 5,08.	0,141. 3,58.	0,050. 1,27.	1,760. 44,70.	1,700. 43,18.	0,399. 10,13.	0,308. 7,82.	0,356. 9,04.	0,910. 1,35.	8.400. 37,37.	58.
35-5	0,375. 9,53.	0,188. 4,76.	*200 5,08.	0,141. 3,58.	0,050. 1,27.	2,160. 54,86.	2,110. 53,59.	0,399. 10,13.	0,308. 7,82.	0,356. 9,04.	1,140. 1,70.	10.500. 46,71.	58.
35-6	0,375. 9,53.	0,188. 4,76.	*200 5,08.	0,141. 3,58.	0,050. 1,27.	2,570. 65,28.	2,510. 63,75.	0,399. 10,13.	0,308. 7,82.	0,356. 9,04.	1,370. 2,04.	12.600. 56,05.	58.
40.	0,500. 12,70.	0,313. 7,94.	0,312. 7,92.	0,156. 3,96.	0,060. 1,52.	0,720. 18,29.	0,670. 17,02.	-	0,410. 10,41.	0,475. 12,07.	0,410. 0,61.	4.000. 17,79.	59.
40-2	0,500. 12,70.	0,313. 7,94.	0,312. 7,92.	0,156. 3,96.	0,060. 1,52.	1,290. 32,77.	1,240. 31,50.	0,566. 14,38.	0,410. 10,41.	0,475. 12,07.	0,800. 1,19.	8.000. 35,59.	59.
40-3	0,500. 12,70.	0,313. 7,94.	0,312. 7,92.	0,156. 3,96.	0,060. 1,52.	1,850. 46,99.	1,800. 45,72.	0,566. 14,38.	0,410. 10,41.	0,475. 12,07.	1,200. 1,79.	12.000. 53,38.	59.
40-4	0,500. 12,70.	0,313. 7,94.	0,312. 7,92.	0,156. 3,96.	0,060. 1,52.	2,420. 61,47.	2,370. 60,20.	0,566. 14,38.	0,410. 10,41.	0,475. 12,07.	1,600. 2,38.	16.000. 71,17.	59.
40-6	0,500. 12,70.	0,313. 7,94.	0,312. 7,92.	0,156. 3,96.	0,060. 1,52.	3,560. 90,42.	3,510. 89,15.	0,566. 14,38.	0,410. 10,41.	0,475. 12,07.	2,420. 3,60.	24.000. 106,76.	59.
41.	0,500. 12,70.	0,250. 6,35.	0,306. 7,77.	0,141. 3,58.	0,050. 1,27.	0,650. 16,51.	0,570. 14,48.	-	0,310. 7,87.	0,383. 9,73.	0,260. 0,39.	2.400. 10,68.	60.
50.	0,625. 15,88.	0,375. 9,53.	0,400. 10,16.	0,200. 5,08.	0,080. 2,03.	0,890. 22,61.	0,830. 21,08.	-	0,512. 13,00.	0,594. 15,09.	0,680. 1,01.	6.600. 29,36.	61.
50-2	0,625. 15,88.	0,375. 9,53.	0,400. 10,16.	0,200. 5,08.	0,080. 2,03.	1,600. 40,64.	1,550. 39,37.	0,713. 18,11.	0,512. 13,00.	0,594. 15,09.	1,320. 1,96.	13.200. 58,72.	61.
50-3	0,625. 15,88.	0,375. 9,53.	0,400. 10,16.	0,200. 5,08.	0,080. 2,03.	2,310. 58,67.	2,260. 57,40.	0,713. 18,11.	0,512. 13,00.	0,594. 15,09.	1,980. 2,95.	19.800. 88,07.	61.
50-4	0,625. 15,88.	0,375. 9,53.	0,400. 10,16.	0,200. 5,08.	0,080. 2,03.	3,030. 76,98.	2,970. 75,44.	0,713. 18,11.	0,512. 13,00.	0,594. 15,09.	2,640. 3,93.	26.400. 117,43.	61.
50-5	0,625. 15,88.	0,375. 9,53.	0,400. 10,16.	0,200. 5,08.	0,080. 2,03.	3,750. 95,25.	3,690. 93,73.	0,713. 18,11.	0,512. 13,00.	0,594. 15,09.	3,300. 4,91.	33.000. 146,79.	61.
50-6	0,625. 15,88.	0,375. 9,53.	0,400. 10,16.	0,200. 5,08.	0,080. 2,03.	4,460. 113,28.	4,400. 111,76.	0,713. 18,11.	0,512. 13,00.	0,594. 15,09.	3,960. 5,89.	39.600. 176,15.	61.

Nota. Tomado de (Diamond chain company, 2017).

La longitud de la cadena debe ser de 2.2067 m. La longitud de la cadena en número de pasos se calcula a continuación.

Como Mott recomienda un número par de dientes, se usan 348 dientes.

El largo de la cadena se calcula a continuación.

$$L = \frac{l_c}{p}$$

$$L = \frac{2.2067 \text{ m}}{0.00635 \text{ m}}$$

$$L = 347.51 \text{ dientes}$$

Donde:

$L$  es la longitud de la cadena expresada en pasos.

$p$  es el paso de la cadena.

$l_c$  es el largo de la cadena expresada en metros.

Se usan 348 dientes y un tensor para ajustar la distancia adecuada.

El peso de la cadena se calcula de acuerdo al peso lineal según catálogo.

$$m_c = p_p l_c$$

$$m_c = 0.13 \frac{kg}{m} 4.8 m$$

$$m_c = 0.624 kg$$

Donde:

$p_p$  es el peso promedio de la cadena de la figura 69.

$l_c$  es el largo de la cadena.

$m_c$  es la masa de la cadena.

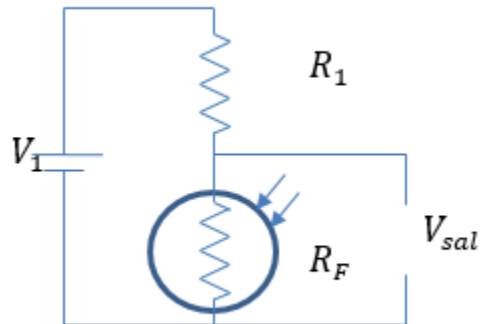
### **3.5. Dimensionamiento de componentes eléctricos**

#### **3.5.1. Acondicionamiento de fotorresistencia**

Considerando un estado en el que el sensor está detectando la presencia del cuero, es decir, el cuero obstaculiza la presencia de luz al sensor, la resistencia de la fotorresistencia es de 20 k $\Omega$ , el voltaje que debe proporcionar es entre 2 y 5 V para un 1 digital, se considera un voltaje de 3.3 V de salida, y el voltaje de entrada de 5 V. A continuación se determina la resistencia  $R_1$ .

**Figura 70.**

*Divisor de voltaje para cada fotorresistencia.*



$$V_1 = 5 V$$

$$V_{sal,ON} = 3.3 V$$

$$R_1 = ?$$

$$R_{F,ON} = 20 k\Omega$$

$$V_{sal,ON} = V_1 \frac{R_{F,ON}}{R_1 + R_{F,ON}}$$

$$R_1 = \frac{V_1 R_{F,ON}}{V_{sal,ON}} - R_{F,ON}$$

$$R_1 = \frac{5 V * 20 k\Omega}{3.3 V} - 20 k\Omega$$

$$R_1 = 10.30 k\Omega$$

Donde:

$V_1$  es el voltaje de entrada

$V_{sal,ON}$  es el voltaje de salida en el estado ON

$R_1$  es la resistencia 1

$R_{F,ON}$  es la resistencia del fotorresistor en el estado ON

Las resistencias comerciales cercanas a este valor son de 10 kΩ y 11 kΩ, se elige la de 10 kΩ para que el voltaje de salida sea mayor.

Por otra parte considerando un estado en el que el sensor no está detectando la presencia del cuero, es decir, la luz está llegando al sensor, la resistencia del fotorresistor es de 1.5 kΩ, el voltaje de salida debe ser entre 0 y 0.8 V para un 0 digital se comprueba que el valor del voltaje de salida también se cumpla en este estado. A continuación se calcula el voltaje de salida.

$$V_1 = 5 V$$

$$R_1 = 10 k\Omega$$

$$R_{F,OFF} = 1.5 k\Omega$$

$$V_{sal} = V_1 \frac{R_{F,OFF}}{R_1 + R_{F,OFF}}$$

$$V_{sal} = \frac{5 V * 1.5 k\Omega}{1.5 k\Omega + 10 k\Omega}$$

$$V_{sal} = 0.65 V$$

Los valores de las resistencias del divisor de voltaje ofrecen valores de voltaje de salida válidos para la detección o no del cuero mediante las entradas digitales.

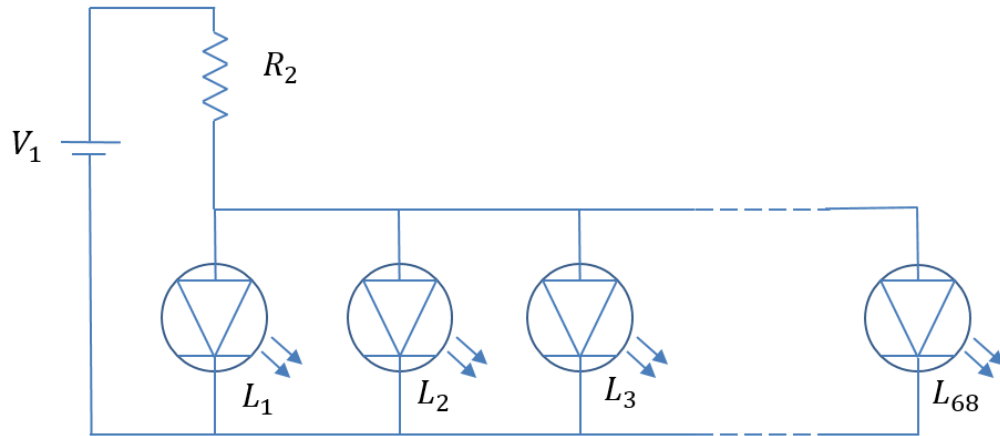
### **3.5.2. Acondicionamiento de diodos LED**

Para que las fotorresistencias sean capaces de captar luz cuando no exista la presencia de cuero se incluyen diodos emisores de luz para cada fotorresistencia. De esta manera cuando el cuero se interponga entre el diodo emisor de luz y la fotorresistencia, se produce una opacidad de la luz recibida.

El circuito electrónico para la emisión de luz comprende de 68 diodos LED.

**Figura 71.**

Circuito de diodos LED.



Se considera la caída de voltaje en los diodos LED de 3 V según la tabla 4 para un diodo LED azul, y un voltaje de entrada de 5 V, a continuación se calcula la resistencia  $R_2$ .

$$V_1 = 5 \text{ V}$$

$$V_L = 3 \text{ V}$$

$$V_{R2} = V_1 - V_L$$

$$V_{R2} = 5 \text{ V} - 3 \text{ V}$$

$$V_{R2} = 2 \text{ V}$$

$$I_{R2} = I_{L,máx} * 68$$

$$I_{R2} = 20 \text{ mA} * 68$$

$$I_{R2} = 1.36 \text{ A}$$

$$R_2 = \frac{V_{R2}}{I_{R2}}$$

$$R_2 = \frac{2 \text{ V}}{1.36 \text{ A}}$$

$$R_2 = 1.47 \Omega$$



Donde:

$V_1$  es el voltaje de entrada.

$V_L$  es el voltaje de los diodos LED.

$V_{R2}$  es el voltaje de la resistencia 2.

$I_{L,máx}$  es la intensidad máxima de los diodos LED.

$I_{R2}$  es la intensidad de la resistencia 2.

$R_2$  es la resistencia 2.

Debido a la corriente máxima de los diodos LED se usa la resistencia comercial superior, por lo tanto la resistencia 2 es de  $1.5 \Omega$ .

A continuación se obtiene el valor de la potencia de la resistencia 2.

$$P_{R2} = I_{R2}^2 * R_2$$

$$P_{R2} = 1.36 A^2 * 1.5 \Omega$$

$$P_{R2} = 2.77 W$$

Donde:

$P_R$  es la potencia de la resistencia 2.

### **3.5.3. Motor eléctrico**

El motor eléctrico que se usa en este proyecto para que el puente de sensores sea movido a lo largo de la máquina medidora de superficies es un motor de corriente directa debido al gran torque y a la facilidad de control de velocidad. De acuerdo a la fuerza del motor y el radio del piñón se determina a continuación el torque.

$$T = F_m R_p$$

$$T = 0.53 N * 0.035 m$$

$$T = 0.019 Nm$$

Donde:

$R_p$  es el radio del piñón.

$T$  es el torque resistente.

La velocidad de giro el motor cuando el valor de la velocidad del puente está en su punto máximo se calcula a continuación.

$$\omega_m = \frac{V_f}{R_p}$$

$$\omega_m = \frac{0.11 \frac{m}{s}}{0.035 m}$$

$$\omega_m = 3.14 \frac{rad}{s} \left| \frac{60 s}{1 min} \right| \frac{1 rev}{2\pi rad}$$

$$n = 29.98 \frac{rev}{min}$$

Donde:

$\omega_m$  es la velocidad de giro requerida del motor.

$n$  son las revoluciones por minuto requerida del motor.

#### **3.5.4. Accionamiento eléctrico**

El chopper se usa para trocear la tensión de corriente directa a fin de controlar la velocidad a lo largo del recorrido. El motor de corriente directa con imanes permanentes es de 24 V, 70 r.p.m., 140 mA, torque nominal de 0.0196 Nm, (como se indica en el Anexo 3) y con una resistencia de inducido  $R_i = 115 \Omega$ . Se selecciona un chopper con capacidad para soportar el voltaje y la corriente, el L298N es un puente H hecho con transistores de voltaje de fuente de 50V, de 2A como se especifica en el Anexo 4. A continuación se calcula el ciclo de trabajo  $k$  para un par resistente de 0.019 Nm y una fuente de voltaje de 25V.

$$E_n = V_s - R_i I_n$$

$$E_n = 25 V - 115 \Omega * 140 mA$$

$$E_n = 8.9 V$$

Al necesitar una fracción del torque se necesita también la misma fracción de corriente.

$$\frac{T_n}{T} = \frac{k_T \Phi I_n}{k_T \Phi I_i}$$

$$\frac{0.0196 \text{ Nm}}{0.019 \text{ Nm}} = \frac{140 \text{ mA}}{I_i}$$

$$I_i = 135.71 \text{ mA}$$

$$\frac{E_n}{E} = \frac{k_E \Phi n_n}{k_E \Phi n}$$

$$\frac{8.9 \text{ V}}{E} = \frac{70 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}{29.98 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}$$

$$E = 3.81 \text{ V}$$

$$E = kV_s - R_i I_i$$

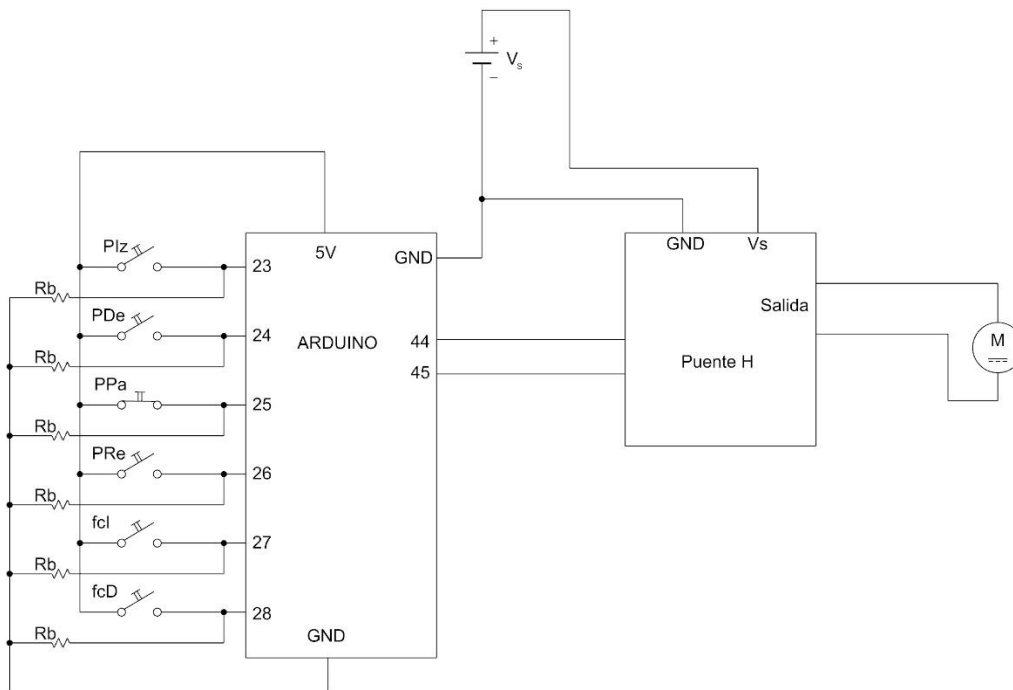
$$3.81 \text{ V} = k * 25 \text{ V} - 115 \Omega * 121.43 \text{ mA}$$

$$k = 0.71$$

La señal de mando se produce en el arduino, el puente H interpreta esta señal para polarizar el motor, los pulsadores se conectan a los pines digitales de entrada del arduino como se muestra en la figura 72.

**Figura 72.**

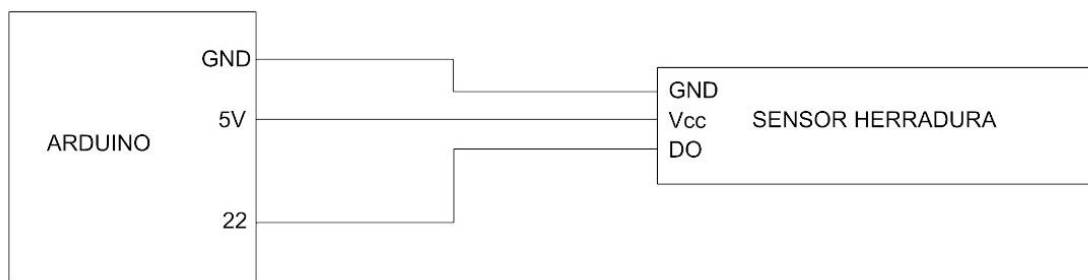
*Arduino, puente H, motor, pulsadores, finales de carrera y fuente cd.*



El sensor de Herradura se conecta al arduino como se muestra en la figura 73 donde la salida digital del sensor se conecta al pin digital de entrada 22 del arduino maestro. El sensor es alimentado con el voltaje de 5V y GND del arduino.

**Figura 73.**

*Conexión del sensor Herradura.*



### 3.6. Construcción del prototipo

#### 3.6.1. Estructura

La estructura se soldó con suelda MIG por su calidad en el acabado usando el tubo rectangular de 30x50.

**Figura 74.**

*Estructura metálica.*



El puente es un rectángulo hecho con tubo cuadrado de 30mm.

**Figura 75.**

*Estructura y puente de sensores.*



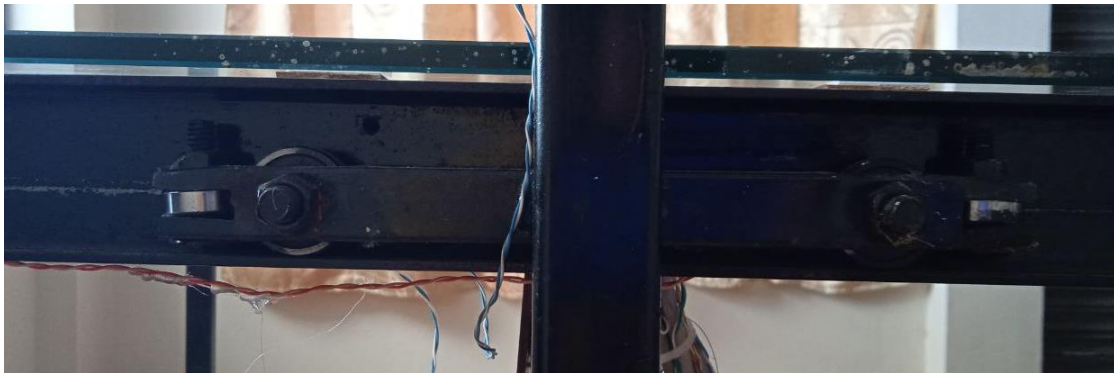
**Figura 76.**

*Sistema de transmisión cadena piñón.*



**Figura 77.**

*Ruedas y riel*



**Figura 78.**

*Puente de sensores.*



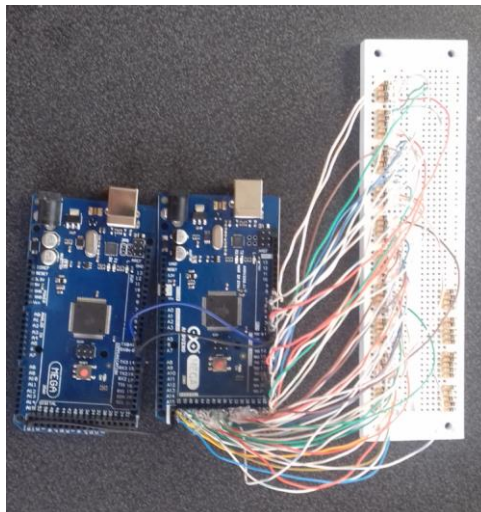
### **3.6.2. Electrónica**

El circuito de acondicionamiento de las fotorresistencias se lo realiza 68 veces, el voltaje de salida del divisor de voltaje se conecta a la entrada del arduino mega, los pines análogos se los usa como pines digitales.

En la figura 79 se puede ver la conexión de las resistencias de acondicionamiento de los diodos LED

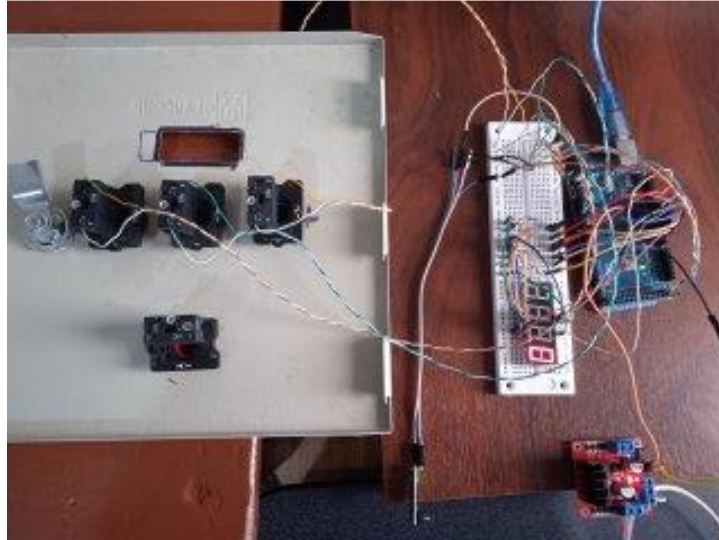
**Figura 79.**

*Acondicionamiento de sensores fotorresistivos.*

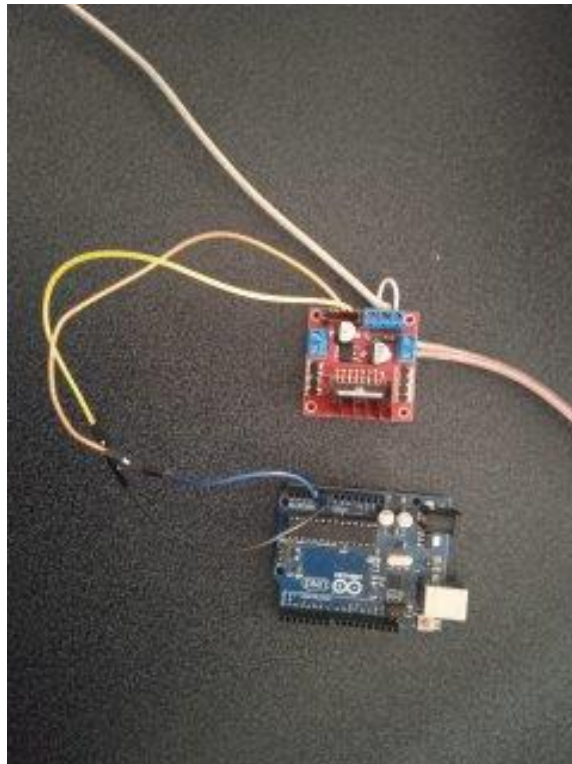


**Figura 80.**

*Conexión de botoneras, display y puente H.*

**Figura 81.**

*Conexión de puente H y arduino.*





**Figura 82.**

*Conexión de display y arduino*

**Figura 83.**

*Hilera de sensores fotorresistivos.*



**Figura 84.**

*Hilera de Diodos LED.*



Para mostrar el valor del área del cuero se usa un display de 7 segmentos de cuatro dígitos.

**Figura 85.**

*Caja de control, botones y display.*



### 3.6.3. Programación de arduinos

El programa tiene que cumplir con las funciones que facilite la medición de una superficie, para aprovechar el recorrido tanto de ida como de vuelta se realiza la medición en los dos sentidos, cuando uno de los fines de carrera o el botón de parar se activen el movimiento del puente de sensores se detiene, el movimiento hacia la izquierda o derecha se realizan con los botones derecha e izquierda respectivamente, el movimiento hacia la izquierda no se da cuando esté activado el final de carrera de la izquierda y lo mismo hacia la derecha. Cada vez que el sensor de herradura se active al detectar un agujero de la cinta agujereada se realiza un conteo de los sensores fotoresistivos que están activados y se realizan los cálculos para sumar el área en decímetros cuadrados y se muestra ese valor en el display. Debido a que la cantidad de pines del arduino Mega no son suficientes para este trabajo, se utilizan dos con una comunicación i2c, siendo un arduino Mega esclavo que detecta la cantidad de sensores fotorresistivos activos y el otro Arduino mega maestro controla los demás dispositivos y realiza los cálculos.

A continuación se muestra las líneas de código del Arduino Esclavo.

```
#include <Wire.h>
int inicio=2, fin=6;
int sensoresActivados;

void setup() {
  for(int n = inicio; n<=fin; n++)
  {
    pinMode(n, INPUT);
  }
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin(1); // join i2c bus with address #8
  Wire.onRequest(requestEvent); // register event
}

void loop() {

}

void requestEvent() {
  int a;
```

```

for(int n = inicio; n<=fin; n++){

if (n==20){
  a=0;
}
else if (n==21){
  a=1;
}
else{
  a=n;
}

Wire.write(digitalRead(a));
Serial.print(digitalRead(a));
}
Serial.println();

}

```

A continuación se muestra las líneas de código del Arduino Maestro.

```

#include "SevSeg.h"
#include <Wire.h>
SevSeg sevseg;
// pines de pulsadores
int pinPulsadorIzquierda=23;
int pinPulsadorDerecha=24;
int pinPulsadorPausa=25;
int pinPulsadorReset=26;

//PINES FINALES DE CARRERA
int pinFinCarreraIzquierda=27;
int pinFinCarreraDerecha=28;
int finIzq, finDer;

// pines y valores de salida para Puente H
int PinIN1 = A0;
int PinIN2 = A1;
int t=500;
int dutyCycle = 71;
int duty;

//pines y variables de SensorHerradura
int pinSensorHerradura = 22, estadoHerradura, estadoAnteriorH;
int dm2, distanciaLargo=50; //milímetros dividido entre 10
int distanciaAncho=217; //milímetros dividido entre 10
int posicion;

//i2c
int sensores[68];
int fin=68;
int indice=0;
int sensoresActivados=0;

void setup(){

```

```

Serial.begin(9600);
pinMode (pinSensorHerradura, INPUT);
byte numDigits = 4;
byte digitPins[] = {10, 11, 12, 13};
byte segmentPins[] = {9, 2, 3, 5, 6, 8, 7, 4};

bool resistorsOnSegments = true;
bool updateWithDelaysIn = true;
byte hardwareConfig = COMMON_CATHODE;
sevseg.begin(hardwareConfig, numDigits, digitPins, segmentPins,
resistorsOnSegments);
sevseg.setBrightness(90);

duty = map(dutyCycle, 0, 100, 0, 255);
pinMode(PinIN1, OUTPUT);
pinMode(PinIN2, OUTPUT);
pinMode(pinPulsadorPausa, INPUT);

//i2c
Wire.begin();
}

void loop(){
//SENSOR HERRADURA
estadoHerradura = digitalRead(pinSensorHerradura);

if (estadoHerradura == 0 && estadoHerradura != estadoAnteriorH)
{

//i2c

Wire.requestFrom(1,fin); /* request & read data of size 9 from slave */
while(Wire.available())
{
int c = Wire.read(); /* read data received from slave */

dm2 = dm2 + c*distanciaAncho*distanciaLargo/100;

}

}

estadoAnteriorH = estadoHerradura;

sevseg.setNumber(dm2); //Mostrar en Display de 7 segmentos
sevseg.refreshDisplay();

//puenteH
if (digitalRead(pinPulsadorIzquierda)==HIGH & finIzq == 0)
{
MotorHorario();
}
}

```

```

if (digitalRead(pinPulsadorDerecha)==HIGH & finDer == 0)
{
  MotorAntihorario();
}

if (digitalRead(pinPulsadorPausa)==LOW)
{
  MotorStop();
}

if (digitalRead(pinFinCarreraIzquierda)==HIGH && finIzq == 0)
{
  MotorStop();
  finIzq = 1;
}

if (digitalRead(pinFinCarreraIzquierda)==LOW)
{
  finIzq = 0;
}

if (digitalRead(pinFinCarreraDerecha)==HIGH && finDer == 0)
{
  MotorStop();
  finDer = 1;
}

if (digitalRead(pinFinCarreraDerecha)==LOW)
{
  finDer = 0;
}

if (digitalRead(pinPulsadorReset)==HIGH)
{
  dm2=0;
}

}

void MotorHorario()
{
  analogWrite( PinIN1, duty );
  analogWrite( PinIN2, 0 );
}
void MotorAntihorario()
{
  analogWrite( PinIN1, 0 );
  analogWrite( PinIN2, duty );
}

void MotorStop()
{
  analogWrite( PinIN1, 0 );
}

```

```
    analogWrite( PinIN2, 0 );  
}
```

### 3.7. Calibración

De la norma CUERO. MEDICIÓN DE LA SUPERFICIE (NTE INEN-ISO 11646), la cual está destinada a mostrar especificaciones para medir cueros curtidos y otros cueros flexibles, se determina el patrón de referencia para la calibración.

Se usa un disco como patrón base que sea flexible, que tenga una superficie mayor al 5% de la capacidad de la máquina, la superficie del disco debe estar dentro del  $\pm 50\%$  de la pieza de cuero que se va a medir, si el patrón es menor, se pasa un número  $n$  de veces sin reiniciar el conteo de la máquina hasta que llegue a  $\pm 50\%$  de la superficie de la pieza que se va a medir y se considera como medición única. El ancho del patrón de referencia no debe ser mayor al 50 % del ancho de trabajo de la máquina medidora.

La calibración se realizará en un ambiente con las mismas condiciones ambientales que el ambiente donde se realizarán las mediciones.

El disco que se usa tiene 74 cm de diámetro cuya área es de 43.01 dm<sup>2</sup>.

Para realizar la sumatoria de decímetros de cuero detectados por los sensores se multiplica la cantidad de sensores que detectan la presencia de cuero por la distancia de separación entre los sensores que es 0.0217m y por la distancia de los agujeros en la cinta agujereada que es de 0.005m.

## Capítulo IV

### 4. Análisis de resultados

De acuerdo a la norma CUERO. MEDICIÓN DE LA SUPERFICIE NTE INEN-ISO 11646 realizar la medida de una pieza de cuero se debe verificar la correcta medición de la máquina con un patrón circular de  $\pm 50\%$  de la superficie de la pieza que se va a medir, si el patrón circular tiene menos área se deben realizar varias mediciones de este patrón sin reiniciar el conteo hasta llegar al  $\pm 50\%$  de la superficie de la pieza que se va a medir. Se realizaron 3 mediciones del patrón circular de  $7.4 \text{ dm}^2$  llegando a una medida de  $128 \text{ dm}^2$ . Las medidas parciales fueron de 43, 42 y  $44 \text{ dm}^2$ .

**Tabla 6.**

*Cálculo del error.*

	medición[dm <sup>2</sup> ]	valor real [dm <sup>2</sup> ]	error
<b>medición A</b>	44	43,01	0,023
<b>medición B</b>	41	43,01	-0,047
<b>medición C</b>	44	43,01	0,023
<b>Total</b>	129	129,03	0,000

La apreciación de la máquina está dentro de las unidades de decímetro cuadrado.

A continuación se calcula la media de las mediciones:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k$$

$$\bar{q} = \frac{1}{3} (44 + 41 + 44)$$

$$\bar{q} = 43$$



**Figura 86.**

*Medición del patrón circular por tres ocasiones sin reiniciar el conteo.*



### **Análisis económico**

El costo de la máquina se presenta en detalle en la tabla 7.

**Tabla 7.**

*Costo de la máquina medidora de superficies.*

<b>Detalle</b>	<b>Costo</b>
<b>Tubo cuadrado</b>	\$ 35,00
<b>Tubo rectangular</b>	\$ 160,00
<b>Cadenas y piñón</b>	\$ 15,00
<b>Sensores</b>	\$ 20,40
<b>diodos led</b>	\$ 3,40
<b>sensor herradura</b>	\$ 3,50
<b>Arduinos</b>	\$ 40,00
<b>conductores</b>	\$ 12,00
<b>Motor</b>	\$ 12,00
<b>rodamientos</b>	\$ 8,00
<b>Puente H</b>	\$ 4,00
<b>Vidrio</b>	\$ 280,00
<b>Construcción</b>	\$ 300,00
<b>Diseño</b>	\$ 450,00
<b>Corte laser</b>	\$ 40,00
<b>Total</b>	<b>\$ 1.383,30</b>

El tiempo de medida manual por el método del papel ronda los 15 minutos y requiere dos pliegos de papel. Esta medición se debe hacer un promedio de 4 veces al día 20 días al mes. La medición con la máquina tarda 60 segundos y tiene un consumo de 12.7W.

El costo mediante la medición manual por cada mes se calcula a continuación:

$$4 * 20 * (t_{manual} * costo_{hombre} + 1dólar)$$

$$4 * 20 * \left( 0.25horas * 3.44 \frac{dólares}{hora} + 1dólar \right)$$

$$costo\ mensual\ de\ mediciones\ manuales = 148.8 \frac{dólares}{mes}$$

El costo mediante la medición con máquina por cada mes se calcula a continuación:

Se realizaron mediciones de corriente al usarse y se obtuvo una intensidad de 0.1A a 127V. Teniendo una potencia de 12.7 W o 0.0127KW. El costo de mantenimiento

se basa en el remplazo de los rodamientos cada  $3.52 \times 10^{12}$  revoluciones. es decir  $1.51 \times 10^{11}$  mediciones, por lo que se recomienda mantenimiento predictivo, con un costo de \$40 al año, es decir \$3.33 cada mes.

$$4 * 20 * (t_{máquina} * (costo, hora_{hombre} + costo, hora_{máquina})) + costo_{mantenimiento}$$

$$4 * 20 * \left( 0.016 \text{ horas} * \left( 3.44 \frac{\text{dólares}}{\text{hora}} + 0.105 \frac{\text{dólares}}{\text{KWhora}} * 0.0127 \text{ KW} \right) \right) + 3.33 \text{ dólares}$$

El costo para realizar las mediciones con la máquina medidora de superficies es de:

$$costo \text{ mensual mediciones máquina} = 6.62 \frac{\text{dólares}}{\text{mes}}$$

A continuación se calcula el tiempo en que el que se retorna la inversión.

$$meses = \frac{costo \text{ de la máquina}}{costo \text{ mensual de mediciones manuales} - costo \text{ mensual mediciones máquina}}$$

$$meses = \frac{1383.30 \text{ dólares}}{148.80 \frac{\text{dólares}}{\text{mes}} - 6.62 \frac{\text{dólares}}{\text{mes}}}$$

$$meses = 9.73$$

Se recupera antes de los dos años por lo que económicamente es factible.

## Capítulo V

### 5. Conclusiones y recomendaciones

#### 5.1. Conclusiones

- Se determinó los lineamientos teóricos y condiciones del usuario para realizar la medición del cuero en la empresa calzado Javier, los cuales permitieron realizar el prototipo de la máquina medidora de superficies.
- El espesor de 10 mm del vidrio templado es suficiente para usarlo como tablero de la máquina medidora de superficies.
- El sistema de piñón-cadena usado en este proyecto genera la transmisión necesaria para mover el puente de sensores.
- Se necesitan 68 sensores en fila con una separación de 0.0217 m y realizando un sensado cada 5 milímetros para obtener un error menor al 5% usando el patrón circular establecido en la norma CUERO. MEDICIÓN DE LA SUPERFICIE (NTE INEN-ISO 11646).
- Las vigas y columnas de la estructura cumplen con los requerimientos de resistencia para soportar la carga de los diferentes elementos de la máquina.
- La inversión de la máquina se recupera en menos de 10 meses lo que lo hace económicamente factible.

## 5.2. Recomendaciones

- Aumentar la cantidad de sensores para obtener un menor rango de error en la medición.
- Realizar pruebas destructivas al vidrio templado para conocer la resistencia máxima a la cuál llega al punto de falla.
- Obtener un método informático para el registro del contorno del cuero para un posible preproceso de corte automático.
- Optimizar el peso de la estructura metálica con el objetivo de reducir costos y espacio.
- Se recomienda realizar un control de la correcta medición usando el patrón circular según la norma CUERO. MEDICIÓN DE LA SUPERFICIE (NTE INEN-ISO 11646).
- Proporcionar una fuente de luz con mayor cantidad de lúmenes y reacondicionar las fotorresistencias para condiciones de poca luz como es el caso de realizar las mediciones con la máquina medidora de superficies en la noche.

## Bibliografía

Abreu, E., & Marquez, F. (2014). *Sensores, finales de carrera*. Universidad del Oriente.

Alvira Martín, F. (2011). *La encuesta: una perspectiva general metodológica*. Madrid:

CENTRO DE INVESTIGACIONES SOCIOLOGICAS.

Arduino. (2020). *Arduino*. From

<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Foundations/DigitalPins>

Baiza Adriana, C. M. (2015). *Implementación de un prototipo mecánico para medir la*

*resistencia a la rotura de la flor de cuero (lastómero)*. Riobamba.

Beer, F., & Jhonston, R. (2010). *Mecánica de materiales*. McGraw Hill.

Borja Suárez, M. (2016). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*.

Chiclayo.

Bulbuena, A. (2018, Diciembre 11). *El vidrio templado*. From interempresas:

<https://www.interempresas.net/Vidrio-plano/Articulos/230541-El-vidrio-templado.html>

Camacho, D. A. (2013). *SISTEMA DE GESTIÓN DE RIESGOS Y SALUD PARA EL MEJORAMIENTO DE*. Ambato.

Cerezo Miguel, J. (2015). *nuevo concepto de elementos estructurales horizontales de*

*vidrio: placa autoportante y pretensada en forma de pi*.

Chapman, S. (2012). *Máquinas Eléctricas*. México: McGraw Hill.

Corona Ramírez, L. G., Abarca Jiménez, G. S., & Mares Carreño, J. (2014). *Sensores y actuadores. Aplicaciones con arduino*. México: Grupo Editorial Patria .

*cuero.net.com*. (2009). From

<https://www.biblioteca.org.ar/libros/cueros/expedicion.htm#:~:text=Para%20mediar%20el%20C3%A1rea%20se,no%20es%20de%20uso%20industrial>.

DC geared motors. (2018). *HG37*.

- Diamond chain company. (2017). *Diamon series chain catalog*.
- Díaz Murillo , R. (2008). *Imnstrumentación y control*. México DF: Instituto Politécnico Nacional.
- DIPAC. (2021). Catálogo de producto.
- Duato, A. (2019, Agosto 6). *El Sistema Piñón-Cremallera*. From [https://www.seas.es/blog/disenio\\_mecanico/el-sistema-pinon-cremallera/#:~:text=Este%20sistema%20est%C3%A1%20formado%20por,seg%C3%BAn%20la%20rotaci%C3%B3n%20del%20pi%C3%B1%C3%B3n](https://www.seas.es/blog/disenio_mecanico/el-sistema-pinon-cremallera/#:~:text=Este%20sistema%20est%C3%A1%20formado%20por,seg%C3%BAn%20la%20rotaci%C3%B3n%20del%20pi%C3%B1%C3%B3n).
- Durand Porras, J., Morales Herrera, C. E., López Carbajal, J. L., & Rubio Aldave, J. D. (2015). *Esfuerzo*. Mexico: Univeridad Nacional de Ingeniería.
- Erazo , J. C., & Narvárez , C. I. (2019). *Medición y gestión del capital intelectual en la industria del cuero - calzado en Cuenca*.
- Escamilla Esquivel, A. (2014). *Metrología y sus aplicaciones*. México: Grupo Editorial Patria.
- Fraile Mora, J. (2006). Máquinas Eléctricas. In J. Fraile Mora. McGraw Hill International.
- Huamaní Navarrete, P. (2017). APLICACIÓN BÁSICA DE VISIÓN ARTIFICIAL. *Scientia*, 137-153.
- Huatay, R. (2011). *Análisis cinemático, diseño y construcción de una transmisión de engranajes de tres velocidades*. Cajamarca: UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS.
- INEN 2 067. (1996).
- integrated, m. (2015). *I2C real time*.
- Jiménez Castro, H., & Sarraipa , J. (2019). *METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE PROTOTIPO INNOVADOR*. Lisboa: Red CADEP.
- Jiménez Rodriguez, L. (2007). *Metrología Industrial, Sistemas de Medición y Aseguramiento Metrológico*. uptc.

- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2014). *Manufactura ingeniería y tecnología*. México: Pearson.
- López Morte, D. (2020). *ieslosalbares.es*. From [http://www.ieslosalbares.es/tecnologia/Estructuras/tipos\\_de\\_esfuerzos.html](http://www.ieslosalbares.es/tecnologia/Estructuras/tipos_de_esfuerzos.html)
- Manchaca García, F. R. (2002). *Fundamentos de programación en lenguaje C*. México: Instituto politécnico Nacional.
- Martínez González, I. (2019). *Estimación de la probabilidad de fallo en las placas de vidrio monolítico con cargas estáticas*. Madrid.
- Master equipamiento industrial. (2015). *Catálogo MM-2000*.
- MCCORMAC, J. (2016). *Análisis de estructuras - métodos clásico y matricial*. Alfaomega.
- Montalvo, A. (2012, Junio 24). *Sistemas de transmisión de poleas con correa*. From <https://es.slideshare.net/AlanMontalvo/sistemas-de-transmision-de-poleas-con-correa>
- Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Pearson.
- Mott, R. L. (2009). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson Practice Hall.
- Muñoz Irlles, F. (2009). *Máquina de medir pieles MOD. 501C*. Alicante.
- NYNGBO FORYARD OPTO Electronics. (2021). *LED DIGIT DISPLAY*.
- Paredes, J. (2005). *Análisis y estudio para desarrollo de una guía de práctica para el laboratorio de ingeniería en soldadura de la FIMCP ESPOL de acuerdo con normas aplicables*. Guayaquil: (Escuela Politecnica del Litoral).
- RAE. (2021). *Diccionario de la lengua española*.
- RS components. (1997). *Light dependent resistors*.



- Sánchez Pérez, Á., & Vicente-Portera, J. (1996). *Elementos de metrología*. Madrid: Sección de publicaciones de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid.
- Santana, M. (2015). *EVALUACIÓN DE UN ACABADO PIGMENTADO CON DIFERENTES*. Riobamba.
- Seguí Chilet, S., Gimeno Sales, F., Sánchez Díaz, C., & Ortiz Grau, S. (2004). *Electrónica de Potencia fundamentos básicos*. México: Alfaomega.
- Sevilla, C. F. (2015). *Metodología del consumo del paralelogramo*. Ambato.
- Shiloh, M., & Fitzgerald, S. (2013). *Arduino libro de proyectos*. Torino.
- STMicroelectronics. (2000). *Dual Full Bridge Driver*.
- tallerdeelectronica.com. (2020). From <https://tallerelectronica.com/diodo-led/>
- Villaseñor Gómez, J. R., & Hernández Aguirre, F. A. (2013). *Circuitos electrónicos y aplicaciones digitales*. México: Pearson.
- Wagner, A. (2019). *5 Aplicaciones para sensores fotoeléctricos*. From <https://blog.pepperl-fuchs.us/5-applications-for-photoelectric-sensors>

## Anexos